



**ПРИОРИТЕТНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ  
НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.  
АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ, ПЕРСПЕКТИВЫ**

МОНОГРАФИЯ

ВЫПУСК 97

ЧАСТЬ 1

Уфа  
НИЦ АЭТЕРНА  
МЦИИ ОМЕГА САЙНС  
2025

УДК 00(082)  
ББК 65.26  
ISBN 978-5-00249-257-2 ч.1  
ISBN 978-5-00249-259-6  
П 75

**Рецензенты:**

**Курманова Лилия Рашидовна**, доктор экономических наук, Уфимский университет науки и технологий

**Старцев Андрей Васильевич**, доктор технических наук, Государственный аграрный университет Северного Зауралья

**Епхиева Марина Константиновна**, кандидат педагогических наук, Северо-Осетинский государственный университет имени Коста Левановича Хетагурова

**Ванесян Ашот Саркисович**, доктор медицинских наук, Уфимский университет науки и технологий

**Коллектив авторов**

Абдужабаров А.Х., Анисимов В.Д., Ахмадиев Г.М., Бегматов П.А., Богомазова И.В., Вишневецкая Е.В., Галимова Л.И., Жуков П.В., Калеева Ж.Г., Кикин И.С., Котова Е.Г., Мехмонов М.Х., Михайлов В.В., Сатторов У.Ф., Скворцова Е.И., Слинкова О.К., Хальфин Г.Р., Хамидов М.К., Шапкин В.С., Эргашев И.Ю.

П 75

**Приоритетные направления научных исследований. Анализ, управление, перспективы: монография. Выпуск 97. В 2 ч. Ч1. [под ред. А.А. Сукиасян]. - Уфа: Аэтерна, 2025. – 280 с.**

Монография «Приоритетные направления научных исследований. Анализ, управление, перспективы» посвящена широкому кругу проблем, которые находятся в центре внимания. Монография призвана дать представление об актуальных теоретических подходах и концепциях, аналитических обзорах и практических решениях в конкретных сферах науки, общества, образования.

Ответственность за точность цитат, имен, названий и иных сведений, а также за соблюдение законов об интеллектуальной собственности несут авторы публикуемых материалов. Материалы публикуются в авторской редакции.

Все материалы проходят рецензирование (экспертную оценку). Точка зрения редакции не всегда совпадает с точкой зрения авторов публикуемых статей.

Материалы представлены в авторской редакции. При перепечатке материалов коллективной монографии ссылка обязательна.

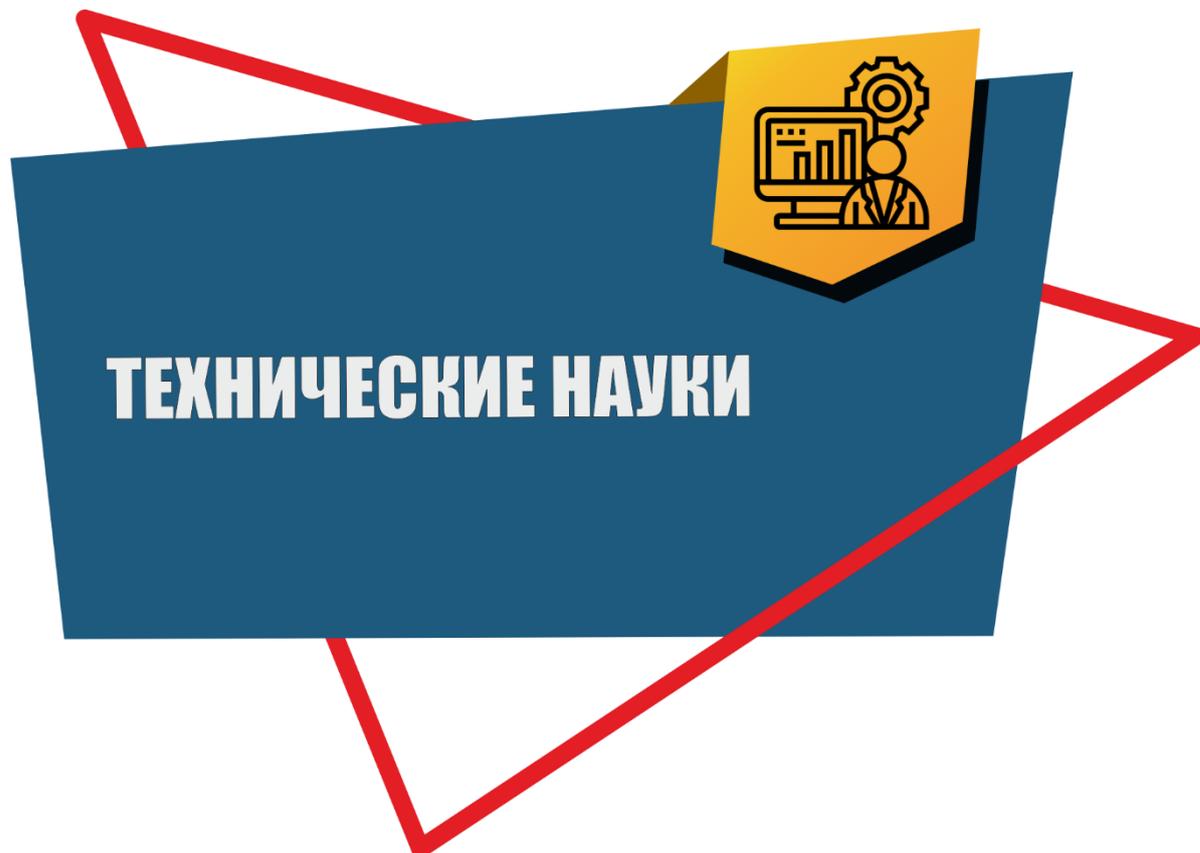
УДК 00(082)  
ББК 65.26  
ISBN 978-5-00249-257-2 ч.1  
ISBN 978-5-00249-259-6

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Предлагаемая читателю работа – яркий пример междисциплинарности. Представители ряда гуманитарных и естественных наук объединяются, чтобы исследовать некоторые особенности научного развития.

Монография, по нашему мнению, будет интересна и полезна научным работникам, преподавателям, аспирантам и студентам вузов. Данная книга, на наш взгляд, окажет также несомненную и немалую пользу всем, кто интересуется проблемами развития и становления научной мысли. Хочется отметить, в связи с этим, прекрасный язык и стиль многих авторов, нередко приближающийся к художественному, а также высококачественные издательские характеристики книги, отличный дизайн, удачное структурирование излагаемого материала.

Начатая коллективом авторов работа, безусловно, имеет будущее, которое приведет к увеличению как круга поднятых вопросов, так и решения иных задач.



УДК 625.122

## ГЛАВА 1

# УКРЕПЛЕНИЕ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

**Абдужабаров А.Х.**

докт. тех. наук, профессор  
ТГТУ,

**Бегматов П.А.**

канд. тех. наук, доцент  
ТГТУ,

**Хальфин Г.Р.**

канд. тех. наук, доцент  
ТГТУ,

г. Ташкент, Республика Узбекистан

**Аннотация:** В данной работе исследовано увеличение осевой нагрузки и скорости движение поездов, наряду с повышением интенсивности движения, которое приводит к дополнительному износу объектов железнодорожной инфраструктурой. Для предотвращения износов запроектирована и экспериментально доказана конструкция насыпи земляного полотна с использованием прокладок из геотекстиля. Установлено, что забитые под углом сваи способствуют более равномерному распределению напряжений в грунте земляного полотна и передачи части вертикальных составляющих в грунт основания, что обеспечивает общую устойчивость земляного полотна от воздействия подвижного состава при скоростном движении. Даны рекомендации по использованию геотекстиля, в качестве обратно фильтра, для предотвращения деформаций подтопленных откосов. Установлено, что кроме увеличения его сейсмостойкости, может дать экономию затрат от 50 до 200 тыс. на объект.

**Ключевые слова:** железная дорога, сейсмостойкость, земляное полотно, вибрационное воздействие, подвижной состав, надежность, скоростное движение.

### Введение

Современные условия эксплуатации железных дорог, характеризующиеся увеличением скоростей движения поездов, ростом погонных и осевых нагрузок и внедрением новых конструкций верхнего строения пути, предъявляют повышенные требования к прочности и устойчивости земляного полотна.

Земляного полотно работает в сложных условиях загрузки динамическими поездными нагрузками и непосредственного воздействия на него непредсказуемо

изменяющихся природных факторов (температуры, атмосферных осадков, ветра и пр.). Всё это необходимо учитывать при проектировании и расчетах. Земляное полотно воспринимает статические нагрузки от верхнего строения пути и динамические от подвижного состава и упруго передает их на основание. Оно предназначено также для выравнивания земной поверхности в пределах железнодорожной трассы и придания пути необходимого плана и профиля.

Так как основным материалом данной конструкции является грунт, свойства которого стохастический изменяются при изменении техногенных и природных воздействий, то и состояние, надежность (способность работать без отказов) также не постоянна. Все это необходимо учитывать при проектировании, строительстве и эксплуатации земляного полотна, рассматривая любой его объект как открытую динамическую систему [9].

Земляное полотно инженерное сооружение, выполненное из грунта в разные годы и по разным техническим условиям, весьма чувствительно к неблагоприятным воздействиям окружающей среды и постоянно обращающегося подвижно состава. Существовавшее представление о многовековом сроке службы земляного полотна во многих случаях практикой опровергнуто. Увеличение вибродинамических нагрузок способствует интенсивному накоплению в земляном полотне остаточных деформаций, что зачастую происходит даже на сравнительно новых линиях. Под деформациями земляного полотна и литологического строения земляного полотна, вызываемые неблагоприятным воздействием природных и антропогенных факторов [10]. Увеличение осевой нагрузки и скорости движение поездов, наряду с повышением интенсивности движения, приводит к дополнительному износу объектов железнодорожной инфраструктурой. В случае увеличения воздействия на земляное полотно особое внимание требуется уделять барьерным местам, оказывающим определяющее влияние на эксплуатационные характеристики всего рассматриваемого участка. Нарастание объемов деформирующихся объектов требует разработки, обоснования новых и модернизации существующих способов усиления грунтов земляного полотна.

### **1. Обеспечение эксплуатационной надежности земляного полотна**

Результаты предыдущих наших научных исследований позволили обосновать, что движение подвижного состава дает эффект сейсмического

воздействия, а интенсивность его зависит от скорости движения и состояния пути. С увеличением скорости движения подвижного состава снижается ударная нагрузка на стыках рельсовых цепей, ее амплитуда колебаний и повышается боковая и горизонтальная составляющая, а также резко увеличивается частота колебаний, передающихся на верхнее строение пути и земляное полотно.

Из последствий разрушительных землетрясений известно, что искривление и сброс верхнего строения пути происходит из-за горизонтальной составляющей сейсмической волны. Чтобы снизить передачу силы воздействия на верхнее строение пути, которая составляет основную часть сметной стоимости всего железнодорожного пути, необходимо предусмотреть сейсмоизолирующую прокладку между насыпью земляного полотна и поверхностью земли, а также земляным полотном и верхнем строением пути. Это конструктивное решение снижает проявление интенсивности землетрясений, на защищаемый элемент, до одного балла. Одним из защитных прокладок может служить слой из крупного и среднего песка толщиной слоя 5-10 см. Между балластной призмой и земляным полотном, рис. 4, 5. Этот слой из песка выполнит еще вторую роль – высоким модулем общей деформируемости к модулю песчаного грунта, что позволит избежать часто встречающееся в практике вдавливание фракций щебня в грунт земляного полотна, что требует дополнительной досыпки щебня, подъема шпал и рельс, что резко увеличивает эксплуатационные расходы содержания дороги.

Геотекстильная прокладка между шпалами и балластной призмой не только обеспечивает сохранность последней от загрязнения, но и увеличивает срок ее работоспособности за счет увеличения угла передачи усилий на нижележащие слои, что снижает напряжения от подвижного состава на земляное полотно и повышает сопротивление на кривых в плане от центробежной силы.

Верхнее строение пути составляет основную часть сметной стоимости строительства и зависит от конструкции земляного полотна и степени уплотненности грунтов, которая по мировым стандартам должна быть обеспечена на 1,05 от стандартного уплотнения. Анализ работы железнодорожного пути убедительно показывает, что увеличение эксплуатационных расходов на содержание пути на 90% является следствием недоуплотненности грунта земляного полотна. Уплотнение грунта земляного полотна от 0,98 до 1,05

стандартного уплотнения дает удорожание стоимости возведения земляного полотна до 15-20 %, но гарантировано обеспечит сокращение эксплуатационных расходов на содержание верхнего строения пути до 70 %. Новые и реальные рыночные условия развития страны требуют обязательного учета необходимости снижения эксплуатационных расходов и увеличения срока службы дорог, а также сохранности дороги при землетрясениях.

Исследования на моделях и на натуральных участках дорог позволяют рекомендовать новые схемы уплотнения грунтов земляного полотна, проходящего в различных рельефных условиях насыпи или выемки. Насыпь земляного полотна на равнинном участке рельефа местности необходимо уплотняют послойно с уклоном 10-15° от оси дороги. В выемках или нулевых отметках уплотнение грунта необходимо на глубину  $h_y=1$  м, если насыпь земляного полотна имеет высоту меньше необходимого уплотнения слоя, то уплотненные слои необходимо доводить путем уплотнения грунта основания.

На косогорных участках трассы дороги необходимо уплотняемые слои земляного полотна укладывать на основание с уклоном 10-15° в сторону верха косогора – это увеличивает устойчивость земляного полотна и снижает воздействие активного давления грунта на земляное полотно. Снижение устойчивости земляного полотна при сейсмическом воздействии происходит не только от действия инерционных сил от сейсмической волны, но и от снижения угла внутреннего трения грунта. Результаты наших экспериментальных исследований позволили определить снижение угла внутреннего трения от 5° до 27° в зависимости от его плотности сложения, степени влажности грунтов, а также от интенсивности землетрясения. Как известно активное и пассивное давление грунта находится в прямой зависимости от угла внутреннего трения грунта, т.е., определив экспериментально изменение угла внутреннего трения, мы можем прогнозировать устойчивость земляного полотна от определенного сейсмического воздействия при конкретных грунтовых условиях.

Увеличение плотности грунта земляного полотна не только обеспечивает надежность и долговечность верхнего строения пути, но и снижает сейсмическое воздействие на уплотненный грунт земляного полотна. Это происходит за счет увеличения скорости сейсмической волны в уплотненном грунте и воздействие на

сооружение как бы распадается на две составляющие с небольшим временным опозданием. В результате чего устойчивость земляного полотна можно рассчитывать на один бал меньше, чем расчетную или исходную интенсивность землетрясения. Эти экспериментальные исследования в области сейсмостойкости земляного полотна полностью согласуются и подтверждаются теорией упругопластических средств волнами разгрузки, обусловленные необратимостью процессов пластических деформаций академика Х.А. Рахматулина, что отражено в его монографии «Прочность при интенсивных кратковременных нагрузках».

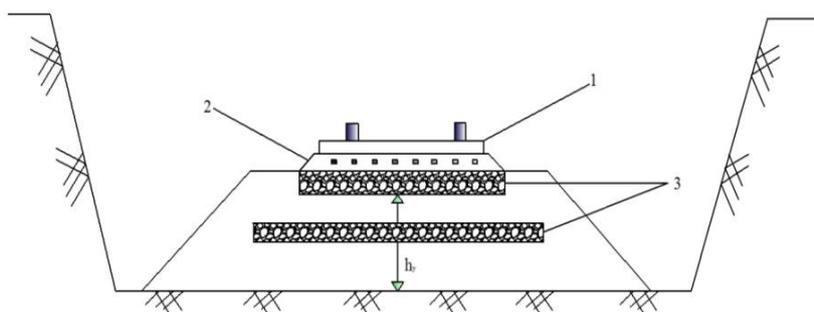


Рис. 1. Конструкция насыпи земляного полотна: 1-шпалы: 2-прокладка из геотекстиля: 3-сейсмоизолирующий слой из песка.

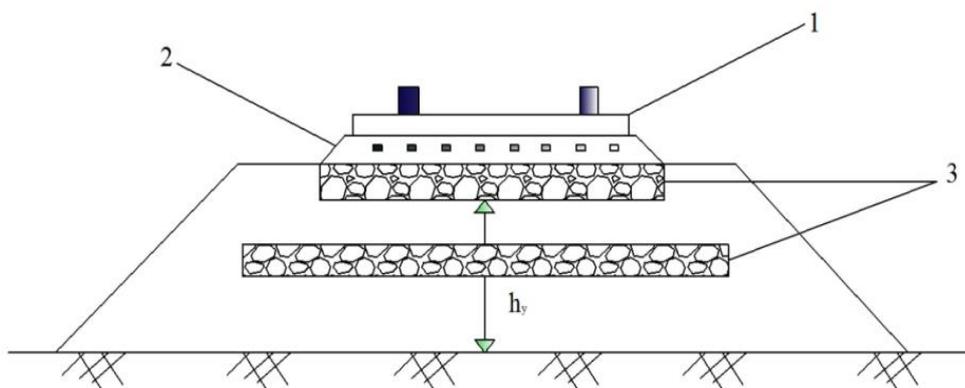


Рис. 2. Конструкция выемки земляного полотна: 1-шпалы: 2-прокладка из геотекстиля: 3-сейсмоизолирующий слой из песка.

## 2. Укрепление земляного полотна при скоростном движении поездов

Известно, что при движении подвижного состава верхнее строение пути и земляное полотно испытывает гармонические колебания с частотой, зависящей от скорости движения. Подобные нагрузки дорожное сооружение испытывает при землетрясении, отличается силой воздействия и частотой колебаний.

При испытаниях насыпи земляного полотна на сейсмической платформе, на которой возможно моделировать и динамические нагрузки от движения транспорта, получены следующие результаты:

а) при движении подвижного состава до 40 км/час, насыпь земляного полотна испытывает колебания как при землетрясении до  $J=2$  баллов, а угол внутреннего трения песка снижается на  $\varphi/3$ .

б) при движении до 70 км/час -  $J=3$  бал.

в) при 100 км/час -  $J=4$  бал.

г) при 130 км/час -  $J=5$  бал.

д) при 150 км/час -  $J=6$  бал.

Угол внутреннего трения грунта насыпи земляного полотна снижается до  $0,25\varphi$  и зависит от физико – механических свойств грунта, ее влажности и скорости подвижного состава.

На участке железной дороги Бухара–Мискен с высотой насыпи земляного полотна  $H=10$  м из барханного песка с таким же основанием, при проведении натурных экспериментов по определению амплитудно–частотных характеристик выявлено, что они соответствуют 5-6 балльному землетрясению.

Теоретические и экспериментальные исследования состояния земляного полотна высотой  $H=10$  м, состоящий из различных грунтов, позволили определить зону повышенного напряжения, которое создается при скоростном движении от подвижного состава. Из этого возможно сделать инженерный вывод о необходимости укрепления этой опасной зоны или создания дополнительной конструкции способной перераспределить напряжение более равномерно по плоскости земляного полотна, что позволит повысить скорость движения на этом участке и обеспечить ее безопасность.

Для укрепления земляного полотна нами разработана конструкция с применением железобетонных свай – рис. 3,4. Подобная конструкция была разработана и внедрена при проектировании Байкало – Амурской железной дорогой магистрали, трасса которой проходила по сейсмическим районам с 9 – 10 балльной сейсмичностью [1]. При скоростном движении поездов создаются колебательные воздействия от подвижного состава и создаются амплитудно–частотные характеристики подобно сейсмическим [2, 3].

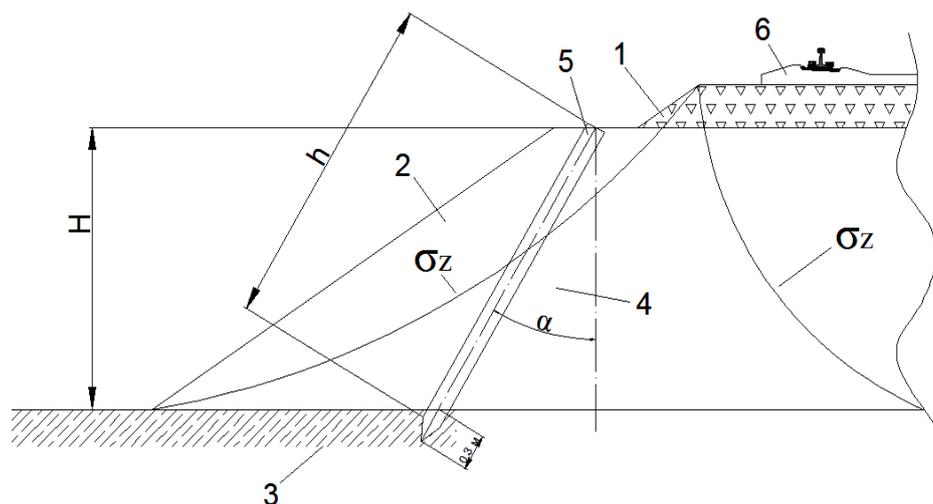


Рис. 3. Эпюры наибольших напряжений в сечении земляного полотна и расположение свай:  $\sigma_z$  – от скоростного движения подвижного состава: 1 – балластная призма; 2 – земляное полотно; 3 – основание земляного полотна; 4 – зона наибольших напряжений в земляном полотне; 5 – железобетонные сваи для укрепления земляного полотна; 6 – железобетонных шпал.

Экспериментально на моделях получено расстояние между сваями для однопутного движения поездов:

Формула для расчета расстояния между сваями в земляном полотне при скоростном движении поездов:

$$L = \frac{b^2 K_r}{H \operatorname{tg} \varphi} + h \operatorname{tg} \alpha; \quad (14)$$

где  $b$  – ширина земляного полотна, м;  $K_r$  – коэффициент учитывающий скорость движения поездов,  $K_r = 1,0$  – при скорости до 40 км/час;  $K_r = 0,95$  – при скорости до 60 км/час;  $K_r = 0,90$  – при скорости до 80 км/час;  $K_r = 0,85$  – при скорости до 120 км/час;  $K_r = 0,80$  – при скорости до 160 км/час;  $H$  – высота насыпи, м;  $\varphi_d$  – динамический коэффициент учитывающий свойства грунтов.  $\varphi_d = 40$  – для барханных песков;  $\varphi_d = 20$  – для глинистых грунтов;  $\varphi_d = 10$  – для гравелистых грунтов.  $h$  – длина свай, м;  $\alpha$  – угол наклона свай, целесообразно в пределах  $\alpha = 20^\circ \div 40^\circ$ .

Экспериментальные исследования на моделях были проведены с использованием теории подобия твердых деформируемых тел академика А.Г. Назарова [4]. При экспериментах была использована сейсмическая платформа Кыргызского государственного университета строительства, транспорта и архитектуры (г. Бишкек). Методика экспериментов с использованием сейсмической платформы подробно изложена в работе [1].

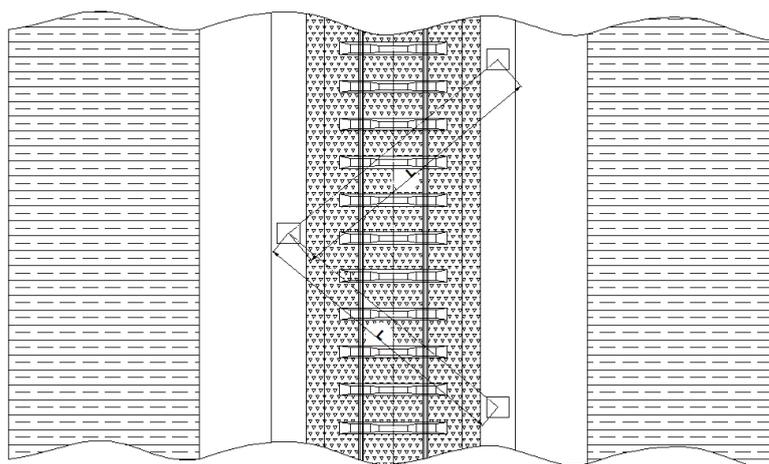


Рис.4. Расположение железобетонных свай в плане.

Забитые под углом сваи способствуют более равномерному распределению напряжений в грунте земляного полотна и передачи части вертикальных составляющих в грунт основания, что обеспечивает общую устойчивость земляного полотна от воздействия подвижного состава при скоростном движении. Замеры амплитудно–частотных характеристик земляного полотна и верхнего строения пути показывают увеличение динамической жесткости сооружения, что является подтверждением целесообразности применения свай.

Другим инженерным решением обеспечения устойчивости земляного полотна из барханного песка и основания может быть ограничение длины откосов подпорными стенами. Во-первых, это очень дорого, во-вторых, на слабых песчаных основаниях обеспечить ее надежную работу еще сложнее и экономически не приемлемо. Кроме того, при скоростном движении поездов активное давление грунта на подпорные стены подобно сейсмическим, резко увеличивается и, если будет ее разрушение – катастрофы с подвижным составом избежать практически будет невозможно. В отличие от подпорных стен, свайные укрепления не только дешевле, но и являются более гибкими, т.е. позволяют некоторые деформации без разрушения. Что в конечном счете сохраняет все сооружение в целом виде, пригодным для дальнейшей эксплуатации движения поездов.

### **3. Армогрунтовые конструкции земляного полотна**

Термин “армированный грунт” введен Вадалим (Франция) в 1966 году [5]. Армирование грунта в транспортном строительстве приобретает все более

широкий размах, что обусловлено рядом преимуществ армогрунтовых конструкций – их способностью воспринимать значительные растягивающие усилия, что предопределяет меньшую чувствительность к неравномерным осадкам основания, повышенную устойчивость к сейсмическим воздействиям, объяснимые большей гибкостью и лучшей адаптацией в грунтовой среде по сравнению с традиционными [6]. Арматурные полотна создают дополнительные связи между частицами грунта, за счет так называемого фиктивного сцепления. При этом в несвязных грунтах сцепление как бы создается, а в связных – увеличивается. Армирующие прослойки, работая совместно с грунтом, вызывают перераспределение напряжений между участками массива, обеспечивая передачу напряжений с перегруженных зон на соседние недогруженные, вовлекая их в работу. При этом откосы земляных сооружений резко повышают свою устойчивость и могут быть выполнены любой крутизны (вплоть до вертикальных). Можно также рассчитывать на существенное ослабление вибро-разжижения грунтов насыпей при землетрясениях. Кроме того, преимущества армогрунтовых конструкций также состоят в возможности их сооружения в различных топографических условиях (в том числе в стесненной местности), сокращении и даже полном исключении “мокрых” процессов (так, как бетонирование) и использовании в качестве основного строительного материала местного грунта, отсутствие необходимости значительного заглубления фундамента [7]. Сравнительно невысокая стоимость и сокращение продолжительности строительства вследствие простоты технологического процесса, практически исключает применение тяжелого сваебойного и кранового оборудования и позволяет обходиться небольшим парком машин и механизмов (бульдозерами, катками, самосвалами).

В качестве армирующих материалов используется металл, геотекстиль, железобетон и др., а также их комбинации. В последнее время все чаще используются геотекстильные материалы, общий перечень которых включает почти 200 наименований, изготавливаемых из нефти (полиамиды, полиэфиры, полипропилены), древесной пульпы (вискоза, ацетат) и выполняемых в виде тканых, нетканых и сетчатых полотен [8]. При этом предпочтение отдается материалам, обладающим значительной прочностью на растяжение, высоким

модулем деформации (небольшим удлинением при разрыве), устойчивым к воздействию температурных колебаний, минеральных кислот, щелочных сред различного вида и степени засоленности, влаги и солнечной радиации. В наибольшей степени требованиям армирования грунтов при вибрационных нагрузках отвечают стеклопластики (стеклоткани и стеклосетки), покрытые различными защитными пленками, смолами и лаками. В таб. 1 приведены физико-механические характеристики и стоимость некоторых выпускаемых в СССР геотекстильных материалов. Исследования, выполнение совместно с ЦНИИСом показали, что стеклопластики типа СПАП не изменяют своей прочности при циклическом замораживании (до минус 50<sup>0</sup> С) и оттаивании, а потери прочности стеклотканей при увлажнении и воздействии кислотной-щелочной среды имеют тенденции к затуханию.

Таблица 1

Физико-механические характеристики геотекстильных материалов

Марка геотекстиля	Характеристика материала	Прочность на разрыв, кН/м	Относительное удлинение при разрыве, %	Ширина рулона, м	Толщина полотна, мм
Дорнит	Синтетическое нетканное полотно	5-12	70-140	1,5-2,5	4,5
Армадор-1	Смесь отходов синтетических волокон и восстановленной шерсти с пропиткой водной дисперсной резины	4-7	60-70	1,6	4
СПАП-Кама	Стеклопластик на основе стеклосетки	63-73	4-5	1,0	4,0
ТР-07	Ровинговая (жгутовая) стеклоткань	80	3-4	1,0	1,0
РСТ-Л	Стеклопластик на основе вязально-прошивной электроизоляционной электросетки	80	5-6	1,0	1,0
ПС-120-ТС	Стеклопластик на основе крученных стеклонитей	30-40	2-4	1,0	0,5
ПС-290-0	Ячейистое стекловолокно из некрученных нитей, пропитанное латексом	38		1,0	1,0

Анализ многих землетрясений показывает, что в верхней части насыпей возникает разуплотненная зона, в результате чего основная площадка

приобретает закругленную форму, что сопровождается появлением трещин, обрушением откосов и разрушением или повреждением верхнего строения путей. Армированный грунт земляного полотна укрепляет разрыхленную зону и одновременно увеличивает ее сцепление с зоной повышенного уплотнения.

Рекомендуемый характер армирования насыпей из песчаных и глинистых грунтов. Схеме предусматривают обсыпку армируемых откосов слоем грунта и последующее его укрепление травосеянием. В этом случае для удержания грунта обсыпки достаточно. Армогрунтовые конструкции с более крутыми откосами покрывают набрызг бетоном или слоем эпоксидной смолы, например, на подпорных стенах и крутых откосах насыпей в местах прохождения через них водопропускных труб (рис. 5).

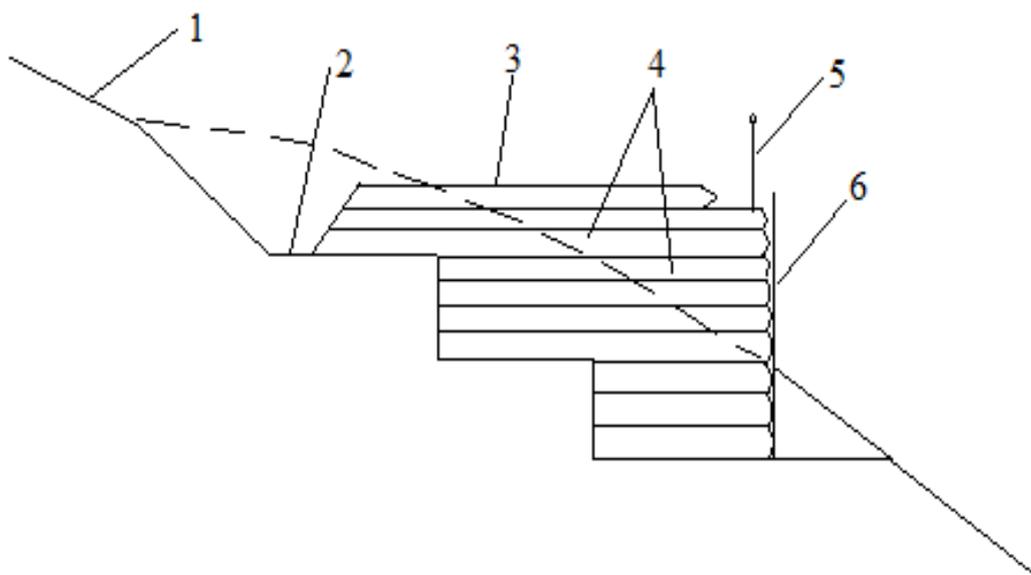


Рис. 5. Вариант конструкции армогрунтовой насыпи на крутом скальном косогоре: 1 – поверхность косогора; 2 – кювет-траншея; 3 – проезжая часть; 4 – армирующие полотнища; 5 – ограждение; 6 – защитное покрытие из набрызгбетона по заанкеренной сетке.

Рекомендуемый характер армирования насыпей из песчаных и глинистых грунтов. Схеме предусматривают обсыпку армируемых откосов слоем грунта и последующее его укрепление травосеянием. В этом случае для удержания грунта обсыпки достаточно. Армогрунтовые конструкции с более крутыми откосами покрывают набрызг бетоном или слоем эпоксидной смолы, например, на

подпорных стенах и крутых откосах насыпей в местах прохождения через них водопропускных труб (рис. 5).

При использовании геотекстиля, в качестве обратно фильтра, для предотвращения деформаций подтопленных откосов, кроме увеличения его сейсмостойкости, может дать экономию затрат от 50 до 200 тыс. на объект [8].

### **Заключение**

В данной работе представлена конструкция насыпи земляного полотна с использованием прокладки из геотекстиля. В результате чего устойчивость земляного полотна можно рассчитывать на один бал меньше, чем расчетную или исходную интенсивность землетрясения. Экспериментальные исследования в области сейсмостойкости земляного полотна полностью согласуются и подтверждаются теорией упругопластических средств волнами разгрузки, обусловленные необратимостью процессов пластических деформаций. Рекомендован характер армирования насыпей из песчаных и глинистых грунтов. Схема предусматривает обсыпку армируемых откосов слоем грунта и последующее его укрепление травосеянием.

Предложена конструкция свайного укрепления, которая является не только дешевой, но и более гибкой, т.е. позволяют некоторым деформации без разрушения. Что в конечном счете сохраняет все сооружение в целом виде, пригодным для дальнейшей эксплуатации движения поездов.

### **Список литературы**

1. Абдужабаров А.Х. Сейсмостойкость автомобильных и железных дорог. Бишкек. КАСИ. 1996 г.с.226.
2. Абдужабаров А.Х. «Влияние скоростного движения поездов на лавинозащитные сооружения.» Материалы первой международной научно-практической конференции. КАТик. Алматы.2000 с. 96-100.
3. Мамадалиев А.Ю., Бегматов П.А. Железнодорожный путь в песчаных грунтах при скоростном движения поездов. ТошДГУ «Хабарнома», Ташкент 2019 №1, с150–154.
4. Назаров А.Г. Теория подобия твердых деформируемых тел. Ереван: АН АрмССР, 1965. С 218.
5. Эрних Н.Б. Область применения армированного грунта // транспортное строительство – 1981. 3. С54-55.
6. Казарновский В.Д. и др. Синтетические текстильные материалы в строительстве. – М.: Транспорт, 1984. С.10.

7. Технические указания по применению нетканых материалов для усиления земляного полотна // ЦП-4591. – М.: Транспорт, 1989. С5.

8. Переселенков Г.С., Песов А.И., Целиков Ф.И., Абдужабаров А.Х. Материалы и инженерные решения сейсмических армогрунтовых конструкций земляного полотна. //Транспортное строительство. – 1990. №4, С.6-8.

9. Данильянц Е.С. Влияние вибродинамического воздействия поездов на деформативность и прочность железнодорожного земляного полотна / В.В. Пуатенко // Труды Пятой международной научной конференции творческой молодежи «Научно-техническое и экономическое сотрудничество стран АТР в XXI века» Дальневосточный государственный университет путей сообщения. – Хабаровск: Издательство ДВГУПС, 2007. – С.41-44.

10. Железнодорожный путь / Т.Г. Яковлева, Н.И. Карпущенко, С.И. Клинов, Н.Н. Путря, М.П. Смирнов; под ред. Т.Г. Яковлевой. – М.: Транспорт, 1999. – 405 с.

©Абдужабаров А.Х., Бегматов П.А., Хальфин Г.Р., 2025

УДК 004.942

## ГЛАВА 2

# РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ СКОРОСТЬЮ ПОЛЕТА ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

**Кикин И.С.**

канд. техн. наук,

Государственный научно-исследовательский

институт авиационных систем,

РФ, г. Москва

**Аннотация.** Рассмотрена задача построения математической модели для проектных исследований по созданию системы автоматического управления скоростью полета летательного аппарата. Предложен алгоритм расчета тяги и расхода топлива воздушно-реактивного двигателя (ВРД) с использованием зависимости полного коэффициента полезного действия ВРД от высоты, скорости полета ЛА и одного обобщенного параметра: степени двухконтурности (для турбореактивных двигателей) и коэффициент избытка воздуха (для прямоточных воздушно-реактивных двигателей). Алгоритмическая структура системы автоматического управления скоростью полета ЛА сформирована в виде контура управления тягой ВРД, стабилизирующего скорость полета при маневрировании ЛА, с реализацией обратной связи по продольной перегрузке. Алгоритм формирования заданной продольной перегрузки обеспечивает согласование управления тягой и аэродинамическими силами, которые реализуют управление направлением движения.

**Ключевые слова:** воздушно-реактивный двигатель, коэффициент полезного действия, направление движения, скорость полета, продольная перегрузка, траекторная система координат, маневренная перегрузка, закон регулирования.

## DEVELOPMENT OF A MATHEMATICAL MODEL OF THE SYSTEM OF AUTOMATIC CONTROL OF AN AIRCRAFT JET ENGINE

**Igor Kikin**

Ph.D. of Engineering Sciences,

State Research Institute of Aviation Systems,

Russia, Moscow

**Abstract.** The problem of constructing a mathematical model for design research on the creation of an automatic control system for the flight speed of an aircraft is considered. An algorithm is proposed for calculating the thrust and fuel consumption of an air-breathing engine (ABE) using the dependence of the ABE's total efficiency on the altitude, flight speed of the aircraft and one generalized parameter: the bypass ratio (for turbojet engines) and the excess air coefficient (for ramjet engines). The algorithmic structure of the automatic control system for the aircraft flight speed is formed in the form of a control loop for the air-jet engine thrust, stabilizing the flight speed during aircraft maneuvering, with the implementation of feedback on longitudinal overload. The algorithm for generating a given longitudinal overload ensures coordination of the control of thrust and aerodynamic forces, which implement control of the direction of movement.

**Keywords:** air-breathing engine, efficiency, direction of movement, flight speed, longitudinal overload, trajectory coordinate system, maneuvering overload, control law.

### Основные сокращения

БПЛА – беспилотный летательный аппарат	ССК – связанная система координат по ГОСТ 20058-80
ВРД – воздушно-реактивный двигатель	ТРД – турбореактивный двигатель
КПД – коэффициент полезного действия	ТРДД – турбореактивный двухконтурный двигатель
ЛА – летательный аппарат	ТРДДРК – ТРДД с отдельными контурами (без смешения потоков до сопла)
ММ – математическая модель	ТРДДСМ – ТРДД со смешением потоков до сопла
МТ – материальная точка	ТРДДФ – турбореактивный двухконтурный двигатель с форсажной камерой
САУ – система автоматического управления	ТСК – траекторная система координат по ГОСТ 20058-80
СК – система координат	ЦМ – центр масс
СПВРД – сверхзвуковой прямоточный воздушно-реактивный двигатель	

### Введение

В настоящей работе рассматриваются летательные аппараты (ЛА), оснащенные реактивными силовыми установками с регулируемой тягой, реализующие аэродинамический принцип полета и аэродинамическое управление направлением вектора скорости. ЛА совершает реактивное движение, основанное на законе сохранения количества движения при отбрасывании массы рабочего тела в виде реактивных струй, истекающих из сопел силовой (энергетической)

установки ЛА. Необходимая для движения сила тяги создается посредством преобразования внутренней энергии топлива в кинетическую энергию реактивной струи рабочего тела.

Практикой проектирования и эксплуатации систем автоматического управления (САУ) полетом ЛА подтверждена эффективность дуального подхода к проектированию – сочетании системного подхода и декомпозиции задач управления.

Задача построения математической модели (ММ) системы автоматического управления (САУ) скоростью полета ЛА является частной задачей проектирования САУЛА и в системно-структурном аспекте ее решения должна учитывать существенные связи, определяющие взаимодействие регулятора скорости с регулятором силовой установки ЛА и с подсистемами, реализующими свои функции в режимах управления аэродинамическими рулями и направлением тяги силовой установки.

Главной проблемой решения частной задачи проектирования САУ является соблюдение условий возможности ее автономного рассмотрения в рамках принятой декомпозиции задач. Для этого необходимо создать упрощенные модели сопрягаемых систем, не противоречащие физической сущности явлений и процессов, происходящих в этих системах.

Построение математической модели полета ЛА базируется на фундаментальном законе кинематики абсолютно твердого тела о разложении его движения на переносное поступательное и относительное вращательное. Поступательное движение однозначно определяется движением произвольно выбираемого центра (полюса) вращения. При описании движения ЛА в качестве полюса вращения принимается, как правило, его центр масс (ЦМ), называемый также центром инерции. Рассматриваемая задача относится к задаче построения ММ движения ЦМ, называемого также траекторным движением.

### **1. Общие принципы математического моделирования траекторного движения летательного аппарата переменной массы.**

Главное содержание задач разработки ММ полета ЛА как твердого тела переменной массы – конкретизация формального описания фундаментальных законов механики с учетом особенностей условий и методов формирования

воздействий на ЛА. Динамика поступательного движения ЛА описывается с помощью обобщения второго закона Ньютона в виде уравнения Мещерского [1] – основного уравнения механики тел переменной массы. Уравнение Мещерского в векторной форме получено как уравнение динамики материальной точки (МТ) переменной массы как твердого тела переменного состава, размерами которого можно пренебречь при определении параметров положения и движения его ЦМ. Исходные гипотезы при выводе уравнения Мещерского:

- масса частиц, присоединяющихся к МТ или отсоединяющихся от нее малы (в сравнении с массой МТ);
- промежутки времени между двумя последовательными присоединениями или отсоединениями частиц бесконечно малы;
- присоединяемые и отсоединяемые частицы взаимодействуют с МТ только в моменты соответственно присоединения и отсоединения (гипотеза контактного взаимодействия).

Первые две гипотезы позволяют представить массы присоединяемых и отделяемых частиц в виде гладких (непрерывно дифференцируемых) функций времени  $m_1(t)$  и  $m_2(t)$ , соответственно. Если масса точки в начальный момент времени равнялась  $m_0$ , то с течением времени масса изменяется по закону:

$$m(t) = m_0 + m_1(t) - m_2(t), \text{ где } m_1(t), m_2(t) \text{ – неубывающие неотрицательные}$$

функции времени. Основное векторное уравнение движения МТ переменной массы (уравнение Мещерского) имеет вид [1]:

$$m(t) \frac{d\mathbf{V}_a}{dt} = \mathbf{F}_\Sigma + (\mathbf{V}_{a1} - \mathbf{V}_a) \frac{dm_1(t)}{dt} - (\mathbf{V}_{a2} - \mathbf{V}_a) \frac{dm_2(t)}{dt}, \quad (1.1)$$

где  $m(t)$  – изменяемая в зависимости от текущего времени  $t$  масса ЛА;  $\mathbf{F}_\Sigma$  – результирующая сила, действующая на МТ;  $\mathbf{V}_a$  – вектор абсолютной скорости МТ;  $\mathbf{V}_{a1}$  и  $\mathbf{V}_{a2}$  – векторы абсолютной скорости присоединяющихся и отделяющихся частиц. Введем векторную переменную  $\mathbf{R}$ , называемую реактивной силой:

$$\mathbf{R} = (\mathbf{V}_{a1} - \mathbf{V}_a) \frac{dm_1(t)}{dt} - (\mathbf{V}_{a2} - \mathbf{V}_a) \frac{dm_2(t)}{dt} = \mathbf{u}_1 \frac{dm_1(t)}{dt} - \mathbf{u}_2 \frac{dm_2(t)}{dt}.$$

где, векторы  $\mathbf{u}_1 = \mathbf{V}_{a1} - \mathbf{V}_a$  и  $\mathbf{u}_2 = \mathbf{V}_{a2} - \mathbf{V}_a$  – векторы скорости присоединяющихся и отделяющихся частиц относительно МТ,

$\frac{dm_1(t)}{dt} > 0$  – скорость увеличения суммарной массы присоединившихся частиц,  $\frac{dm_2(t)}{dt} > 0$  – скорость увеличения суммарной массы отделившихся частиц.

Уравнение (1.1) в форме 2-го закона Ньютона:

$$m(t) \frac{d\mathbf{V}_a}{dt} = \mathbf{F}_\Sigma + \mathbf{R}. \quad (1.2)$$

В уравнении (1.2)  $\mathbf{R} = \mathbf{R}_1 + \mathbf{R}_2$ , где  $\mathbf{R}_1 = \mathbf{u}_1 \frac{dm_1(t)}{dt}$  – реактивная тормозящая сила,  $\mathbf{R}_2 = -\mathbf{u}_2 \frac{dm_2(t)}{dt}$  – сила реактивной тяги.

При описании движения ЛА как материальной системы переменного состава с твердой оболочкой уравнение движения ЦМ ЛА принимает вид [2]:

$$m(t) \frac{d\mathbf{V}_a}{dt} = \mathbf{F}_\Sigma + \mathbf{R} + \mathbf{F}_{\kappa\Omega} + m(t)(\mathbf{w}_T + 2\mathbf{\Omega} \times \mathbf{V}_T), \quad (1.3)$$

где  $\mathbf{F}_{\kappa\Omega}$  – главный вектор кориолисовых сил инерции, возникающих в результате вращения ЛА вокруг центра масс и движения частиц топлива и газа относительно корпуса ЛА внутри его оболочки;  $\mathbf{w}_T, \mathbf{V}_T$  – векторы ускорения и скорости ЦМ относительно корпуса ЛА, обусловленные истечением массы топлива в реактивной струе;  $\mathbf{\Omega}$  – вектор абсолютной угловой скорости ЛА как АТТ.

$\mathbf{F}_{\kappa\Omega} = -2 \int_{\Sigma} (\mathbf{V}_{rp} \times \mathbf{\Omega}) dm$ , где  $\mathbf{V}_{rp}$  – вектор относительной скорости частицы массы

$dm$ , символ  $\int_{\Sigma}$  обозначает суммирование по всем частицам системы переменного состава.

Слагаемым  $m(t)(\mathbf{w}_T + 2\mathbf{\Omega} \times \mathbf{V}_T)$  в правой части уравнения (1.3) в силу малости обычно можно пренебречь [2]. По мнению большинства авторов трудов в области динамики полета, влияние кориолисовой силы  $\mathbf{F}_{\kappa\Omega}$  может учитываться только при корректировке демпфирующего момента в уравнении динамики движения ЛА относительно ЦМ (сферического движения). Таким образом с

достаточно высокой точностью уравнение поступательного движения сохраняет вид (1.2).

К законам механики, на которых базируется построение ММ полета ЛА, относится **теорема о сложении скоростей** – одна из теорем кинематики, связывающая между собой скорости материальной точки в различных системах отсчёта. Теорема утверждает, что при сложном движении материальной точки вектор её абсолютной скорости равен векторной сумме относительной и переносной скоростей:

$$\mathbf{V}_a = \mathbf{V}_r + \mathbf{V}_e, \quad (1.4)$$

$\mathbf{V}_r$  – вектор относительной скорости МТ, соответствующий ее движению, которое наблюдается в подвижной СК,  $\mathbf{V}_e$  – переносная скорость МТ, равная скорости точки, принадлежащей подвижной системе отсчета, с которой в данный момент совпадает МТ. Подвижная СК может быть как инерциальной, так и неинерциальной. Движение подвижной СК, называемое переносным движением, может иметь поступательную и вращательную составляющие:

$$\mathbf{V}_e = \mathbf{V}_0 + \boldsymbol{\Omega}_e \times \mathbf{r}, \quad (1.5)$$

где  $\mathbf{V}_0$  – вектор скорости начала подвижной СК;  $\boldsymbol{\Omega}_e$  – вектор переносной угловой скорости, соответствующей абсолютной угловой скорости подвижной СК;  $\mathbf{r}$  – радиус-вектор МТ в подвижной вращающейся СК;  $\times$  – знак векторного произведения. В частном случае подвижная СК может быть инерциальной, если  $\mathbf{V}_0 = const$ ,  $\boldsymbol{\Omega}_e = 0$ .

В обеспечение полноты описания поступательного движения ЛА, векторное уравнение динамики движения ЦМ ЛА, (1.2) должно быть дополнено двумя далее перечисленными уравнениями.

1) Векторные кинематические дифференциальные уравнения, определяющие положение ЦМ ЛА которые имеют единую структуру в инерциальной и неинерциальной системах отсчета:

$$\frac{d\mathbf{p}}{dt} = \mathbf{V}_a, \quad \frac{\tilde{d}\mathbf{r}}{dt} = \mathbf{V}_r, \quad (1.6)$$

где  $\mathbf{p}$  – радиус-вектор МТ в инерциальной СК, которая может быть принята в качестве неподвижной;  $\frac{\tilde{d}}{dt}$  – знак локальной (относительной) производной;

2) Скалярное дифференциальное уравнение, определяющее массу ЛА

$$\frac{dm}{dt} = -G_T, \quad (1.7)$$

где  $G_T$  – массовый секундный расход топлива силовой установкой ЛА.

Уравнение (1.7) применимо для режима полета, в котором не предусмотрено отделение от корпуса ЛА конечных масс.

Покажем, что вектора  $\mathbf{V}_a$  и  $\mathbf{V}_r$ , определяемые формулами (1.6), удовлетворяют теореме сложения скоростей. Представим радиус-вектор  $\rho$  в виде суммы двух векторов:  $\rho = \rho_o + \mathbf{r}$ , где:  $\rho_o$  – радиус-вектор начала подвижной СК в ИСК. Будем полагать, что подвижная СК совершает произвольное переносное движение в инерциальном пространстве, включающее в себя поступательную и вращательную компоненты. Используя формулу Бура для  $\frac{d\mathbf{r}}{dt}$ , первое уравнение (1. 1.6) представим в виде:

$$\frac{d\rho}{dt} = \frac{d\rho_o}{dt} + \frac{\tilde{d}\mathbf{r}}{dt} + \boldsymbol{\Omega}_e \times \mathbf{r} = \mathbf{V}_a. \quad (1.8)$$

Радиус-вектор  $\mathbf{r} = x\mathbf{i} + y\mathbf{j} + z\mathbf{k}$ , где:  $x, y, z$  – проекции вектора  $\mathbf{r}$  на оси подвижной СК  $\mathbf{i}, \mathbf{j}, \mathbf{k}$  – орты подвижной системы координат. В соответствии с определениями относительной и переносной скорости:

$$\mathbf{V}_r = \frac{\tilde{d}\mathbf{r}}{dt} = \left. \frac{d\mathbf{r}}{dt} \right|_{\mathbf{i}, \mathbf{j}, \mathbf{k} = \text{const}} = \frac{dx}{dt} \mathbf{i} + \frac{dy}{dt} \mathbf{j} + \frac{dz}{dt} \mathbf{k}, \quad (1.9)$$

$$\mathbf{V}_e = \frac{d\rho_o}{dt} + \left. \frac{d\mathbf{r}}{dt} \right|_{x, y, z = \text{const}} = \frac{d\rho_o}{dt} + x \frac{d\mathbf{i}}{dt} + y \frac{d\mathbf{j}}{dt} + z \frac{d\mathbf{k}}{dt}. \quad (1.10)$$

Производные по времени от единичных векторов осей подвижной системы координат равны векторным произведениям угловой скорости данной системы координат на соответствующие орты:  $\frac{d\mathbf{i}}{dt} = \boldsymbol{\Omega}_e \times \mathbf{i}$ ,  $\frac{d\mathbf{j}}{dt} = \boldsymbol{\Omega}_e \times \mathbf{j}$ ,  $\frac{d\mathbf{k}}{dt} = \boldsymbol{\Omega}_e \times \mathbf{k}$ . С

учетом этих соотношений (1.10) преобразуется к виду:  $\mathbf{V}_e = \frac{d\mathbf{p}_0}{dt} + \boldsymbol{\Omega}_e \times \mathbf{r}$ , что иллюстрирует соответствие (1.8) теореме сложения скоростей (1.4).

Для ЛА с аэродинамическим принципом полета, совершающего реактивное движение, результирующая внешняя сила в правой части уравнения (1.2)  $\mathbf{F}_\Sigma = \mathbf{F} + \mathbf{G} = \mathbf{F}_A + \mathbf{F}_{\Delta p} + \mathbf{G}$ , где  $\mathbf{F}_A$  – вектор аэродинамической силы;  $\mathbf{F}_{\Delta p}$  – вектор силы, определяемый разностью давления в выходном сечении сопла двигателя и атмосферного давления;  $\mathbf{G}$  – вектор гравитационной силы. Вектор тяги двигателя  $\mathbf{P} = \mathbf{R} + \mathbf{F}_{\Delta p}$ . Сила  $\mathbf{F}_{\Delta p}$  называется статической составляющей тяги двигателя. Её модуль  $F_{\Delta p} = (p_c - p_H)S_c$ , где  $p_c$  – давление в плоскости среза сопла;  $p_H$  – атмосферное давление;  $S_c$  – площадь выходного сечения сопла.

Переменная  $\mathbf{F}$  вводится для согласования применяемых определений сил с соответствующими определениями по ГОСТ 20058–80. В соответствии с ГОСТ:

- результирующая сила  $\mathbf{F}$  – главный вектор системы сил, действующих на ЛА, без учета инерционных, гравитационных сил и сил, возникающих при контакте ЛА с землей;
- аэродинамическая сила  $\mathbf{F}_A$  – главный вектор системы сил, действующих на ЛА со стороны окружающей среды при его движении;
- тяга  $\mathbf{P}$  – главный вектор системы сил, действующих на летательный аппарат со стороны двигателя в результате его функционирования.

Представим уравнение (1.1.2) в виде:

$$m(t) \frac{d\mathbf{V}_a}{dt} = \mathbf{P} + \mathbf{F}_A + \mathbf{G}. \quad (1.11)$$

Уравнение (1.11) в скалярной форме в проекциях на оси ССК  $OXYZ$  соответствует системе дифференциальных уравнений [3]:

$$\left. \begin{aligned} m(t) \left( \frac{dV_{ax}}{dt} + \Omega_Y V_{az} - \Omega_Z V_{ay} \right) &= P \cos \varphi_P - X + G_X, \\ m(t) \left( \frac{dV_{ay}}{dt} + \Omega_Z V_{ax} - \Omega_X V_{az} \right) &= P \sin \varphi_P + Y + G_Y, \\ m(t) \left( \frac{dV_{az}}{dt} + \Omega_X V_{ay} - \Omega_Y V_{ax} \right) &= Z + G_Z. \end{aligned} \right\} \quad (1.13)$$

где  $V_{ax}, V_{ay}, V_{az}$  – проекции вектора абсолютной скорости ЦМЛА на оси ССК;

$\Omega_X, \Omega_Y, \Omega_Z$  – проекции вектора абсолютной угловой скорости ЛА на оси ССК;

$P$  – модуль вектора тяги;

$\varphi_P$  – установочный угол тяги;

$X, Y, Z$  – аэродинамические продольная, нормальная и поперечная силы по ГОСТ 20058-80;

$G_X, G_Y, G_Z$  – проекции вектора гравитационной силы на оси ССК.

**Вектор силы тяги** непосредственно определен в связанной системе координат. Как правило, при расчетной ориентации суммарный вектор тяги всех двигателей ЛА самолетной схемы лежит в базовой плоскости (плоскости симметрии) ЛА и направлен под углом  $\varphi_P$  к оси ОХ ССК. Для осесимметричного ЛА  $\varphi_P = 0$ . Уровень величины  $\varphi_P$  для ЛА с неуправляемой ориентацией тяги относительно строительных осей ЛА позволяет принять допущение о том, что перегрузка, создаваемая силовой установкой направлена вдоль продольной оси ЛА. Таким образом, силовая установка может рассматриваться как исполнительный орган в контуре управления продольной перегрузкой.

Конкретизация скалярных уравнений требует определения основных параметров силовой установки:

- модуля вектора тяги  $P$ ;
- секундного расхода топлива  $G_T$  для определения текущей массы ЛА  $m(t)$  с использованием дифференциального уравнения (1.7).

При моделировании полета ЛА с силовой установкой, включающей в себя несколько двигателей, имитируется эффект воздействия результирующей силы тяги, равной геометрической сумме тяговых сил отдельных двигателей и приложенной в расчетной точке, определяемой из условия эквивалентности воздействия как на поступательное, так и на вращательное движение ЛА. Если

отсутствует управление направлением тяги отдельных двигателей относительно корпуса ЛА, то модель силовой установки с несколькими двигателями может быть заменена моделью единственного двигателя с эквивалентными тяговыми и расходными характеристиками. Далее используется изложенный подход к построению модели полета ЛА: формируется модель полета управляемого ЛА с одним двигателем.

Главной задачей построения математической модели для проектных исследований по созданию САУ скоростью полета ЛА является разработка упрощенной математической модели ВРД. Цель упрощения – исключение громоздких математических описаний связей тяги, расхода топлива и удельных параметров двигателя с параметрами состояния рабочего тела в основных сечениях рабочего тракта двигателя и характеристиками агрегатов двигателей. При применении такого подхода к описанию рабочих процессов ВРД может быть достигнут высокий уровень унификации моделей полета ЛА для рассматриваемого класса двигателей и высокий уровень эксплуатационных характеристик моделей.

## **2. Область применения разрабатываемых методов моделирования силовых установок летательных аппаратов**

Анализ классифицированного множества ЛА, оснащенных ВРД, позволил конкретизировать область применения разрабатываемых методов моделирования силовых установок ЛА. Рассматривались два подкласса ВРД: газотурбинные двигатели (ГТД) прямой реакции и сверхзвуковые прямоточные ВРД (СПВРД).

В состав практически значимых видов ГТД входят следующие.

А) Бесфорсажные одноконтурные турбореактивные двигатели (ТРД):

- одновальные,
- двухвальные.

Б) Турбореактивные двухконтурные двигатели без форсажной камеры (одновальные, двухвальные и трехвальные) (ТРДД):

- с отдельными контурами (ТРДДРК),
- со смешением потоков (ТРДДСМ),

В) Двухконтурные ТРДД с форсажной камерой (ТРДДФ).

Базовая характеристика ТРДД – степень двухконтурности  $\bar{m}$ , равная отношению расхода воздуха во внешнем и внутреннем контурах двигателя.

В качестве граничного значения  $\bar{m}$ , разделяющего области низкой и высокой степени двухконтурности принято  $\bar{m}=2$ . Для турбореактивных двухконтурных двигателей с высокой степенью двухконтурности применяется также название «турбовентиляторные реактивные двигатели» (ТВРД).

В работе не рассматриваются турбовинтовентиляторные двигатели (ТВВД), которые можно рассматривать как ТРДД со сверхвысокой степенью двухконтурности ( $\bar{m} > 20$ ). Они занимают среднее положение между ТВРД и турбовинтовыми двигателями (переходное положение между двигателями прямой и непрямой реакции).

Область применения **одновальных одноконтурных ТРД** в настоящее время ограничена дозвуковыми тактическими БПЛА массой 300...500 кг [4]:

- беспилотные самолеты-разведчики;
- воздушные мишени, предназначенные для имитации дистанционно-пилотируемых летательных аппаратов, крылатых ракет и дозвуковых самолетов тактической авиации;
- разведывательно-ударные БПЛА.

Здесь речь идет о малогабаритных короткоресурсных ТРД, тяга которых составляет 100 – 150 кгс.

Перспективные **одновальные одноконтурные ТРД малой тяги** (8 – 10 кгс) могут найти применение для малоразмерных БПЛА [5].

**Двухвальными одноконтурными ТРД** оснащены российские дозвуковые самолеты тактической авиации Су-25 [6].

**Малоразмерными одновальными ТРДД** одноразового применения с тягой 300-380 кгс оснащались дозвуковые оперативно-тактические и стратегические крылатые ракеты. В настоящее время для указанных объектов применяются двухвальные ТРДД, тяга которых может достигать 600 кгс. [7, 8].

**ТРДД** имеют наиболее широкую область применения в авиационной технике, включая маневренные и высокоманевренные ЛА. Нефорсированные ТРДД с 60-х годов прошлого столетия стали основными видами двигателей для дозвуковых пассажирских и транспортных самолётов. Важный класс ЛА, которые

оснащены ТРДД, – дозвуковые крылатые ракеты. Они оснащаются малогабаритными ТРДД одноразового применения с  $\bar{m} \approx 1$  (например, ТРДД-50 и его модификации). Практически все сверхзвуковые маневренные и высокоманевренные самолеты оснащены ТРДДФ [9]. Двухконтурная схема повышает экономичность двигателя на бесфорсажных режимах.

Для маневренных ЛА применяются ТРДД с низкой степенью двухконтурности ( $\bar{m} < 2$ ). В этом диапазоне  $\bar{m}$  достигается компромисс между экономичностью двигателя и допустимым уровнем увеличения лобового сопротивления, которое повышается при увеличении  $\bar{m}$  из-за увеличения миделева сечения мотогондол или фюзеляжа ЛА. Для крылатых ракет указанный компромисс необходим в связи с условием достижимости заданной максимальной дальности на малых высотах полета, для сверхзвуковых самолетов – с выполнением требований по максимальной скорости полета и маневренности.

ТРДД, степень двухконтурности которых  $\bar{m} < 4$ , могут выполняться как без смешения потоков до сопла (с отдельными контурами), так и со смешением потоков. В случае, когда степень двухконтурности более 4-х, ТРДД выполняют без смешения потоков, с укороченным наружным контуром [9].

**СПВРД** используются в качестве маршевых двигателей многих классов сверхзвуковых БПЛА. СПВРД применяются для следующих классов маневренных ЛА: противокорабельных ракет морского, наземного и воздушного базирования; ракет класса «воздух-воздух» большой дальности; сверхзвуковых беспилотных самолетов-разведчиков и воздушных мишеней.

Представленные виды ВРД позволяют обеспечить выполнение требований по тяговооруженности объекта применения (отношению силы тяги к силе тяжести, действующей на ЛА). Потребная тяговооруженность может достигать одной четверти максимального уровня эксплуатационной перегрузки ЛА.

### **3. Методы расчета характеристик воздушно-реактивных двигателей в составе математических моделей полета летательных аппаратов**

#### **3.1 Основные параметры воздушно-реактивных двигателей**

ВРД – широкий класс тепловых реактивных двигателей, в которых в качестве рабочего тела используется смесь атмосферного воздуха и продуктов

сгорания топлива. При этом массовый секундный расход рабочего тела мало отличается от массового секундного расхода воздуха. Как следствие, ВРД всех типов качественно превосходят по уровню удельного импульса ракетные двигатели, у которых рабочее тело образуется из вещества, запасенного на ЛА, без использования воздушной среды, в которой осуществляется полет. Удельный импульс равен отношению импульса тяги двигателя на конечном интервале времени  $\Delta t$  к массе израсходованного топлива:

$$J_{y\partial}(\Delta t) = \int_t^{t+\Delta t} P dt / \int_t^{t+\Delta t} G_T dt.$$

ВРД функционируют в широком диапазоне изменения внешних условий и внутренних управляющих воздействий. **К внешним условиям относятся:** режим полета, определяемый высотой и числом Маха полета ( $H, M$ ); атмосферные условия (давление  $p_H$  и температура  $T_H$  окружающего воздуха); углы атаки и скольжения ( $\alpha$  и  $\beta$ ); возмущения потока на входе в двигатель. Внешние воздействия на режим работы ВРД оцениваются, в основном, изменением параметров заторможенного потока воздуха ( $p_B^*$  и  $T_B^*$ ) на входе в двигатель. Внутренние управляющие воздействия двигателя – **регулирующие факторы**, т.е. факторы, посредством которых осуществляется воздействие на **регулируемые параметры**. Регулируемые параметры – независимые параметры, которые удобно измерять и контролировать, а также оценивать по ним рабочий процесс ВРД и осуществлять необходимые их ограничения. Целевой регулируемый параметр – тяга двигателя, которая не может быть непосредственно измерена в системе ЛА. Поэтому для регулирования тяги применяется регулируемый параметр, однозначно связанный с тягой, например частота оборотов одного из валов двигателя или степень сжатия воздуха в компрессоре. Этот параметр называется **основным регулируемым параметром**, Соответственно, в многоконтурной САУ двигателем контур регулирования основного регулируемого параметра – основной контур регулирования, в котором в качестве регулирующего фактора применяется расход топлива  $G_T$ .

В ММ полета ЛА широко применяются эксплуатационные характеристики двигателя [3], определяющие тягу и расход топлива выбранного режима полета

ЛА. Определения эксплуатационных характеристик газотурбинных авиационных двигателей представлены в ГОСТ 23851–79. Указанные характеристики формируются расчетно-экспериментальными методами **при заданном законе регулирования двигателя**. Наиболее рациональная форма представления эксплуатационных характеристик в составе компьютерной модели полета ЛА – табличная информационная модель. Применение эксплуатационных характеристик при реализации ММ двигателя существенно ограничивает возможности унификации моделей.

В настоящей работе предложен подход к математическому описанию ВРД прямой реакции, основанному на анализе условий энергетического баланса и расхода компонент рабочего тела с учетом, при необходимости, инерционности процесса изменения тяги к изменению расхода топлива. Этот подход приводит к расчету тяги и удельного расхода топлива ВРД через полный КПД, что позволяет достигнуть более высокого уровня унификации моделей двигателей.

**Тяга ВРД** определяется формулой Стечкина [10]:

$$P = G_T u - G_B V + (p_C - p_H) S_C, \quad (3.1)$$

Здесь  $G_T = G_B + G_T$  – массовый расход рабочего тела (истекающей из сопла газовой смеси избыточного воздуха и продуктов сгорания),  $G_B = \frac{dm_B}{dt}$ ,

$$G_T = \frac{dm_T}{dt},$$

$u$  – скорость истечения газовой смеси (относительно двигателя),  $V$  – воздушная скорость ЛА,  $p_C$  – давление на срезе сопла;  $p_H$  – давление окружающей среды (обычно атмосферное давление);  $S_C$  – площадь выходного сечения сопла. Статическая составляющая тяги  $(p_C - p_H) S_C$  связана с неполным расширением газа в двигателе. Увеличение степени расширения газа до выполнения условия  $p_C = p_H$  (расчетный режим работы сопла) способствует увеличению силы тяги: увеличение скорости истечения газовой смеси с избытком компенсирует уменьшение статической составляющей до нуля [11]. Формула (3.1) выведена в предположении, что двигатель расположен в мотогондоле, векторы скорости истечения и скорости полета параллельны оси двигателя, а внешнее обтекание двигателя является идеальным (без трения, отрыва потока и без скачков уплотнения).

При полном сгорании топлива (керосина)  $G_B = \lambda L^\circ G_T$ , где  $L^\circ$  – количество воздуха, теоретически необходимое для полного сгорания 1 кг топлива. Для авиационного керосина  $L^\circ = 14,5–15$  кг. Коэффициент избытка воздуха  $\lambda$  в основной камере сгорания ГТД  $\lambda = 3–5$ , в форсажной камере сгорания ГТД  $\lambda = 1,1–1,8$  [12]. В камерах сгорания бескомпрессорных двигателей возможны режимы горения топлива при значениях  $\lambda \approx 1$ .

$G_T = G_B(1 + G_T/G_B) = G_B(1 + q_T)$ , где  $q_T = G_T/G_B = 1/\lambda L^\circ$ . Диапазон  $q_T$ , в соответствии с приведенными выше оценками  $\lambda$  приближенно составляет 0,013...0,07.

С учетом расхода топлива формула тяги (3.1) имеет вид:

$$P = G_B[(1 + q_T)u - V] + (p_C - p_H)S_C.$$

Пренебрегая значением  $q_T$  и статической составляющей тяги, получим уравнение тяги ВРД вида:

$$P = G_B(u - V). \quad (3.2)$$

В состав основных параметров ММ ВРД входят **удельные параметры**, определения которых представлены ниже.

- **Удельная тяга**  $P_{уд}$  – отношение тяги к расходу воздуха через двигатель:  $P_{уд} = P/G_B$ . Из соотношения (3.2)  $P_{уд} = u - V$ .

- **Удельный импульс тяги**  $J_{уд}$  – отношение тяги к расходу топлива:  $J_{уд} = P/G_T$ .

- **Удельный расход топлива**  $C_{уд}$  – отношение часового расхода топлива к тяге, развиваемой двигателем:  $C_{уд} = 3600 \frac{G_T}{P}$ .  $C_{уд}$  – масса топлива в кг, расходуемая на создание тяги, равной 1Н, в течение одного часа.

- **Коэффициент тяги**  $C_P$ , который в соответствии с ГОСТ 20058 – 80 равен отношению тяги  $P$  к произведению скоростного напора  $q$  на характерную площадь летательного аппарата  $S$ :  $C_P = \frac{P}{qS}$ .

Выражение тяги через коэффициент тяги соответствует способу задания аэродинамических сил. Сила тяги и сила лобового сопротивления приведены к единой характерной площади ЛА. Соотношение коэффициентов этих сил определяет критерий соответствия силовой установки данному ЛА.

### **3.2 Унифицированные зависимости для расчета тяги и расхода топлива воздушно-реактивных двигателей**

Унифицированные расчетные зависимости получены исходя из того, что в процессе реальных разработок ВРД обеспечиваются близкие к целевым показатели энергетической эффективности.

**Базовые зависимости для основных характеристик ВРД** при допущениях о полном расширении рабочего тела в реактивном сопле и пренебрежимо малом относительном расходе топлива [13 – 15]:

- Для СПВРД, ТРД и ТРДФ

$$P = G_B(u - V), P_{уд} = u - V.$$

- Для ТРДД со смешением потоков (ТРДДСМ) и ТРДДФ

$$P = G_{BI}(\bar{m} + 1)(u - V) = G_{B\Sigma}(u - V), P_{уд} = u - V,$$

где  $G_{BI}$  – расход воздуха через внутренний контур.

- Для ТРДД с отдельными контурами, без смешения потоков (ТРДДРК) тяга двигателя может быть определена как сумма тяг внутреннего и наружного контуров [15, 16]:

$$\begin{aligned} P &= P_I + P_{II} = G_{BI}P_{удI} + G_{BII}P_{удII} = G_{BI}(u_I - V) + G_{BII}(u_{II} - V) = \\ &= G_{B\Sigma} \left( \frac{G_{BI}u_I + G_{BII}u_{II}}{G_{B\Sigma}} - V \right) = G_{B\Sigma}(u_{cp} - V) = G_{B\Sigma}P_{уд}, \end{aligned} \quad (3.3)$$

где  $G_{BII}$  – расход воздуха через наружный контур;  $G_{B\Sigma}$  – суммарный расход воздуха через двигатель;  $u_I, u_{II}$  – скорости истечения газа из сопла внутреннего

контура и воздуха из сопла наружного контура;  $u_{cp}$  – средняя (осредненная по расходу воздуха) скорость истечения суммарного потока,

$$u_{cp} = \frac{G_{BI}u_I + G_{BII}u_{II}}{G_{B\Sigma}} = \frac{u_I + \bar{m}u_{II}}{1 + \bar{m}}.$$

Удельный расход топлива ТРДД:

$$C_{уд} = 3600 \frac{G_T}{P} = 3600 \frac{G_T}{G_{B\Sigma} P_{уд}} = 3600 \frac{G_T}{G_{BI} (1 + \bar{m}) P_{уд}} = 3600 \frac{q_T}{P_{уд} (1 + \bar{m})},$$

что иллюстрирует значительное повышение топливной экономичности ТРД за счет реализации наружного контура.

Из анализа приведенных выше базовых зависимостей, универсальную формулу для оценки тяги ВРД прямой реакции представим в виде, соответствующем (3.3):

$$P = \left(1 - \frac{V}{u_{cp}}\right) \frac{u_{cp}}{V} G_{B\Sigma} V = \lambda_u S_{HII} \rho_H V^2 = 2 \lambda_u \varphi_G S_{BX} q = 1.4 \lambda_u \varphi_G S_{BX} p_H M^2, \quad (3.4)$$

где  $\lambda_u = \left(1 - \frac{V}{u_{cp}}\right) \frac{u_{cp}}{V}$ ;  $S_{HII}$  – фактическая площадь сечения струи воздуха в

невозмущенном потоке, которая проходит через воздухозаборник;  $\varphi_G = \frac{G_B}{G_{Bmax}}$  –

коэффициент расхода воздуха, который равен отношению действительного расхода воздуха  $G_B$  к максимально возможному  $G_{Bmax}$  и зависит от числа Маха

полета  $M_H$ :  $\varphi_G = \varphi_G(M)$ .  $\varphi_G = \frac{S_{HII}}{S_{BX}}$ , где  $S_{BX}$  – площадь входного сечения

воздухозаборника [17];  $q = 0,5 \rho_H V^2 = 0,7 p_H M^2$ , т.к. для воздуха  $\rho_H = 1,4 \frac{p_H}{a_H^2}$ , где

$a_H$  – скорость звука на высоте  $H$ .

Если силовая установка включает в себя несколько двигателей, то  $S_{HII}$  и  $S_{BX}$  – суммарные площади соответствующих сечений входных потоков воздухоприёмников.

Для всех типов ВРД прямой реакции кроме ТРДДРК, имеющего дополнительное кольцевое сопло внешнего контура, при расчете тяги по формуле

$$(3.4) \quad u_{\text{ср}} = u, \quad \lambda_u = \left(1 - \frac{V}{u}\right) \frac{u}{V}. \quad \text{При известном соотношении } \frac{V}{u} \text{ или } \frac{V}{u_{\text{ср}}} \text{ (известном}$$

значении  $\lambda_u$ ) расчет тяги по формуле (3.4) не требует знания эксплуатационных характеристик двигателя. От указанного соотношения зависит часть кинетической энергии, приобретенной потоком газа в двигателе, которая преобразуется в тяговую работу, что соответствует значению **тягового (полетного) КПД** двигателя  $\eta_{\text{ТЯГ}}$ . Поэтому коэффициент  $\lambda_u$  определим в соответствии с критерием выбора  $\eta_{\text{ТЯГ}}$ .

В теории ВРД при анализе энергетического баланса двигателя и основных показателей его экономичности используется удельная работа термодинамического цикла  $L_{\text{ц}}$  – энергия приобретенная рабочим телом в двигателе, отнесенная к единице веса рабочего тела:

$$L_{\text{ц}} = 0,5(u_{\text{ср}}^2 - V^2).$$

Полезная тяговая работа по перемещению летательного аппарата за счет приращения кинетической энергии единицы веса рабочего тела:

$$L_{\text{ТЯГ}} = P_{\text{уд}} V = (u_{\text{ср}} - V)V.$$

Тяговый КПД, характеризующий совершенство двигателя как устройства, предназначенного для создания тяги (как движителя):

$$\eta_{\text{ТЯГ}} = \frac{L_{\text{ТЯГ}}}{L_{\text{ц}}} = 2 \frac{(u_{\text{ср}} - V)V}{(u_{\text{ср}}^2 - V^2)} = \frac{2}{1 + \frac{u_{\text{ср}}}{V}}. \quad (3.5)$$

Тяговый КПД определяется потерями энергии цикла, которые не преобразуются в тяговую работу:  $L_{\text{пот}} = L_{\text{ц}} - L_{\text{ТЯГ}} = 0,5(u - V)^2$ . Разность  $(u - V)$  – скорость газа, покинувшего двигатель, относительно атмосферного воздуха и определяет потерянную в единицу времени со струей выходящих газов механическую энергию. Эти потери называют также **потерями с выходной скоростью** [18, 19].

На рис.1 представлены графики зависимостей от отношения  $V/u_{\text{ср}}$  тягового КПД  $\eta_{\text{тяги}}$  и относительной тяговой работы  $\bar{L}_{\text{тяги}} = L_{\text{тяги}}/L_{\text{тяги}}^{\text{max}}$ , где  $L_{\text{тяги}}^{\text{max}} = V^2$  – максимальное значение  $L_{\text{тяги}}$ .

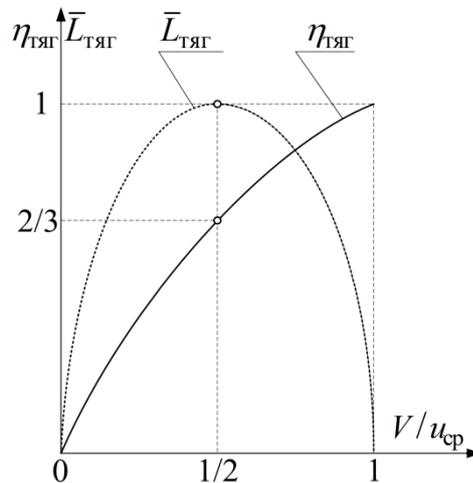


Рисунок 1. Графики изменения тягового КПД и тяговой работы

Рациональный выбор соотношения  $\frac{u_{\text{ср}}}{V}$  для расчета тяги по формуле (3.4) определим из условия максимума тяговой работы  $L_{\text{тяги}}$  [19]. Указанный максимум достигается при  $u_{\text{ср}} = 2V$ . Этому условию соответствует тяговый КПД  $\eta_{\text{тяги}}^{\circ} = \frac{2}{3}$ . С учетом того, что в этом режиме  $\lambda_{\text{ц}} = 1$ , формула (3.4) принимает вид:

$$P = 1.4 \varphi_G S_{\text{ВХ}} p_H M_H^2. \quad (3.6)$$

Ранее принято допущение о полном расширении рабочего тела в реактивном сопле и пренебрежимо малом относительном расходе топлива. В рамках этого допущения получена унифицированная формула для оценки тяги ВРД (3.6). Оценка секундного расхода топлива  $G_T$  базируется на оценке полного КПД силовой установки  $\eta_0 = \eta_{\text{тяги}} \eta_e$ , где  $\eta_e$  – внутренний (термический, эффективный) КПД, который равен отношению работы цикла к количеству теплоты, подведенной к камере сгорания в результате горения топлива и отнесенной к единице веса рабочего тела. Полный КПД определяет топливную

эффективность силовой установки. Он рассчитывается с учетом термохимической и кинетической энергии топлива [18]:

$$\eta_0 = \frac{P_{уд}V}{L_{ц}} \cdot \frac{L_{ц}}{\frac{G_T}{G_T + G_B} \left( H_U + \frac{V^2}{2} \right)} = \frac{PV}{G_T \left( H_U + \frac{V^2}{2} \right)}, \quad (3.7)$$

где  $H_U$  – низшая теплота сгорания топлива, кДж/кг.

Оценим применимость формул (3.5) и (3.7) для всех видов ВРД. Для этого проведем расчет тягового КПД ТРДДРК  $\vec{\eta}_{тяг}$ , который определяется по формуле [15]:

$$\vec{\eta}_{тяг} = \frac{G_{B\Sigma} (u_{ср} - V)V}{G_{B1} \frac{(u_1^2 - V^2)}{2} + G_{BII} \frac{(u_{II}^2 - V^2)}{2}} = \frac{2V [u_I - V + \bar{m}(u_{II} - V)]}{u_1^2 - V^2 + \bar{m}(u_{II}^2 - V^2)}. \quad (3.8)$$

Работа цикла двухконтурных двигателей затрачивается не только на приращение кинетической энергии потока, но и компенсирует гидравлические потери, возникающие при движении воздуха в наружном контуре  $L_{гII}$ , которые

определяют КПД наружного контура  $\eta_{II}$ .  $\eta_{II} = \frac{(u_{II}^2 - V^2)/2}{[(u_{II}^2 - V^2)/2] + L_{гII}}$ . При дозвуковых

скоростях полета  $\eta_{II} = 0,78 - 0,86$  [14].

Расчет по формуле (3.8) следует проводить с учетом реализации заданного **распределения работы цикла между контурами**. Оптимальным распределением считается такое, при котором удельная тяга ТРДД максимальна. Этому режиму соответствует следующее соотношение скоростей истечения контуров [19, 20]:

$$\left( \frac{u_{II}}{u_I} \right)_{опт} = \eta_{II}.$$

В режиме максимальной тяговой работы ( $u_{ср} = 2V$ ) условие максимизации удельной тяги соответствует оптимальным скоростям истечения потоков:

$$u_{\text{опт}} = \frac{2V(\bar{m}+1)}{1+\bar{m}\eta_{\text{II}}}, \quad u_{\text{IIопт}} = \frac{2V\eta_{\text{II}}(\bar{m}+1)}{1+\bar{m}\eta_{\text{II}}}.$$

В таблице 1 представлены результаты расчета тягового КПД при максимальной тяговой работе цикла и КПД внешнего контура  $\eta_{\text{II}} = 0,8$ .

Таблица 1.

Оценка тягового КПД ТРДДРК

$\bar{m}$	0,5	1	2	4	7	10	15
$\frac{u_{\text{Iопт}}}{V}$	2,14	2,22	2,31	2,38	2,42	2,44	2,46
$\frac{u_{\text{IIопт}}}{V}$	1,71	1,78	1,85	1,9	1,94	1,95	1,97
$\tilde{\eta}_{\text{ТЯГ}}$	0,66	0,645	0,654	0,659	0,661	0,662	0,663

Указанные результаты продемонстрировали близость тягового КПД ТРДДРК к значению  $\frac{2}{3}$ , при оптимальном распределении потоков в широком диапазоне степени двухконтурности  $\bar{m}$  ( $0,5 \leq \bar{m} \leq 15$ ). При этом оптимальные соотношения скоростей истечения и скорости полета возрастают с возрастанием  $\bar{m}$ :

$\frac{u_{\text{I}}}{V}$  возрастает на 16% от значения  $\frac{u_{\text{ср}}}{V} = 2$ ,  $\frac{u_{\text{II}}}{V}$  возрастает на 13% от значения  $\frac{u_{\text{ср}}}{V} = 2$ .

Результаты расчетов подтверждают высокую степень унификации формул (3.5) и (3.7) для всех видов ВРД.

Из (3.7) непосредственно получаем формулу для удельного часового расхода топлива на единицу тяги:

$$C_{\text{уд}} = \frac{3600V}{\eta_0 \left( H_U + \frac{V^2}{2} \right)}.$$

При  $V < 1000$  м/с кинетической энергией топлива можно пренебречь [16]. В этом случае

$$C_{\text{уд}} = \frac{3600V}{\eta_0 H_U}, \quad G_T = \frac{C_{\text{уд}} P}{3600}, \quad (3.9)$$

Оценки  $C_{уд}$  и  $G_T$  для реализуемого режима полета ЛА могут проводиться с применением аппроксимаций функциональных зависимостей для полного КПД силовой установки  $\eta_0$ , вид которых представлен в [15, 20 – 22]. Для ТРД и ТРДД это функции вида  $\eta_0 = f(M, H, \bar{m})$ , а для СПВРД – функции вида  $\eta_0 = f(M, H, \lambda)$ .

Подводя итог изложенного в настоящем разделе, можно определить следующие особенности предлагаемой модели силовой установки ЛА:

- методика оценивания тяги ВРД не требует применения эксплуатационных характеристик двигателя: для ее расчета по формуле (3.6) требуется зависимость коэффициента расхода воздуха через воздухозаборник от числа Маха полета;
- при расчете расхода топлива ВРД аппроксимации эксплуатационных характеристик двигателей заменены аппроксимациями полного КПД, унифицированными для данного вида двигателя.

Итак, для выбранного режима полета ЛА унифицированная формула тяги соответствует (3.6). Расчетный секундный расход топлива в соответствии с (3.9) определяется формулой:

$$G_T = \frac{PV}{\eta_0 H_U}. \quad (3.10)$$

## **4. Алгоритмическая структура математической модели системы автоматического управления скоростью полета летательного аппарата**

### **4.1 Общие положения**

Процесс формирования заданных траекторий полёта ЛА, оснащенного ВРД включает в себя управление ориентацией и абсолютной величиной вектора скорости ЦМЛА (управление направлением движения и скоростным режимом полета). Маневр вектором скорости ЛА осуществляется в режиме управления нормальной и поперечной перегрузками. При этом из-за изменения силы лобового сопротивления САУ скоростным режимом полета ЛА функционирует в условиях динамических возмущающих воздействий. Эта система управляет величиной скорости полета за счет реализации контура регулирования продольной

перегрузки, в котором управляющее воздействие это тяга двигателя. САУ величиной скорости полета должна обеспечивать выполнение заданного пространственно-временного графика полета при решении задачи четырехмерной навигации, в том числе терминального навигационного наведения ЛА.

Предполагается, что в режиме автоматического управления вектором скорости полета ЛА, параметры движения не выходят за пределы эксплуатационных ограничений. Иными словами, стратегия управления должна учитывать разрешенные диапазоны параметров, влияющих на вектор скорости полета: изменения направления полета, тяги силовой установки и лобового сопротивления ЛА. Необходимо так управлять силовой установкой ЛА, чтобы всегда выполнялось условие  $V_{\min} \leq V(t) \leq V_{\max}$ , где  $V_{\min} = V_{\min}(H)$ ,  $V_{\max} = V_{\max}(H)$  – минимальное и максимальное значения модуля воздушной скорости полета, определяемое эксплуатационным диапазоном высот и скоростей полета. Воздушная скорость, определяя скоростной режим полета, входит также в формулы тяги (3.1), (3.4) и (3.6).

В то же время пространственно-временная траектория полета ЛА задается координатами ЦМЛА в земной системе координат и относительным временем прохождения опорных точек пространственной траектории ЦМЛА. Таким образом, в ММ полета ЛА должны формироваться векторы земной и воздушной скорости ( $\mathbf{V}_K$  и  $\mathbf{V}$ ). Вектор воздушной скорости  $\mathbf{V} = \mathbf{V}_K - \mathbf{W}$ , где  $\mathbf{V}_K$  и  $\mathbf{W}$  – вектора земной скорости и скорости ветра.

Согласно ГОСТ 20058-80:

- вектор скорости ветра  $\mathbf{W}$  – скорость среды, не возмущенной летательным аппаратом, относительно какой-либо из земных систем координат;
- угол ветра  $\Psi_W$  – гол между осью  $OX_g$  НСК и проекцией скорости ветра на горизонтальную плоскость  $OX_g Z_g$  НСК;
- наклон ветра  $\Theta_W$  – угол между направлением скорости ветра и горизонтальной плоскостью.

Воздушная скорость ЛА в проекциях на оси НСК:

$$\left. \begin{aligned} V_{X_g} &= V_{KX_g} - W_{X_g}, \\ V_{Y_g} &= V_{KY_g} - W_{Y_g}, \\ V_{Z_g} &= V_{KZ_g} - W_{Z_g}. \end{aligned} \right\} \quad (4.1)$$

Здесь  $W_{X_g} = W \cos \Theta_W \cos \Psi_W$ ,  $W_{Y_g} = W \sin \Theta_W$ ,  $W_{Z_g} = -W \cos \Theta_W \sin \Psi_W$ .

Далее рассматриваются 2 задачи:

- задача синтеза контура управления продольной перегрузкой;
- задача управления тягой силовой установки, как исполнительного

устройства контура управления продольной перегрузкой.

#### **4.2 Структура алгоритма автоматического управления скоростью полета летательного аппарата**

В режиме маневрирования должны регулироваться величина скорости полета ЛА и углы, определяющие направление полета ЛА относительно Земли. Согласно ГОСТ 20058–80 вектор земной скорости  $V_K$  совпадает по направлению с осью  $OX_K$  ТСК, обозначаемой  $OX_K Y_K Z_K$ , и задан единственной проекцией на ось  $OX_K$ , равной  $V_K$ . Угол наклона траектории  $\Theta$  и путевой угол  $\Psi$  – углы, определяющие ориентацию ТСК относительно НСК, которая представляет собой СК с вертикальной осью, совпадающей с местной вертикалью. Проекции ускорений ЦМЛА на оси ТСК вида

$$\frac{dV_{KX}}{dt} = \frac{dV_K}{dt}, \quad \frac{dV_{KY}}{dt} = V_K \frac{d\Theta}{dt} \quad \text{и} \quad \frac{dV_{KZ}}{dt} = V_K \frac{d\Psi}{dt}$$

непосредственно определяют траекторные параметры ЦМЛА:

$$\frac{dV_K}{dt} = w_\tau - \text{тангенциальное ускорение ЦМ ЛА,}$$

$$\frac{d\Theta}{dt}, \quad \frac{d\Psi}{dt} - \text{производные траекторных углов.}$$

Уравнения движения ЦМ ЛА в перегрузках в проекциях на оси ТСК имеют вид [3]:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dV_K}{dt} &= g(n_{XK} - \sin \Theta), \\ \frac{d\Theta}{dt} &= \frac{g}{V_K}(n_{YK} - \cos \Theta), \\ \frac{d\Psi}{dt} &= -\frac{g}{V_K \cos \Theta} n_{ZK}, \end{aligned} \right\} \quad (4.2)$$

где  $g$  – ускорение силы тяжести,  $n_{XK}$ ,  $n_{YK}$ ,  $n_{ZK}$  – проекции вектора перегрузки  $\mathbf{n}$  на оси ТСК,

Измерение компонент вектора перегрузки ЛА осуществляется, как правило, датчиками линейных ускорений (линейными акселерометрами), жестко закрепленными на корпусе ЛА. Эти датчики являются датчиками обратных связей в контурах регулирования перегрузок. Будем полагать, что оси чувствительности датчиков ориентированы по осям ССК, т.е. измеряют продольную  $n_x$ , нормальную  $n_y$  и поперечную  $n_z$  перегрузки по ГОСТ 20058–80.

Пересчет проекций вектора перегрузки из ТСК в ССК:

$$\|n_x \ n_y \ n_z\|^T = A_{\text{ТР}}^{\text{CB}} \|n_{XK} \ n_{YK} \ n_{ZK}\|^T,$$

где  $A_{\text{ТР}}^{\text{CB}}$  – матрица направляющих косинусов при переходе от ТСК к ССК, Т – знак транспонирования.

Нотация академика А.Ю. Ишлинского для системы конечных поворотов, обеспечивающих совмещение ТСК с ССК:

$$OX_K Y_K Z_K \xrightarrow{\gamma_K, X'} OX' Y' Z' \xrightarrow{\beta_K, Y''} OX'' Y'' Z'' \xrightarrow{\alpha_K, Z} OXYZ,$$

где стрелка означает оператор конечного поворота трехгранника из состояния, указанного до стрелки, в состояние, указанное после стрелки. Над стрелкой приводятся две совпадающие оси, вокруг которых совершается конечный поворот, а под стрелкой – угол поворота. Запись нотации Ишлинского в матричной форме:

$$\|XYZ\|^T = A(\alpha_K) \|X''Y''Z''\|^T = A(\alpha_K) A(\beta_K) \|OX'Y'Z'\|^T = A(\alpha_K) A(\beta_K) A(\gamma_K) \|X_K Y_K Z_K\|^T$$

$$A(\gamma_k) = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \gamma_k & \sin \gamma_k \\ 0 & -\sin \gamma_k & \cos \gamma_k \end{vmatrix}, \quad A(\beta_k) = \begin{vmatrix} \cos \beta_k & 0 & -\sin \beta_k \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \beta_k & 0 & \cos \beta_k \end{vmatrix}, \quad A(\alpha_k) = \begin{vmatrix} \cos \alpha_k & \sin \alpha_k & 0 \\ -\sin \alpha_k & \cos \alpha_k & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}$$

Перемножая матрицы единичных поворотов, получим окончательное выражение для матрицы  $A_{\text{ТР}}^{\text{CB}}$ :

$$A_{\text{ТР}}^{\text{CB}}(\alpha_k, \beta_k, \gamma_k) = \begin{vmatrix} \cos \alpha_k \cos \beta_k & -\cos \beta_k \sin \alpha_k & \sin \beta_k \\ \sin \alpha_k \cos \gamma_k + \cos \alpha_k \sin \beta_k \sin \gamma_k & \cos \alpha_k \cos \gamma_k - \sin \beta_k \sin \alpha_k \sin \gamma_k & -\cos \beta_k \sin \gamma_k \\ \sin \alpha_k \sin \gamma_k - \cos \alpha_k \sin \beta_k \cos \gamma_k & \cos \alpha_k \sin \gamma_k + \sin \beta_k \sin \alpha_k \cos \gamma_k & \cos \beta_k \cos \gamma_k \end{vmatrix} \quad (4.3),$$

где  $\alpha_k, \beta_k$  – кинематические углы атаки и скольжения, соответственно;

$$\alpha_k = -\arcsin\left(\frac{V_{KY}}{\sqrt{V_{KX}^2 + V_{KY}^2}}\right); \quad \beta_k = \arcsin\left(\frac{V_{KZ}}{V_K}\right), \quad \text{где } V_K = \sqrt{V_{KX}^2 + V_{KY}^2 + V_{KZ}^2}, \quad (4.4)$$

где  $V_{KX}, V_{KY}, V_{KZ}$  – проекции вектора земной скорости на оси СК.

Поворот на угол  $\gamma_k$  обеспечивает вертикализацию координатной плоскости  $OX_k Y_k$  траекторной СК.

$$\gamma_k = \arcsin \frac{1}{\cos \Theta} (\sin \vartheta \cos \alpha_k \sin \beta_k - \cos \vartheta \cos \gamma \sin \alpha_k \sin \beta_k + \cos \vartheta \sin \gamma \cos \beta_k)$$

, где  $\vartheta, \gamma$  – углы тангажа и крена, соответственно.

Синтез системы регулирования измеряемых перегрузок  $n_x, n_y, n_z$ , соответствует **прямой задаче динамики** – определению сил по известному движению, которое соответствует заданным проекциям вектора перегрузки на оси ТСК:  $n_{xk}^*, n_{yk}^*$  и  $n_{zk}^*$ .

Заданные значения проекций перегрузки на оси ТСК определяются из уравнений системы (4.2):

$$\left. \begin{aligned} n_{XK}^* &= \frac{w_{\tau}^*}{g} + \sin \Theta, \\ n_{YK}^* &= \frac{1}{g} V_K \left( \frac{d\Theta}{dt} \right)^* + \cos \Theta, \\ n_{ZK}^* &= \frac{1}{g} V_K \left( \frac{d\Psi}{dt} \right)^*, \end{aligned} \right\} \quad (4.5)$$

где  $w_{\tau}^*$  – заданное значение тангенциального ускорения на интервале маневрирования;  $\left( \frac{d\Theta}{dt} \right)^*$ ,  $\left( \frac{d\Psi}{dt} \right)^*$  – заданные производные угла наклона траектории и путевого угла, соответственно.

Заданные значения проекций вектора перегрузки на оси ССК:

$$\|n_X^* \ n_Y^* \ n_Z^*\|^T = A_{\text{TP}}^{\text{CB}} \|n_{XK}^* \ n_{YK}^* \ n_{ZK}^*\|^T. \quad (4.6)$$

**Обратная задача динамики** – определение кинематических элементов движения по известным силам и начальному состоянию. Известные проекции сил на оси ССК, функционально связаны с проекциями вектора перегрузки, соответствующими (1.13):

$$n_X = \frac{(P \cos \varphi_P - X)}{mg}, \quad n_Y = \frac{P \sin \varphi_P + Y}{mg}, \quad n_Z = \frac{Z}{mg},$$

Для счисления кинематических элементов движения ЦМ ЛА с применением системы (4.2) при известных проекциях сил на оси ССК необходимое преобразование базисов:

$$\|n_{XK} \ n_{YK} \ n_{ZK}\|^T = A_{\text{CB}}^{\text{TP}} \|n_X \ n_Y \ n_Z\|^T, \quad (4.7)$$

где  $A_{\text{CB}}^{\text{TP}} = [A_{\text{TP}}^{\text{CB}}]^T$  – матрица направляющих косинусов при переходе от ССК к ТСК.

Алгоритмизация управления скоростью полета базируется на реализации контура регулирования продольной перегрузки ЛА  $n_X$ , одна из составляющих которой непосредственно определяется тягой силовой установки:

$$n_X = n_{XP} + n_{XA},$$

где  $n_{XP} = \frac{P}{mg}$  – составляющая продольной перегрузки, обусловленная тягой

силовой установки,  $n_{XA} = -\frac{X}{mg}$  – составляющая продольной перегрузки, обусловленная продольной аэродинамической силой.

Выражение для тангенциальной перегрузки в соответствии с (4.3) и (4.7):

$n_{XK} = n_X \cos \alpha_K \cos \beta_K - n_Y \sin \alpha_K \cos \beta_K + n_Z \sin \beta_K$ , откуда получим:

$$n_X = \frac{n_{XK}}{\cos \alpha_K \cos \beta_K} + n_Y \operatorname{tg} \alpha_K - n_Z \frac{\operatorname{tg} \beta_K}{\cos \alpha_K}.$$

С учетом (4.4):

$$n_X = \frac{1}{V_{KX}} (V_K n_{XK} - n_Y V_{KY} - n_Z V_{KZ}). \quad (4.8)$$

В соответствии с (4.5) и (4.8) заданное значение продольной перегрузки

$$n_X^* = \frac{V_K}{V_{KX}} (n_\tau^* + \sin \Theta) - \frac{V_{KY}}{V_{KX}} n_Y^* - \frac{V_{KZ}}{V_{KX}} n_Z^*, \quad n_X^{\min} \leq n_X^* \leq n_X^{\max}, \quad (4.9)$$

где  $n_\tau^* = \frac{W_\tau^*}{g}$  – заданное значение тангенциальной перегрузки, которое

определяется законом регулирования скорости полета; заданные значения нормальной и поперечной перегрузки ( $n_Y^*$  и  $n_Z^*$ ) определяются по формуле (4.6); граничные значения задающего воздействия по продольной перегрузке ( $n_X^{\min}$  и  $n_X^{\max}$ ) определяются условиями физической реализуемости.

Пропорционально-интегральный закон регулирования скорости:

$$n_\tau^* = k_V \left( \varepsilon_V + \frac{1}{T_{IH}} \int_0^t \varepsilon_V dt \right), \quad |n_\tau^*| \leq n_\tau^{\max}, \quad |\varepsilon_V| \leq n_\tau^{\max}, \quad \left| \frac{1}{T_{IH}} \int_0^t \varepsilon_V dt \right| \leq \frac{n_\tau^{\max}}{k_V} - |\varepsilon_V|. \quad (4.10)$$

Здесь  $k_V$  – коэффициент регулятора скорости;  $T_{IH}$  – постоянная времени интегрирования;  $\varepsilon_V = (V_K^* - V_K)$  – сигнал ошибки контура скорости, где  $V_K^*$  –

заданная земная скорость;  $n_{\tau}^{\max}$  – максимальное значение абсолютной величины управляющего сигнала, которое определяется уровнем возмущающих сил, обрабатываемых контуром регулирования скорости.

В законе управления (4.10) ограничение интегральной составляющей управляющего воздействия зависит от позиционной составляющей. Это снижает влияние интегральной составляющей на повышение длительности переходных процессов без изменения уровня компенсируемого постоянно действующего возмущения в установившемся режиме.

Движение ЦМ ЛА на интервале маневрирования с нулевой тангенциальной перегрузкой  $n_{\text{ХК}} = 0$  ( $n_{\tau} = -\sin \Theta$ ) соответствует режиму идеальной стабилизации начальной скорости. При этом согласно (4.9) задающее воздействие по продольной перегрузке  $n_x^* = -\frac{V_{KY}}{V_{KX}} n_y^* - \frac{V_{KZ}}{V_{KX}} n_z^*$  содержит только составляющие маневренных перегрузок  $n_{YK}$  и  $n_{ZK}$ .

#### **4.3 Расчет тяги силовой установки и расхода топлива в режиме управления скоростью полета летательного аппарата**

Переменную  $n_{XP}$  будем рассматривать в качестве составляющей вектора косвенного управления летательным аппаратом [23], величина которой пропорциональна основному регулируемому параметру силовой установки – силе тяги. Представим тяговую составляющую продольной перегрузки в виде:

$$n_{XP} = n_p^{\circ} (1 + \delta n_p). \quad (4.11)$$

В равенстве (11)  $n_p^{\circ} = \frac{P^{\circ}}{mg}$ , где  $P^{\circ}$  – базовое значение тяги силовой установки, которое вычисляется по формуле (3.6).

Полный расход топлива силовой установкой определяется по формуле, которая по структуре аналогична (4.11):

$$G_T = G_T^{\circ} (1 + \delta G_T), \quad G_T^{\min} \leq G_T \leq G_T^{\max} \quad (4.12)$$

В равенстве (4.12)  $\delta G_T = \frac{\Delta G_T}{G_T^{\circ}}$  [24], где  $G_T^{\circ}$  – базовое значение расхода топлива, которое определяется по формуле (3.9).

$\Delta G_T$  – составляющая расхода топлива, обеспечивающая регулирование тяги; граничные значения расхода топлива ( $G_T^{\min}$  и  $G_T^{\max}$ ) определяются условиями устойчивости горения.

Дифференциальное уравнение, описывающее изменение относительной регулируемой составляющей тяговой перегрузки ГТД [24]:

$$T_D \frac{d(\delta n_P)}{dt} + \delta n_P = \left[ (T_D + 1)k_{PG} + k_{PV}k_{VG} \right] \delta G_T, \quad (4.13)$$

где  $T_D$  – постоянная времени ГТД,  $k_{PG}, k_{VG}$  – коэффициенты усиления ГТД по расходу топлива,  $k_{PV}$  – коэффициент усиления ГТД по частоте вращения. Формулы для коэффициентов линеаризованной модели ГТД (4.13) представлены в работе [24].

Закон регулирования продольной перегрузки определяет значение регулирующего фактора  $\delta G_T$  в правой части уравнения (4.13):

$$\delta G_T = k_{n_x} (n_x^* - n_x), \quad (4.14)$$

где  $k_{n_x}$  – коэффициент регулятора продольной перегрузки;  $n_x^*$ ,  $n_x$  – заданное и измеренное значение продольной перегрузки, соответственно. В соответствии с (4.8)  $n_x$  содержит составляющую, пропорциональную  $n_{xK}$ , от которой непосредственно зависит производная сигнала ошибки по земной скорости  $\frac{d\varepsilon_V}{dt} = -\frac{dV_K}{dt}$ . Отсюда следует, что закон регулирования продольной перегрузки, определяемый выражениями (4.9), (4.10) и (4.14) в неявном виде реализует пропорционально-интегрально-дифференциальный регулятор (ПИД-регулятор) модуля земной скорости ЦМ ЛА.

В варианте применения СПВРД в силу отсутствия вращающихся элементов турбокомпрессора инерционностью контура тяги можно пренебречь. Тогда в ММ системы управления скоростью полета дифференциальное уравнение вида (4.13) может быть заменено линейным алгебраическим уравнением [25]:

$$\delta n_p = k_{PG} \delta G_T + k_{PM} \delta M ,$$

где  $k_{PM}$  – коэффициент влияния на тягу СПВРД числа Маха полета,  $\delta M = \frac{\varepsilon_V}{V_K^*}$ .

### Заключение

В работе обоснованы методы расчета основных характеристик силовых установок в составе имитационных математических моделей полета летательных аппаратов. Предлагаемые методы учитывают динамику изменения тяги и секундного расхода топлива с учетом функционирования силовой установки в составе контура регулирования скорости полета.

Определена область применения предлагаемых методов расчета тяги и расхода топлива силовых установок летательных аппаратов.

Для всех рассматриваемых типов двигателей представлены унифицированные расчетные зависимости, которые определяют тягу и секундный расход топлива силовой установки ЛА. В качестве базового режима воздушно-реактивных двигателей принят режим максимальной тяговой мощности. При этом формульная зависимость для расчетной тяги не требует применения эксплуатационных характеристик двигателей.

Для расчета удельной тяги и секундного расхода топлива воздушно-реактивных двигателей предложено использовать аппроксимации полного КПД, унифицированные для применяемого вида двигателей.

Математическая модель функционирования системы регулирования продольной перегрузки соответствует решению прямой задачи динамики по определению проекций сил на оси связанной системы координат, которые реализуют желаемое движение ЦМ ЛА, кинематические параметры которого заданы в траекторной системе координат.

### Литература

1. Работы по механике тел переменной массы / Мещерский И.В. –М.: Государственное издательство технико-теоретической литературы, 1952. – 201с.
2. Динамика ракет: Учебник для студентов вузов / Абгарян К.А., Калязин Э.Л., Мишин В.П. и др.: Под общ. ред.. Мишина В.П . 2-е изд. – М.: Машиностроение, 1990. –464 с.
3. Динамика полета. / Под редакцией академика РАН Бюшгенса Г.С. – М.: Машиностроение, 2011, 776 с.

4. [http://www.xliby.ru/transport\\_i\\_aviacija/vzlyot\\_2008\\_04/p11.php](http://www.xliby.ru/transport_i_aviacija/vzlyot_2008_04/p11.php)
5. Порошкин К.В., Ахмедзянов Д.А. Турбореактивные двигатели малой тяги для беспилотного летательного аппарата // Молодой учёный. Технические науки. 2011. № 1 (24). С 16 – 18.
6. <https://ru.wikipedia.org/wiki/P-95Ш>
7. <https://ru.wikipedia.org/wiki/ТРДД-50>
8. [https://ru.wikipedia.org/wiki/Williams\\_F107](https://ru.wikipedia.org/wiki/Williams_F107)
9. [https://ru.m.wikipedia.org/wiki/Турбореактивный\\_двигатель#](https://ru.m.wikipedia.org/wiki/Турбореактивный_двигатель#)
10. Теория реактивных двигателей: рабочий процесс и характеристики: учебное пособие для авиац. вузов / Стечкин Б.С. и др.; под ред. Стечкина Б.С.. – М.: Оборонгиз, 1958. – 534 с.
11. Теоретические основы проектирования крылатых управляемых ракет. / Мануйленко В.Г., Удин У.Г. – СПб: Университет ИТМО, 2020. – 201 с.
12. Теория, расчет и проектирование авиационных двигателей и энергетических установок. Теоретические основы: учебное пособие / Григорьев А.А. 2-е изд., перераб. и доп. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2010. – 368 с.
13. Основы теории авиационных газотурбинных двигателей: учебное пособие / Юнаков Л.П. – СПб.: Балт. гос. техн. ун-т., 2013. – 90 с.
14. Рабочий процесс двухконтурных турбореактивных двигателей: монография / Кузнецов В.И., Кочегаров А.В. Минобрнауки России, ОмГТУ. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2014. – 212 с.
15. Теория и расчет воздушно-реактивных двигателей. Учебник для вузов / Под ред. Шляхтенко С.М. – М.: Машиностроение, 1987. – 568 с.
16. Газотурбинные двигатели / Иноземцев А.А., Сандрацкий В.Л. – Пермь: ОАО «Авиадвигатель», 2006. – 1204 с.
17. Двигатели авиационных силовых установок. Входные и выходные устройства: Учеб. пособие / Жуков К.А., Кочуров В.А. – Самара: Самарский Государственный аэрокосмический ун-т., 1993.
18. Теория, расчет и проектирование авиационных двигателей и энергетических установок / Под редакцией Сосунова В.А. и Чепкина В.М. – М.: Издательство МАИ, 2003. – 693 с.
19. Теория авиационных двигателей: учебное пособие, часть 2. / Котовский В.Н., Комов А.А. – М.: Московский гос. технический ун-т ГА, – 2013. – 105 с.
20. Теория авиационных двигателей: ч.2. Учебник для ВУЗов ВВС. / Нечаев Ю.Н., Федоров В.Н. и др. Под ред. Нечаева Ю.Н. – М.: Изд. ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, 2006. – 448 с.
21. Прямоточные воздушно-реактивные двигатели / Бондарюк М.М., Ильяшенко С.М. – М.: Оборонгиз, 1958. – 394 с. – 72 с.

22. Прямоточные воздушно-реактивные двигатели (расчет характеристик): Монография/Артёмов О.А. –М.: Компания Спутник+, 2006. – 374 с.
23. Прикладная теория управления беспилотными летательными аппаратами / Моисеев В.С. –Казань: ГБУ «Республиканский центр мониторинга качества образования», 2013. –768 с.
24. Автоматика и регулирование авиационных двигателей и энергетических установок [Электронный ресурс]: конспект лекций / Макарьянц Г.М., Крючков А.Н. и др. Министерство образования и науки РФ, Самарский гос. Аэрокосмич. ун-т им. С. П. Королева (нац. исслед. ун-т). - Электрон. текстовые и граф. дан. (1,5 Мбайт). – Самара, 2011. 82 с.
25. Автоматика авиационных и ракетных силовых установок. Учебник для механических и авиационных ВУЗов / Шевяков А.А. –М: Машиностроение, 1965. 553с.

©Кикин И.С., 2025

УДК 681.3.06

## ГЛАВА 3

# МЕТОДЫ СЧИСЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ОРИЕНТАЦИИ ПОДВИЖНЫХ ПРЯМОУГОЛЬНЫХ СИСТЕМ КООРДИНАТ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ДЛЯ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПОЛЕТА ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

**Кикин И.С.**

канд. техн. наук,

Государственный научно-исследовательский

институт авиационных систем,

РФ, г. Москва

**Аннотация.** Цель проведенного аналитического исследования – уточнение интегрированной научно-методической базы для моделирования полета и разработки навигационного обеспечения летательного аппарата. Сформированы исходные данные для сравнительного анализа методов счисления параметров, определяющих взаимную ориентацию двух подвижных прямоугольных систем координат. Представленные научно-методические основы построения алгоритмов ориентации летательного аппарата предназначены для инженера, реализующего комплексный подход к проектным исследованиям по созданию автономной системы управления летательным аппаратом.

**Ключевые слова:** параметры ориентации, ортогональный базис, углы Эйлера-Крылова, матрица направляющих косинусов, кватернион, параметры Родрига-Гамильтона.

## METHODS OF CALCULATION OF ORIENTATION PARAMETERS OF MOVING RECTANGULAR COORDINATE SYSTEMS USED FOR MATHEMATICAL MODELING OF AN AIRCRAFT FLIGHT

**Igor Kikin**

Ph.D. of Engineering Sciences,

State Research Institute of Aviation Systems,

Russia, Moscow

**Abstract.** The purpose of the conducted analytical study is to clarify the integrated scientific and methodological base for flight modeling and development of navigation support for an aircraft. Initial data have been generated for a comparative analysis of

methods for calculating parameters that determine the mutual orientation of two moving rectangular coordinate systems. The presented scientific and methodological principles for constructing aircraft orientation algorithms are intended for an engineer implementing a comprehensive approach to design research to create an autonomous aircraft control system.

**Keywords:** orientation parameters, orthogonal basis, Euler-Krylov angles, direction cosine matrix, quaternion, Rodrigues-Hamilton parameters.

### Основные сокращения

АТТ – абсолютно твердое тело	ПСК – проекционная система координат
ДЛУ – датчик линейных ускорений	САУ – система автоматического управления
ДУС – датчик угловых скоростей	СК – система координат
ИНС – инерциальная навигационная система	СкСК – скоростная система координат по ГОСТ 20058-80
ЛА – летательный аппарат	ССК – связанная система координат по ГОСТ 20058-80
НСК – нормальная система координат по ГОСТ 20058-80	ТСК – траекторная система координат по ГОСТ 20058-80
НавСК – навигационная система координат	ЦМ – центр масс

### Введение

Базовой задачей разработки математических моделей полета летательного аппарата (ЛА) и систем навигационного обеспечения полёта является задача изменения базиса векторного пространства, а в более широком смысле – изменение системы отсчета (системы координат), в которой рассматривается движение ЛА. В ГОСТ 20058-80 для описания динамики ЛА в атмосфере введены пространственные прямоугольные (декартовы) системы координат (СК). Прямоугольная СК – частный случай аффинной СК, у которой базисные векторы попарно перпендикулярны и модули базисных векторов равны. Параметры взаимной ориентации СК определяют преобразование между метрическими пространствами, сохраняющее расстояния между точками. В математике данное преобразование называется **изометрией**.

**Абсолютно твердое тело (АТТ)** – понятие механики, обозначающее совокупность материальных точек (в том числе и их бесконечное множество),

расстояния между которыми сохраняются в процессе любых движений этого тела. Постоянство расстояний позволяет привязать к телу некоторую систему координат.

В силу независимости угловой скорости АТТ от центра (полюса) вращения, последний может выбираться произвольно. Любая СК жестко связана либо с материальным телом, либо с математической абстракцией материального тела. Задача определения параметров взаимной ориентации некоторого множества СК может ставиться при условии единого центра вращения, совпадающего с единым началом СК указанного множества. Такое множество СК введено ГОСТ 20058-80. Эти СК называются **подвижными СК**. Согласно указанного ГОСТа подвижная СК – правая прямоугольная декартова СК, начало которой помещено на ЛА, обычно в ЦМ, а направление осей выбирается в соответствии с задачей.

Фактически эти СК используется в качестве ортонормированных **базисов векторного пространства** размерности 3, поскольку начальные точки векторов, проектируемых на оси этих СК, совпадают с ее началом. Но, для исключения разночтений с многочисленными литературными источниками будем использовать введенный ГОСТ 20058-80 термин «**Подвижная СК**».

Подвижные СК, введенные ГОСТ 20058-80, могут быть классифицированы следующим образом.

1. Системы координат, у которых ориентация осей не зависит от ориентации ЛА.

1.1 Сопутствующие инерциальные и земные СК, начало которых перенесено в ЦМЛА: ориентированная подвижная СК  $Ox_{II}y_{II}z_{II}$  (невращающаяся); земная подвижная СК  $Ox_Oy_Oz_O$ , вектор угловой скорости которой соответствует угловой скорости суточного вращения Земли;

1.2 Подвижные СК, связанные с вертикалью: нормальная система координат (НСК)  $Ox_gy_gz_g$ , определяющая семейство сопровождающих координатных трехгранников: географического трехгранника и опорных трехгранников, которые вращаются относительно географического вокруг вертикальной оси (ортодромический, локсодромический, полусвободный и свободный в азимуте трехгранники).

1.3 Траекторная СК  $OX_K Y_K Z_K$  с вертикальной координатной плоскостью  $OX_K Y_K$ , в которой лежит вектор земной скорости ЦМЛА, совпадающий по направлению с координатной осью  $OX_K$ .

2. Системы координат, у которых ориентация осей зависит от ориентации ЛА.

2.1 Связанная СК  $OXYZ$ , которая определяет ориентацию ЛА в пространстве как абсолютно твердого тела.

2.2 Подвижные СК, ориентация которых в пространстве зависит от ориентации ЛА относительно воздушного потока: полусвязанная СК  $OX_e Y_e Z_e$ , связанная с пространственным углом атаки СК  $OX_{\Pi} Y_{\Pi} Z_{\Pi}$ , скоростная СК  $OX_a Y_a Z_a$ .

**Кинематические параметры** это величины, с помощью которых можно однозначно задать положение и движение АТТ или координатного трехгранника в выбранной системе отсчета. С математической точки зрения кинематические параметры это величины, меняющиеся в общем случае с течением времени, т. е. являющиеся функциями времени  $t$ , и входящие в уравнения механики в качестве переменных. Определяя их с помощью непосредственных измерений или с помощью решения уравнений механики, мы можем однозначно определить положение АТТ или координатного трехгранника в пространстве относительно выбранной системы отсчета.

**Векторные кинематические параметры вращательного (сферического) движения:**

– **Вектор углового перемещения (вектор ориентации, вектор Эйлера)** определяется теоремой Эйлера–Даламбера: Произвольное перемещение твердого тела вокруг неподвижной точки можно осуществить одним поворотом вокруг соответствующим образом избранной оси вращения, проходящей через эту точку. Направление этой оси (оси Эйлера), определяемое правилом «буравчика», соответствует положительному направлению вектора. Длина вектора ориентации – абсолютная величина угла поворота.

– **Вектор мгновенной угловой скорости** это векторная величина, равная первой производной от вектора углового перемещения тела по времени.

– **Вектор мгновенного углового ускорения** это векторная величина, равная первой производной вектора угловой скорости по времени.

Вектор мгновенного углового ускорения АТТ  $\varepsilon$  определяется основным уравнением динамики вращательного (сферического) движения АТТ вида:

$$[\mathbf{J}] \cdot \varepsilon = \mathbf{M}, \quad \varepsilon = \frac{d\mathbf{\Omega}}{dt},$$

где  $[\mathbf{J}]$  – матрица тензора инерции АТТ;  $\mathbf{\Omega}$  – вектор абсолютной угловой скорости вращения АТТ;  $\mathbf{M}$  – вектор главного момента системы сил, действующих на АТТ, относительно его ЦМ. В результате интегрирования этого уравнения получаем вектор угловой скорости, компоненты которого являются входами некоторого **обобщенного уравнения ориентации** вида:

$$\frac{d\mathbf{\square}}{dt} = f(\mathbf{\square}, \mathbf{\Omega}), \quad \mathbf{\square}_0 = \mathbf{\square}(t_0), \quad (\text{B.1})$$

где  $\mathbf{\square} \langle z_1, z_2, \dots, z_m \rangle$  – конкретизируемый в дальнейшем математический объект, объединяющий в себе счетное множество размерности  $m$  параметров ориентации  $z_i$ . Данное уравнение определяет место задачи определения ориентации в системе основанных на физических законах математических методов описания сферического движения АТТ.

Параметры взаимной ориентации двух СК это кинематические параметры, определяющие угловое положение одной СК относительно другой. Они могут быть получены в результате интегрирования кинематических уравнений движения, которые будем называть **уравнениями ориентации**. Как ортонормированные векторные базисы эти СК равноправны, т.е. любая из них может быть принята в качестве системы отсчета. При этом факт выбора системы отсчета из рассматриваемой пары СК приводит к элементарным структурным корректировкам обобщенных уравнений ориентации вида (B.1), таких как транспонирование, формирование сопряженной переменной, перестановка сомножителей. В многочисленных задачах, в которых результирующий объект представляет собой матрицу взаимной ориентации двух СК, изменение выбора системы отсчета из двух подвижных СК требует только транспонирования матрицы.

Выбор **системы уравнений ориентации и соответствующего множества кинематических параметров** является одним из ключевых моментов решения задач, связанных с моделированием и разработкой навигационного обеспечения полета ЛА. Он осуществляется на первоначальной стадии проектных исследований, исходя из соображений простоты, удобства и эффективности решения рассматриваемой задачи. При этом следует иметь в виду нетривиальность процедуры выбора, несмотря на высочайшую степень проработки вариантов в сфере фундаментальных и прикладных исследований механики движения АТТ. А именно, даже принципиальные недостатки метода описания кинематики АТТ, выявленные в процессе указанных исследований, могут оказаться несущественными применительно к конкретной задаче. Важно, чтобы в распоряжении разработчика был набор наиболее распространенных решений рассматриваемой задачи.

В данной работе представлено изложение подхода к решению задачи выбора системы кинематических параметров в условиях применения научно-методической базы проектирования САУЛА, соответствующий интеграции методов теоретической механики, теории автоматического управления и теории инерциальной навигации. При решении этой задачи целесообразно абстрагироваться от привязки СК к физически существующему материальному телу, поскольку в области интереса имеются СК, связанные с потоком воздуха, аэродинамически воздействующего на ЛА.

У земных СК в соответствии с ГОСТ 20058-80 начало и оси фиксированы по отношению к Земле и составляющие угловой скорости определяются параметрами угловой ориентации осей СК относительно оси суточного вращения Земли. При решении задач динамического проектирования САУЛА земные СК систематически применяются как инерциальные, поскольку перегрузки, обусловленные вращением этих СК пренебрежимо малы по отношению к перегрузкам, обусловленным силовыми воздействиями на ЛА.

**Интегрированный подход** к проектированию САУЛА заключается в реализации процесса синтеза информационно-управляющей системы, основанного на взаимосвязи работ по созданию алгоритмов управления и информационного обеспечения процесса управления. В рамках интегрированного

подхода применяются унифицированные алгоритмы моделирования движения ЛА и навигационного обеспечения управляемого полета. Как следствие, применяются унифицированные СК для счисления параметров ориентации и навигационных элементов полета в математических моделях, применяемых для синтеза регулятора, и в алгоритмах навигационной системы.

Математическое описание движения ЦМ ЛА включает в себя [1]:

- систему 3-х дифференциальных уравнений, которая представляет собой проекции векторного уравнения динамики движения ЦМ ЛА на оси выбранной подвижной СК;

- систему 3-х кинематических дифференциальных уравнений, представляющую собой выражения для проекций производной радиус-вектора ЦМ ЛА на оси СК, в которой определяются навигационные элементы движения ЦМ ЛА.

Подвижную СК, применяемую для записи системы уравнений динамики движения ЦМ ЛА, будем называть проекционной системой координат (ПСК) [2]. В состав навигационных элементов входят компоненты относительной скорости и координаты ЦМЛА (траектория движения ЛА как материальной точки).

Для систем координат, в которых определяются параметры, характеризующие ориентацию и движение летательного аппарата относительно Земли, в которой также задается траектория полета, применяется термин **«Навигационная система координат»** (НавСК). Обратим внимание на то что термин «Навигационные элементы полета» относится к координатам и компонентам скорости ЦМЛА, определяемым как навигационной системой ЛА и ее математической моделью, так и математической моделью полета.

Актуальность задачи определения взаимной ориентации СК обусловлена также тем, что правая часть векторного уравнения динамики движения ЦМЛА включает в себя векторы сил, представленные в различных базисах, и требуется их приведение к ПСК.

Интегрированный подход к проектированию САУ с ИНС, применяемой в качестве базовой информационной системы, предполагает согласование проекционной, сопровождающей и навигационной СК с триэдрами инерциальных блоков, образованных осями чувствительности акселерометров и датчиков угловой ориентации.

Рассматриваемая задача взаимной ориентации СК традиционно относится к направлению, связанному с изучением динамики АТТ и, в частности, с классической задачей о вращении АТТ вокруг неподвижной точки (полюса вращения), называемого также угловым или сферическим движением. Решение указанной классической задачи сводится к определению текущего положения и параметров движения СК, связанной с АТТ относительно СК, называемой системой отсчета. Как отмечалось ранее, система отсчета может быть связана как с материальным телом отсчета, так и с математической абстракцией материального тела отсчета, жестко скрепленного с этой системой координат.

Теоретические исследования механики движения АТТ включают в себя как разработку и исследование математических моделей движения, так и решение задач анализа и синтеза процессов управляемого движения. Обширная литература в этой области знаний отражает не менее чем трехсотлетнюю хронологию ее развития [3].

В процессе подготовки данной статьи проведен анализ незначительного по объему фрагмента литературы [4 – 16], относящегося к пятидесятилетнему временному интервалу исследований. Этот анализ проводился с целью формирования исходных данных для сравнительного анализа методов взаимной ориентации подвижных СК. Однако рассматриваемая задача выбора метода ориентации должна учитывать тенденцию развития теории движения механических систем, которую кратко можно описать следующим образом.

1) Новые модели движения механических систем, применяемых в таких областях науки и техники, как навигация и управление движением ЛА, небесная механика и механика космического полета, разрабатываются с применением кватернионных и бикватернионных методов механики АТТ [4, 7 – 9, 14, 15].

2) Для синтеза систем управления пространственным движением АТТ нашли широкое применение бикватернионные модели, описывающие композицию сферического и поступательного движения АТТ, которая эквивалентна его винтовому движению [11, 12].

3) В задачах оптимизации управления сферическим движением АТТ эффективно применяются кватернионные модели движения АТТ [13, 16].

Таким образом, прикладные задачи механики АТТ решаются в настоящее время в условиях обладающего высоким приоритетом кватернионного и бикватернионного методов описания движения.

Параметры, описывающие взаимную ориентацию СК, традиционно подразделяются на три группы: **угловые, векторные и матричные** [4, 6 – 9]. Отметим, что угловые параметры ориентации формально могут быть объединены в трехмерный вектор, но это не дает преимуществ для математического описания постановок и решений задач ориентации с применением указанных параметров.

Рассматривается задача определения параметров взаимной ориентации двух подвижных прямоугольных СК, СК1 и СК2, обозначаемых соответственно  $OX_1Y_1Z_1$  и  $OX_2Y_2Z_2$ . Параметры ориентации, относящиеся к любой из выше указанных групп, функционально зависимы. Принципиальное отличие групп кинематических параметров ориентации – размерность, структура и свойства систем дифференциальных уравнений ориентации, интегрирование которых обеспечивает расчёт этих параметров.

### 1. Горизонтированные сопровождающие системы координат

Системы координат, связанные с местной вертикалью, и отличающиеся друг от друга ориентацией в азимуте, образуют счетное множество сопровождающих горизонтированных трехгранников, соответствующих НСК по ГОСТ 20058-80. Варианты трехгранников, относящиеся к семейству НСК, играют роль систем отсчета для большинства подвижных СК. Кроме того, кинематические параметры сопровождающих СК применяются для счисления сферических и эллипсоидальных координат ЦМЛА. С учетом изложенного, задача определения компонент угловой скорости сопровождающих трехгранников, как входных переменных соответствующих уравнений ориентации, выделена для рассмотрения в настоящем разделе работы.

Формульные зависимости, определяющие проекции угловой скорости НСК на её собственные оси  $\Omega_{X_g}$ ,  $\Omega_{Y_g}$  и  $\Omega_{Z_g}$  представим для сферической модели Земли с геоцентрической вертикалью. В этом случае поверхности положения ЦМЛА – концентрические сферы радиуса  $r = R + H$ , где  $R$  – радиус Земли,  $H$  – геодезическая высота полета ЛА (частный случай для сферической модели Земли). Для модели геоида в форме эллипсоида вращения радиус кривизны

поверхности положения ЛА зависит от угла, образуемого плоскостью сечения поверхности положения ЦМЛА, в которой определяется радиус, и плоскостью меридиана. Методы вычисления радиусов кривизны для семейства поверхностей, эквидистантных земному эллипсоиду и семейства подобных эллипсоидов ( $h$  – эллипсоидов, введенных П.В. Бромбергом) представлены в работе [17].

НСК, в варианте ориентации горизонтальных осей  $OX_g$  и  $OZ_g$  по странам света, соответствует географическому сопровождающему трехграннику  $ONHE$ , в котором ось  $ON$  направлена на север, ось  $OE$  – на восток. Ось  $OH$  тождественна оси  $OY_g$ . В этом случае проекции вектора земной скорости  $V_K$ :

$$V_{KX_g} = V_N, V_{KY_g} = V_H = \frac{dH}{dt}, V_{KZ_g} = V_E,$$

где  $V_N, V_E$  – северная и восточная составляющие земной скорости ЦМ ЛА. Координаты ЦМЛА в сферической геоцентрической гринвичской СК (широта  $\varphi$  и долгота  $\lambda$  места ЛА, а также радиус-вектора  $r = R + H$ ) определяется в результате интегрирования системы дифференциальных уравнений:

$$\frac{d\varphi}{dt} = \frac{V_N}{r}, \quad \frac{d\lambda}{dt} = \frac{V_E}{r \cos \varphi}, \quad \frac{dr}{dt} = \frac{dH}{dt} \quad (1.1)$$

Вектор абсолютной угловой скорости географического сопровождающего трёхгранника  $\Omega = \omega + U$ , где  $\omega$  – вектор относительной угловой скорости,  $U$  – вектор переносной угловой скорости, который тождественен вектору угловой скорости суточного вращения Земли.

$$\Omega = \left\| \Omega_N \quad \Omega_H \quad \Omega_E \right\|^T, \quad \omega = \left\| \frac{d\lambda}{dt} \cos \varphi \quad \frac{d\lambda}{dt} \sin \varphi \quad -\frac{d\varphi}{dt} \right\|^T,$$

$$U = \left\| U \cos \varphi \quad U \sin \varphi \quad 0 \right\|^T,$$

где  $U$  – модуль угловой скорости суточного вращения Земли.

Тогда, с учетом (1.1), получим:

$$\left. \begin{aligned} \Omega_N &= \left( U + \frac{d\lambda}{dt} \right) \cos \varphi = U \cos \varphi + \frac{V_E}{r}, \\ \Omega_H &= \left( U + \frac{d\lambda}{dt} \right) \sin \varphi = U \sin \varphi + \frac{V_E}{r} \operatorname{tg} \varphi, \\ \Omega_E &= -\frac{d\varphi}{dt} = -\frac{V_N}{r}. \end{aligned} \right\} \quad (1.2)$$

Любой горизонтированный сопровождающий координатный трехгранник, относящийся к семейству НСК, может быть задан углом поворота географического сопровождающего трехгранника  $ONHE$  на азимутальный угол  $\chi$  вокруг оси  $OH$  по часовой стрелке [17]. При этом переносная угловая скорость для произвольного горизонтированного трехгранника равна вертикальной проекции абсолютной угловой скорости географического сопровождающего трехгранника  $\Omega_{пер} = \Omega_H$ .

Проекции линейной земной скорости ЦМЛА и абсолютной угловой скорости произвольного сопровождающего трехгранника:

$$\left. \begin{aligned} V_{KX_g} &= V_N \cos \chi + V_E \sin \chi, \quad V_{KZ_g} = V_E \cos \chi - V_N \sin \chi, \quad V_{KY_g} = V_H = \frac{dH}{dt}, \\ \Omega_{X_g} &= \Omega_N \cos \chi + \Omega_E \sin \chi, \quad \Omega_{Z_g} = \Omega_E \cos \chi - \Omega_N \sin \chi, \quad \Omega_{Y_g} = \Omega_H. \end{aligned} \right\} \quad (1.3)$$

В результате интегрирования уравнения динамики движения ЦМЛА в проекционной СК формируются, как правило, проекции абсолютной или кажущейся скорости движения ЦМ на оси этой системы, которые в обеспечение последующих этапов моделирования полета ЛА проектируются на оси НСК [1]. Для того, чтобы воспользоваться формулами (1.3) следует спроектировать вектор абсолютной скорости движения ЦМЛА  $\mathbf{V}_a = \mathbf{V}_K + \mathbf{V}_{пер}$  на оси трехгранника  $ONHE$ . Вектор переносной скорости  $\mathbf{V}_{пер}$ , обусловленный суточным вращением Земли, с учетом равенства  $U_E = 0$  имеет только восточную составляющую:

$$\mathbf{V}_{пер} = \mathbf{U} \times \mathbf{r} = \begin{vmatrix} \mathbf{e}_N & \mathbf{e}_H & \mathbf{e}_E \\ U_N & U_H & U_E \\ 0 & r & 0 \end{vmatrix} = -\mathbf{e}_N r U_E - \mathbf{e}_H 0 + \mathbf{e}_E r U_N = \mathbf{e}_E r U \cos \varphi.$$

Здесь  $\mathbf{e}_N, \mathbf{e}_H, \mathbf{e}_E$  – орты трехгранника  $ONHE$ . Проектирование на его оси вектора абсолютной линейной скорости  $\mathbf{V}_a$  дает следующий результат:

$$\begin{aligned} V_N &= V_{aX_g} \cos \chi - V_{aZ_g} \sin \chi, \quad V_H = V_{aY_g} = \frac{dH}{dt}, \\ V_{aE} &= V_{aX_g} \sin \chi + V_{aZ_g} \cos \chi, \quad V_E = V_{aE} - rU \cos \varphi. \end{aligned} \quad (1.4)$$

Уравнения для счисление азимутального угла могут быть получены из соотношения:

$$\frac{d\chi}{dt} = -\omega_H,$$

где  $\omega_H$  – относительная угловая скорость выбранной реализации НСК, которая имеет только вертикальную составляющую.

Вертикальная составляющая переносной угловой скорости НСК равна вертикальной составляющей абсолютной угловой скорости трехгранника  $ONHE$ :

$\Omega_{Hнер} = U \sin \varphi + \frac{V_E}{r} \operatorname{tg} \varphi$ . Вертикальной составляющей относительной угловой

скорости НСК определяется по формуле  $\omega_H = \Omega_{Набс} - \Omega_{Hнер}$ . У географического

сопровождающего трехгранника  $\Omega_{Набс} = \Omega_{Hнер}$  и уравнение счисления азимута

принимает вид  $\frac{d\chi}{dt} = 0$ . Уравнение счисления азимута этого вида соответствует

также сопровождающим трехгранникам локсодромий – множества кривых на сфере, пересекающих меридианы под постоянным углом  $\chi = const$  и

спиралеобразно приближаясь к земному полюсу. У географического

сопровождающего трехгранника  $ONHE$   $\chi \equiv 0$ . Локсодромический путевой угол

(азимут)  $\chi_{Л}$  определяется по формуле:

$$\chi_{Л} = \operatorname{arctg} \left( \frac{\lambda_2 - \lambda_1}{\varphi_2 - \varphi_1} \cos \frac{\varphi_2 + \varphi_1}{2} \right), \quad (1.5)$$

где индексы 1 и 2 соответствуют точкам начала и конца полета по локсодромии.

У **полусвободного в азимуте** сопровождающего трехгранника:

$$\Omega_{\text{НПс}} = U \sin \varphi, \quad \frac{d\chi}{dt} = \frac{V_E}{r} \operatorname{tg} \varphi. \quad (1.6)$$

У **свободного в азимуте** сопровождающего трехгранника:

$$\Omega_{\text{Нсв}} = 0 \quad \text{и} \quad \frac{d\chi}{dt} = U \sin \varphi + \frac{V_E}{r} \operatorname{tg} \varphi. \quad (1.7)$$

**Ортодромическая СК** – разновидность сферической СК, координатные оси которой представляют собой две взаимно перпендикулярные дуги окружностей больших кругов сферической поверхности, аппроксимирующей поверхность Земли. Одна из окружностей образуется большим кругом, проходящим через начальную и конечную точки ортодромии. Положение ортодромии на земной поверхности соответствует положению одного из двух условных полюсов, аналогичных по геометрическим признакам полюсам географической сферической СК.

Для **ортодромического сопровождающего трехгранника** уравнение счисления азимута может быть получено как следствие основного свойства ортодромии, определяемого выражением  $\sin \chi \cos \varphi = \text{const}$ . В результате дифференцирования этого выражения получим:

$$\frac{d\chi}{dt} = \operatorname{tg} \chi \operatorname{tg} \varphi \frac{d\varphi}{dt}. \quad (1.8)$$

Проекция абсолютной угловой скорости ортодромического сопровождающего трехгранника можно получить перепроектированием проекций угловой скорости географического трехгранника с использованием формул (1.4). Такие расчеты целесообразны тогда, когда навигационная задача должна решаться одновременно в географической и ортодромической системах координат. Для большинства задач проектирования навигационных систем такой пересчет практически нецелесообразен. Тогда задачи моделирования и

навигационного обеспечения с использованием ортодромической СК решаются аналогично варианту применения географической СК. При этом географическая координатная сетка используется только в режиме предполетной подготовки. Географические координаты начальной и конечной точек ортодромического участка траектории полета ЛА требуются для вычисления характеристик ортодромии, в состав которых входят следующие [6].

- Начальное значение азимута (путевого угла) ортодромии  $\chi_0$ .
- Начальное значение ортодромической долготы  $S_0$ , отсчитываемой от точки пересечения ортодромии с географическим экватором;
- Географическая широта точки вертекса  $\varphi_B$ , в которой широта (северная или южная) максимальна. Любая ортодромия (кроме земного экватора) имеет две точки вертекса. В точках вертекса ортодромия пересекает меридиан под прямым углом, т.е. азимут ортодромии составляет  $90^\circ$  (или  $270^\circ$ , если лететь по этой же ортодромии в противоположную сторону).

Приведем формулы для ортодромической СК, аналогичные формулам (1.1) – (1.3), с учетом малости ортодромической широты  $\Phi$ , которая отличается от нуля в режиме возмущенного движения ЛА [6]. У ортодромического сопровождающего трехгранник  $O\xi\eta\zeta$  ось  $O\eta$  направлена вверх по местной вертикали, ось  $O\xi$  направлена вдоль касательной к заданной ортодромии, ось  $O\zeta$  перпендикулярна  $O\xi$  и направлена вправо. Трехгранник  $O\xi\eta\zeta$  – частный случай НСК:  $\xi := X_g$ ,  $\eta := Y_g$ ,  $\zeta := Z_g$ .

- 1) Формулы счисления сферических ортодромических координат:

$$\frac{dS}{dt} = \frac{V_{K\xi}}{r}, \quad \frac{dF}{dt} = -\frac{V_{K\zeta}}{r}, \quad \frac{dr}{dt} = V_{K\eta}, \quad (1.9)$$

где  $S, F$  – ортодромические долгота и широта, соответственно;  $V_{K\xi}, V_{K\eta}, V_{K\zeta}$  – проекции вектора земной скорости на оси трехгранника  $O\xi\eta\zeta$ .

- 2) Проекция вектора абсолютной угловой скорости трехгранника  $O\xi\eta\zeta$  на его оси:

$$\left. \begin{aligned} \Omega_{\xi} &= \frac{V_{K\xi}}{r} + U \sin \varphi_B \cos S, \\ \Omega_{\eta} &= U \sin \varphi_B \sin S, \\ \Omega_{\zeta} &= -\frac{V_{K\xi}}{r} - U \cos \varphi_B. \end{aligned} \right\} \quad (1.10)$$

3) Проекция вектора абсолютной скорости ЦМЛА на оси трехгранника  $O\xi\eta\zeta$ :

$$\left. \begin{aligned} V_{\xi} &= V_{K\xi} - Ur \cos \varphi_B, \\ V_{\eta} &= V_{K\eta}, \\ V_{\zeta} &= V_{K\zeta} - Ur \sin \varphi_B \cos S. \end{aligned} \right\} \quad (1.11)$$

На основании (1.1) – (1.3) и (1.5) – (1.11) могут быть построены математические модели, обеспечивающие формирование всех практически значимых вариантов входных переменных системы уравнений угловой ориентации.

## 2. Система угловых кинематических параметров, определяющих взаимную ориентацию систем координат.

### 2.1 Углы Эйлера-Крылова. Матрицы направляющих косинусов.

**Система угловых кинематических параметров** – трехпараметрическая система, основанная на теореме Эйлера: Произвольное перемещение твердого тела вокруг неподвижной точки можно осуществить тремя последовательными вращениями тела вокруг трех осей, проходящих через неподвижную точку [9]. Принципиально возможно суммирование поворотов в варианте их задания в форме векторов Эйлера. При этом выражения для характеристик вектора суммарного поворота в общем случае получаются громоздкими и труднообозримыми [18]. Это делает целесообразным рассматривать произвольный поворот АТТ как процесс совмещения двух ортогональных СК с началом в центре вращения и использовать геометрический

подход к описанию этого процесса в виде последовательности трех плоских поворотов.

Система угловых кинематических параметров, введенная Эйлером, включает в себя последовательность поворотов на углы, называемые углами нутации, прецессии и собственного вращения [7]. Углы Эйлера практически не могут использоваться в качестве параметров взаимной ориентации СК, применяемых для описания движения ЛА. Это связано с тем, что повороты на углы прецессии и собственного вращения осуществляются вокруг одноименных осей [7]. Оси прецессии и собственного вращения образуют угол нутации (ось нутации – линия узлов, соответствующая пересечению координатных плоскостей, которые ортогональны этим осям). Система углов Эйлера применяется в теории гироскопических систем [19].

Для решения рассматриваемой задачи ориентации пригодна система угловых кинематических параметров Эйлера-Крылова. Она предусматривает конечные повороты, совершаемые вокруг последовательно изменяемых координатных осей преобразуемого базиса. Иными словами, повороты СК на углы Эйлера-Крылова осуществляется последовательно вокруг ее собственных осей, положение которых соответствует предыдущим поворотам.

Введем систему углов Эйлера-Крылова, определяющих последовательность конечных поворотов СК2 для ее совмещения с СК1. Нотация академика А.Ю. Ишлинского для этой системы конечных поворотов:

$$OX_2Y_2Z_2 \xrightarrow{Y_2, Y_1'} \rightarrow OX_1'Y_1'Z_1' \xrightarrow{Z_1', Z_1''} \rightarrow OX_1''Y_1''Z_1'' \xrightarrow{X_1''X_1} \rightarrow OX_1Y_1Z_1, \quad (2.1)$$

где стрелка означает оператор конечного поворота трехгранника из состояния, указанного до стрелки, в состояние, указанное после стрелки. Над стрелкой приводятся две совпадающие оси, вокруг которых совершается конечный поворот, а под стрелкой – угол поворота. Запись нотации Ишлинского в матричной форме:

$$\|X_1Y_1Z_1\|^T = A_{\varphi_3} \|X_1''Y_1''Z_1''\|^T = A_{\varphi_3} A_{\varphi_2} \|X_1'Y_1'Z_1'\|^T = A_{\varphi_3} A_{\varphi_2} A_{\varphi_1} \|X_2Y_2Z_2\|^T$$

Матрицы элементарных конечных поворотов, соответствующие (2.1):

$$A_{\varphi_1} = \begin{vmatrix} \cos \varphi_1 & 0 & -\sin \varphi_1 \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \varphi_1 & 0 & \cos \varphi_1 \end{vmatrix}, \quad A_{\varphi_2} = \begin{vmatrix} \cos \varphi_2 & \sin \varphi_2 & 0 \\ -\sin \varphi_2 & \cos \varphi_2 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}, \quad A_{\varphi_3} = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \varphi_3 & \sin \varphi_3 \\ 0 & -\sin \varphi_3 & \cos \varphi_3 \end{vmatrix}.$$

Матрица направляющих косинусов  $A$  при переходе от СК2 к СК1, которая реализует преобразование  $\|X_1 \ Y_1 \ Z_1\|^T = A \|X_2 \ Y_2 \ Z_2\|^T$ , определяется перемножением матриц элементарных конечных поворотов в порядке, обратном последовательности поворотов:

$$A = A_{\varphi_3} A_{\varphi_2} A_{\varphi_1} = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \cos \varphi_1 \cos \varphi_2 & \sin \varphi_2 & -\sin \varphi_1 \cos \varphi_2 \\ -\cos \varphi_1 \sin \varphi_2 \cos \varphi_3 + \sin \varphi_1 \sin \varphi_3 & \cos \varphi_2 \cos \varphi_3 & \sin \varphi_1 \sin \varphi_2 \cos \varphi_3 + \cos \varphi_1 \sin \varphi_3 \\ \cos \varphi_1 \sin \varphi_2 \sin \varphi_3 + \sin \varphi_1 \cos \varphi_3 & -\cos \varphi_2 \sin \varphi_3 & -\sin \varphi_1 \sin \varphi_2 \sin \varphi_3 + \cos \varphi_1 \cos \varphi_3 \end{vmatrix} \quad (2.2)$$

Матрица направляющих косинусов  $C=A^T$  при переходе от СК1 к СК2, которая реализует преобразование  $\|X_2 \ Y_2 \ Z_2\|^T = C \|X_1 \ Y_1 \ Z_1\|^T$ :

$$C = \begin{vmatrix} c_{11} & c_{12} & c_{13} \\ c_{21} & c_{22} & c_{23} \\ c_{31} & c_{32} & c_{33} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \cos \varphi_1 \cos \varphi_2 & -\cos \varphi_1 \sin \varphi_2 \cos \varphi_3 + \sin \varphi_2 \sin \varphi_3 & \cos \varphi_1 \sin \varphi_2 \sin \varphi_3 + \sin \varphi_1 \cos \varphi_3 \\ \sin \varphi_2 & \cos \varphi_2 \cos \varphi_3 & -\cos \varphi_2 \sin \varphi_3 \\ -\sin \varphi_1 \cos \varphi_2 & \sin \varphi_1 \sin \varphi_2 \cos \varphi_3 + \cos \varphi_1 \sin \varphi_3 & -\sin \varphi_1 \sin \varphi_2 \sin \varphi_3 + \cos \varphi_1 \cos \varphi_3 \end{vmatrix} \quad (2.2a)$$

Если матрица  $A$  или  $C$  известна, то углы Эйлера-Крылова однозначно определяются через их элементы. На основании анализа (2.2) и (2.2а) получим выражения:

$$\varphi_1 = \operatorname{arctg} \left( -\frac{a_{13}}{a_{11}} \right), \quad \varphi_2 = \arcsin a_{12}, \quad \varphi_3 = \operatorname{arctg} \left( -\frac{a_{32}}{a_{22}} \right). \quad (2.3)$$

где  $a_{13} = c_{31}$ ,  $a_{11} = c_{11}$ ,  $a_{12} = c_{21}$ ,  $a_{32} = c_{23}$ ,  $a_{22} = c_{22}$ .

## 2.2 Конкретные варианты углов Эйлера-Крылова

Представим конкретные варианты углов Эйлера-Крылова, соответствующих (2.1), которые используются как параметры взаимной ориентации СК, определяемых ГОСТ 20058-80 и широко применяемых в теории полета ЛА. Отметим пять групп углов, представленных ниже, которые определяют ориентацию:

- ЛА относительно Земли;
- ЛА относительно воздушного потока;
- ЛА относительно вектора земной скорости ЦМЛА;
- направления движения ЦМЛА относительно Земли;
- направления движения воздушного потока относительно Земли.

Ориентация ЛА отождествляется с ориентацией СК, связанной с ЛА, а ориентация Земли – с ориентацией применяемой земной СК.

1) Углы самолетной схемы поворотов для взаимной ориентации связанной (СК1) и нормальной (СК2) систем координат:  $\varphi_1 = \psi$  – угол рыскания (курсовой угол),  $\varphi_2 = \vartheta$  – угол тангажа,  $\varphi_3 = \gamma$  – угол крена.

2) Углы взаимной ориентации связанной (СК1) и скоростной (СК2) систем координат:  $\varphi_1 = \beta$  – угол скольжения,  $\varphi_2 = \alpha$  – угол атаки,  $\varphi_3 = 0$ .

Для вычисления углов атаки и скольжения необходимо определить вектор воздушной скорости  $\mathbf{V} = \mathbf{V}_K - \mathbf{W}$ , где  $\mathbf{V}_K$  и  $\mathbf{W}$  – вектора земной скорости и скорости ветра. В проекциях на оси НСК:

$$\left. \begin{aligned} V_{X_g} &= V_{KX_g} - W_{X_g}, \\ V_{Y_g} &= V_{KY_g} - W_{Y_g}, \\ V_{Z_g} &= V_{KZ_g} - W_{Z_g}. \end{aligned} \right\} \quad (2.4)$$

Здесь  $W_{X_g} = W \cos \Theta_w \cos \Psi_w$ ,  $W_{Y_g} = W \sin \Theta_w$ ,  $W_{Z_g} = -W \cos \Theta_w \sin \Psi_w$ , где  $\Psi_w$  – угол ветра,  $\Theta_w$  – наклон ветра. Для определения аэродинамических углов необходимо вычислить проекции вектора воздушной скорости на оси ССК  $OXYZ$  [1]:

$\|V_X \ V_Y \ V_Z\|^T = A \|V_{X_g} \ V_{Y_g} \ V_{Z_g}\|^T$ . Элементы матрицы  $A$  вычисляются в соответствии с (2.2), где  $\varphi_1 = \psi$ ,  $\varphi_2 = \vartheta$ ,  $\varphi_3 = \gamma$ . Углы атаки и скольжения для  $V_X > 0$  с учетом ветра вычисляются по формулам:

$$\alpha = -\arcsin\left(\frac{V_Y}{\sqrt{V_X^2 + V_Y^2}}\right); \quad \beta = \arcsin\left(\frac{V_Z}{V}\right), \quad \text{где } V = \sqrt{V_X^2 + V_Y^2 + V_Z^2}. \quad (2.5)$$

3) Углы взаимной ориентации связанной (СК1) и траекторной (СК2) систем координат:  $\alpha_K$  – кинематический угол атаки,  $\beta_K$  – кинематический угол скольжения,  $\gamma_K$  – кинематический угол крена. Углы  $\alpha_K$ ,  $\beta_K$  и  $\gamma_K$  соответствуют определениям углов атаки  $\alpha$ , скольжения  $\beta$  и скоростного крена  $\gamma_a$  по ГОСТ 20058–80 в неподвижной относительно Земли атмосфере (без учета ветра).

Нотация академика А.Ю. Ишлинского для системы конечных поворотов, обеспечивающих совмещение ТСК и ССК:

$$OX_K Y_K Z_K \xrightarrow{\gamma_K, X'} OX' Y' Z' \xrightarrow{\beta_K, Y''} OX'' Y'' Z'' \xrightarrow{\alpha_K, Z} OXYZ.$$

Запись нотации Ишлинского в матричной форме:

$$\|XYZ\|^T = E_{\alpha_K} \|X''Y''Z''\|^T = E_{\alpha_K} E_{\beta_K} \|OX'Y'Z'\|^T = E_{\alpha_K} E_{\beta_K} E_{\gamma_K} \|X_K Y_K Z_K\|^T.$$

$$E_{\gamma_K} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \gamma_K & \sin \gamma_K \\ 0 & -\sin \gamma_K & \cos \gamma_K \end{bmatrix}, \quad E_{\beta_K} = \begin{bmatrix} \cos \beta_K & 0 & -\sin \beta_K \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \beta_K & 0 & \cos \beta_K \end{bmatrix}, \quad E_{\alpha_K} = \begin{bmatrix} \cos \alpha_K & \sin \alpha_K & 0 \\ -\sin \alpha_K & \cos \alpha_K & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

Перемножая матрицы единичных поворотов, получим выражение для матрицы  $E$ , определяющей преобразование  $\|XYZ\|^T = E\|X_K Y_K Z_K\|^T$ :

$$E(\alpha_K, \beta_K, \gamma_K) = E_{\alpha_K} E_{\beta_K} E_{\gamma_K} =$$

$$= \begin{pmatrix} \cos \alpha_K \cos \beta_K & -\cos \beta_K \sin \alpha_K & \sin \beta_K \\ \cos \alpha_K \sin \beta_K \sin \gamma_K + \sin \alpha_K \cos \gamma_K & -\sin \beta_K \sin \alpha_K \sin \gamma_K + \cos \alpha_K \cos \gamma_K & -\cos \beta_K \sin \gamma_K \\ -\cos \alpha_K \sin \beta_K \cos \gamma_K + \sin \alpha_K \sin \gamma_K & \sin \beta_K \sin \alpha_K \cos \gamma_K + \cos \alpha_K \sin \gamma_K & \cos \beta_K \cos \gamma_K \end{pmatrix}, \quad (2.6)$$

Кинематические углы атаки и скольжения вычисляются через проекции вектора земной скорости на оси ССК. Для  $V_{KX} > 0$  указанные углы вычисляются по формулам:

$$\alpha_K = -\arcsin \left( \frac{V_{KY_g}}{\sqrt{V_{KX_g}^2 + V_{KY_g}^2}} \right); \quad \beta_K = \arcsin \left( \frac{V_{KZ_g}}{V_K} \right), \quad \text{где } V_K = \sqrt{V_{KX_g}^2 + V_{KY_g}^2 + V_{KZ_g}^2}.$$

Кинематический угол крена  $\gamma_K$  обеспечивает вертикализацию координатной плоскости  $OX_K Y_K$  траекторной СК и определяется по формуле:

$$\gamma_K = \arcsin \frac{1}{\cos \theta} (\sin \vartheta \cos \alpha_K \sin \beta_K - \cos \vartheta \cos \gamma \sin \alpha_K \sin \beta_K + \cos \vartheta \sin \gamma \cos \beta_K).$$

4) Углы взаимной ориентации траекторной (СК1) и нормальной (СК2) систем координат:  $\varphi_1 = \Psi$  – угол пути,  $\varphi_2 = \theta$  – угол наклона траектории,  $\varphi_3 = 0$ .

5) Углы взаимной ориентации скоростной (СК1) и нормальной (СК2) систем координат:  $\varphi_1 = \psi_a$  – скоростной угол рыскания,  $\varphi_2 = \vartheta_a$  – скоростной угол тангажа,  $\varphi_3 = \gamma_a$  – скоростной угол крена.

$$\left. \begin{aligned} \psi_a &= \arcsin \frac{1}{\cos \vartheta_a} [\sin \psi \cos \vartheta \cos \alpha \cos \beta + \sin \alpha \cos \beta (\cos \psi \sin \gamma + \\ &\quad + \sin \psi \sin \vartheta \cos \gamma) - \sin \beta (\cos \psi \cos \gamma - \sin \psi \sin \vartheta \sin \gamma)], \\ \vartheta_a &= \arcsin (\sin \vartheta \cos \alpha \cos \beta - \cos \vartheta \cos \gamma \sin \alpha \cos \beta - \cos \vartheta \sin \gamma \sin \beta), \\ \gamma_a &= \arcsin \frac{1}{\cos \vartheta_a} (\sin \vartheta \cos \alpha \sin \beta - \cos \vartheta \cos \gamma \sin \alpha \sin \beta + \cos \vartheta \sin \gamma \cos \beta). \end{aligned} \right\} (2.7)$$

6) Углы Эйлера-Крылова ракетной (артиллерийской) схемы поворотов для взаимной ориентации связанной (СК1) и нормальной (СК2) систем координат.

Нотация Ишлинского для углов ракетной схемы:

$$OX_g Y_g Z_g \xrightarrow{\frac{Z_g, Z'}{\vartheta}} OX' Y' Z' \xrightarrow{\frac{Y', Y''}{\psi}} OX'' Y'' Z'' \xrightarrow{\frac{X'', X}{\gamma}} OXYZ. \quad (2.8)$$

Матрица направляющих косинусов при переходе от нормальной СК к связанной СК, соответствующая (2.8):

$$\begin{aligned} A_H^{CB} &= A_{\gamma} A_{\psi} A_{\vartheta} = \\ &= \begin{vmatrix} \cos \check{\psi} \cos \check{\vartheta} & \cos \check{\psi} \sin \check{\vartheta} & -\sin \check{\psi} \\ \sin \check{\psi} \cos \check{\vartheta} \sin \check{\gamma} - & \sin \check{\psi} \sin \check{\vartheta} \sin \check{\gamma} + & \cos \check{\psi} \sin \check{\gamma} \\ -\sin \check{\vartheta} \cos \check{\gamma} & + \cos \check{\vartheta} \cos \check{\gamma} & \\ \sin \check{\psi} \cos \check{\vartheta} \cos \check{\gamma} + & \sin \check{\psi} \sin \check{\vartheta} \cos \check{\gamma} - & \cos \check{\psi} \cos \check{\gamma} \\ + \sin \check{\vartheta} \sin \check{\gamma} & - \cos \check{\vartheta} \sin \check{\gamma} & \end{vmatrix} \end{aligned}$$

### 2.3 Уравнения ориентации Эйлера

Вектор угловой скорости вращения трехгранника  $OX_1 Y_1 Z_1$  относительно

трехгранника  $OX_2 Y_2 Z_2$   $\omega = \|\omega_X \ \omega_Y \ \omega_Z\|^T$  выражается через производные

векторов Эйлера:  $\omega = \dot{\phi}_1 + \dot{\phi}_2 + \dot{\phi}_3$ , где  $\dot{\phi}_1 = \left\| 0 \ \frac{d\phi_1}{dt} \ 0 \right\|^T$ ,  $\dot{\phi}_2 = \left\| 0 \ 0 \ \frac{d\phi_2}{dt} \right\|^T$ ,

$\dot{\varphi}_3 = \left\| \frac{d\varphi_3}{dt} \ 0 \ 0 \right\|^T$ . Из выражения  $\omega = A_{\varphi_3} (\dot{\varphi}_2 + A_{\varphi_2} \dot{\varphi}_1) + \dot{\varphi}_3$  получим систему кинематических уравнений Эйлера, определяющих проекции вектора  $\omega$  на оси трехгранника  $OX_1Y_1Z_1$ :

$$\left. \begin{aligned} \omega_X &= \frac{d\varphi_3}{dt} + \frac{d\varphi_1}{dt} \sin \varphi_2, \\ \omega_Y &= \frac{d\varphi_1}{dt} \cos \varphi_2 \cos \varphi_3 + \frac{d\varphi_2}{dt} \sin \varphi_3, \\ \omega_Z &= -\frac{d\varphi_1}{dt} \cos \varphi_2 \sin \varphi_3 + \frac{d\varphi_2}{dt} \cos \varphi_3. \end{aligned} \right\} \quad (2.9)$$

Вектор относительной угловой скорости  $\omega = \Omega_1 - \Omega_2$ , где  $\Omega_1, \Omega_2$  – векторы абсолютной угловой скорости трехгранников  $OX_1Y_1Z_1$  и  $OX_2Y_2Z_2$ , заданные проекциями на собственные оси:  $\Omega_1 = \left\| \Omega_{X1} \ \Omega_{Y1} \ \Omega_{Z1} \right\|^T$ ,

$$\Omega_2 = \left\| \Omega_{X2} \ \Omega_{Y2} \ \Omega_{Z2} \right\|^T.$$

Для определения вектора  $\omega$  необходимо вектор  $\Omega_2$  перевести в базис  $OX_1Y_1Z_1$ :

$$\left\| \omega_X \ \omega_Y \ \omega_Z \right\|^T = \left\| \Omega_{X1} \ \Omega_{Y1} \ \Omega_{Z1} \right\|^T - A \left\| \Omega_{X2} \ \Omega_{Y2} \ \Omega_{Z2} \right\|^T \quad (2.10)$$

С учетом (2.10) представим (2.9) в виде:

$$\left\| \begin{array}{l} \Omega_{X1} \\ \Omega_{Y1} \\ \Omega_{Z1} \end{array} \right\| - A \left\| \begin{array}{l} \Omega_{X2} \\ \Omega_{Y2} \\ \Omega_{Z2} \end{array} \right\| = \left\| \begin{array}{ccc} \sin \varphi_2 & 0 & 1 \\ \cos \varphi_2 \cos \varphi_3 & \sin \varphi_3 & 0 \\ -\cos \varphi_2 \sin \varphi_3 & \cos \varphi_3 & 0 \end{array} \right\| \left\| \begin{array}{l} \frac{d\varphi_1}{dt} \\ \frac{d\varphi_2}{dt} \\ \frac{d\varphi_3}{dt} \end{array} \right\|. \quad (2.11)$$

Разрешая уравнение (2.11) относительно производных углов Эйлера-Крылова с использованием формулы расчета обратной матрицы получим матричный эквивалент уравнений ориентации с углами Эйлера-Крылова:

$$\begin{pmatrix} \frac{d\varphi_1}{dt} \\ \frac{d\varphi_2}{dt} \\ \frac{d\varphi_3}{dt} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & \frac{\cos \varphi_3}{\cos \varphi_2} & -\frac{\sin \varphi_3}{\cos \varphi_2} \\ 0 & \sin \varphi_3 & \cos \varphi_3 \\ 1 & -\operatorname{tg} \varphi_2 \cos \varphi_3 & \operatorname{tg} \varphi_2 \sin \varphi_3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \left\| \begin{pmatrix} \Omega_{X1} \\ \Omega_{Y1} \\ \Omega_{Z1} \end{pmatrix} \right\| \\ -A \\ \left\| \begin{pmatrix} \Omega_{X2} \\ \Omega_{Y2} \\ \Omega_{Z2} \end{pmatrix} \right\| \end{pmatrix}. \quad (2.12)$$

Матричное уравнение (2.12) в скалярной форме, полученное с учетом (2.10), которое соответствует системе уравнений Эйлера (2.9), разрешенной относительно производных углов Эйлера-Крылова:

$$\left. \begin{aligned} \frac{d\varphi_1}{dt} &= \frac{1}{\cos \varphi_2} (\omega_Y \cos \varphi_3 - \omega_Z \sin \varphi_3), \\ \frac{d\varphi_2}{dt} &= \omega_Y \sin \varphi_3 + \omega_Z \cos \varphi_3, \\ \frac{d\varphi_3}{dt} &= \omega_X - \operatorname{tg} \varphi_2 (\omega_Y \cos \varphi_3 - \omega_Z \sin \varphi_3). \end{aligned} \right\} \quad (2.13)$$

Алгоритм ориентации с использованием в качестве угловых кинематических параметров углов Эйлера-Крылова соответствует матричному уравнению (2.12). Из анализа этого уравнения ясно, что для его интегрирования в общем случае необходим расчет текущих значений элементов матрицы  $A$  с целью определения правых частей уравнений в цикле интегрирования. Это связано с тем, что относительная угловая скорость всегда определяется угловыми скоростями абсолютного и переносного движения, которые измеряются и вычисляются при моделировании процессов механического движения в инерциальных (невращающихся) системах отсчета.

Анализ показывает, что при положении СК1 и СК2, соответствующем  $|\varphi_2| = \frac{\pi}{2}$ , кинематические уравнения вида (2.12) и (2.13) вырождаются. В связи с этим метод взаимной ориентации ортогональных базисов с использованием углов Эйлера-Крылова, имеет ограничения применимости.

**Уравнения ориентации ССК относительно НСК** в скалярной форме получим в результате преобразования (2.12) с учетом равенств:  $\varphi_1 = \psi$ ,  $\varphi_2 = \vartheta$ ,  $\varphi_3 = \gamma$ ,  $\Omega_{X1} = \Omega_X$ ,  $\Omega_{Y1} = \Omega_Y$ ,  $\Omega_{Z1} = \Omega_Z$ ,  $\Omega_{X2} = \Omega_{X_g}$ ,  $\Omega_{Y2} = \Omega_{Y_g}$ ,  $\Omega_{Z2} = \Omega_{Z_g}$ .

$$\left. \begin{aligned} \frac{d\psi}{dt} &= \frac{1}{\cos \vartheta} (\Omega_Y \cos \gamma - \Omega_Z \sin \gamma) - \operatorname{tg} \vartheta (\Omega_{X_g} \cos \psi - \Omega_{Z_g} \sin \psi) + \Omega_{Y_g}, \\ \frac{d\vartheta}{dt} &= \Omega_Y \sin \gamma + \Omega_Z \cos \gamma + \Omega_{X_g} \sin \psi + \Omega_{Z_g} \cos \psi, \\ \frac{d\gamma}{dt} &= \Omega_X - \operatorname{tg} \vartheta (\Omega_Y \cos \gamma - \Omega_Z \sin \gamma) + \frac{1}{\cos \vartheta} (\Omega_{X_g} \cos \psi - \Omega_{Z_g} \sin \psi). \end{aligned} \right\} \quad (2.14)$$

Проекции абсолютной угловой скорости ЛА на оси ССК измеряются датчиками БИНС либо определяются в результате интегрирования системы уравнений динамики сферического движения ЛА как АТТ вида [1]:

$$\left. \begin{aligned} J_X \frac{d\Omega_X}{dt} + (J_Z - J_Y) \Omega_Y \Omega_Z &= M_X, \\ J_Y \frac{d\Omega_Y}{dt} + (J_X - J_Z) \Omega_X \Omega_Z + \Omega_Z K_P &= M_Y, \\ J_Z \frac{d\Omega_Z}{dt} + (J_Y - J_X) \Omega_X \Omega_Y - \Omega_Y K_P &= M_Z, \end{aligned} \right\}$$

где  $J_X, J_Y, J_Z$  – моменты инерции ЛА относительно главных осей инерции, которые приняты в качестве осей ССК;  $M_X, M_Y, M_Z$  – проекции суммарного вектора момента силы на оси ССК,  $K_P$  – суммарный кинетический момент вращающихся элементов силовой установки ЛА.

Формульные зависимости, определяющие проекции угловой скорости НСК на её собственные оси  $\Omega_{X_g}, \Omega_{Y_g}$  и  $\Omega_{Z_g}$  для всех практически применяемых вариантов НСК, подробно представлены в разделе 1 для сферической модели Земли с геоцентрической вертикалью.

### 3. Системы векторных кинематических параметров, определяющих взаимную ориентацию систем координат.

Параметры вектора ориентации, вектора конечного поворота, Родрига-Гамильтона, Кейли-Клейна и кватернионы относятся к группе векторных параметров [20] и все они основываются на приведенной во введении теореме

Эйлера – Д’Аламбера. Из этой теоремы следует, что поворот одной системы координат (условно связанной с АТТ) относительно другой (исходной) в любой момент может быть описан некоторым единичным вектором  $\mathbf{e}$ , перпендикулярным плоскости конечного поворота, и углом  $\theta$  на который осуществляется поворот, называемый углом истинного конечного поворота. Различные кинематические параметры, относящиеся к группе векторных, являются некоторыми функциями  $\mathbf{e}$  и  $\theta$  [20, 21].

### 3.1 Вектор ориентации (вектор Эйлера).

Вектор ориентации определяется выражением:

$$\boldsymbol{\theta} = \theta \mathbf{e} = \theta \|e_x \ e_y \ e_z\|^T, \quad (3.1)$$

где  $e_x, e_y, e_z$  – направляющие косинусы орта  $\mathbf{e}$  в базисах  $OX_1Y_1Z_1$  и  $OX_2Y_2Z_2$ :  $e_x = \cos(\mathbf{e} \wedge OX_1) = \cos(\mathbf{e} \wedge OX_2)$ ,  $e_y = \cos(\mathbf{e} \wedge OY_1) = \cos(\mathbf{e} \wedge OY_2)$ ,  $e_z = \cos(\mathbf{e} \wedge OZ_1) = \cos(\mathbf{e} \wedge OZ_2)$ ,  $e_x^2 + e_y^2 + e_z^2 = 1$ .

Обратим внимание на то, что направляющие косинусы оси Эйлера в базисах  $OX_1Y_1Z_1$  и  $OX_2Y_2Z_2$  одинаковы [8, 9]. Матрица направляющих косинусов  $A$  при переходе от СК2 к СК1 с элементами, выраженными через параметры вектора ориентации, имеет вид:

$$A = \begin{pmatrix} (1-\cos\theta)e_x^2 + \cos\theta & (1-\cos\theta)e_x e_y + e_z \sin\theta & (1-\cos\theta)e_x e_z - e_y \sin\theta \\ (1-\cos\theta)e_x e_y - e_z \sin\theta & (1-\cos\theta)e_y^2 + \cos\theta & (1-\cos\theta)e_y e_z + e_x \sin\theta \\ (1-\cos\theta)e_x e_z + e_y \sin\theta & (1-\cos\theta)e_y e_z - e_x \sin\theta & (1-\cos\theta)e_z^2 + \cos\theta \end{pmatrix}.$$

При известной матрице  $A$  могут быть определены параметры вектора ориентации:

$$\cos\theta = \frac{1}{2}(a_{11} + a_{22} + a_{33} - 1), \quad e_x = \frac{a_{23} - a_{32}}{2\sin\theta}, \quad e_y = \frac{a_{31} - a_{13}}{2\sin\theta}, \quad e_z = \frac{a_{12} - a_{21}}{2\sin\theta}. \quad (3.2)$$

Расчеты по формулам (3.2) имеют смысл, если матрица  $A$  определена через другие параметры ориентации. Если матрица  $A$  определена через параметры вектора ориентации, то имеется возможность вычисления элементов другой системы параметров ориентации, например углов Эйлера-Крылова по формулам (2.3).

Поскольку кинематические дифференциальные уравнения ориентации, определяющие вектор  $\Theta$  очень громоздки, предпочтительнее пользоваться вектором конечного поворота  $\Theta$ , введенным в теорию конечного поворота Б.О. Родригом.

### 3.2 Вектор конечного поворота

Вектор конечного поворота по направлению совпадает с вектором ориентации Эйлера, а по величине равен  $2\text{tg}\frac{\theta}{2}$ :

$$\Theta = 2\text{tg}\frac{\theta}{2}\mathbf{e} = \|\Theta_x \ \Theta_y \ \Theta_z\| = 2\text{tg}\frac{\theta}{2}\|e_x \ e_y \ e_z\|^T. \quad (3.3)$$

Кинематическое уравнение, описывающее изменения вектора конечного поворота (3.3) во времени, имеет вид [4]:

$$\frac{d\Theta}{dt} = \omega + \frac{1}{2}\Theta \times \omega + \frac{1}{4}(\omega \cdot \Theta)\Theta,$$

где  $\omega$  – вектор угловой скорости трехгранника  $OX_1Y_1Z_1$  относительно трехгранника  $OX_2Y_2Z_2$ .

В скалярном виде получим:

$$\left. \begin{aligned} \frac{d\Theta_X}{dt} &= \omega_X + \frac{1}{2}(\omega_Y\Theta_Z - \omega_Z\Theta_Y) + \frac{1}{4}\Theta_X(\omega_X\Theta_X + \omega_X\Theta_Y + \omega_Z\Theta_Z), \\ \frac{d\Theta_Y}{dt} &= \omega_Y + \frac{1}{2}(\omega_Z\Theta_X - \omega_X\Theta_Z) + \frac{1}{4}\Theta_Y(\omega_X\Theta_X + \omega_X\Theta_Y + \omega_Z\Theta_Z), \\ \frac{d\Theta_Z}{dt} &= \omega_Z + \frac{1}{2}(\omega_Y\Theta_Z - \omega_Z\Theta_Y) + \frac{1}{4}\Theta_Z(\omega_X\Theta_X + \omega_X\Theta_Y + \omega_Z\Theta_Z). \end{aligned} \right\}$$

Здесь векторы проектируются на оси одного из трехгранников, для которых определяются параметры взаимной ориентации.

### 2.3 Параметры Родрига-Гамильтона

Формулы кинематики углового движения твердого тела приобретают более симметричный вид, если пользоваться не проекциями вектора конечного поворота  $\Theta$ , определяемыми (3.3), а пропорциональными им величинами – параметрами Родрига-Гамильтона  $\lambda_j$  ( $j=0,1,2,3$ ), которые образуют четырехкомпонентный вектор, называемый кватернионом  $\lambda = \|\lambda_0 \lambda_1 \lambda_2 \lambda_3\|^T$  [7].

Поскольку параметры Родрига-Гамильтона принято представлять как счетное множество, при переходе к ним от вектора конечного поворота вводится обозначение:

$$\Theta_i = 2 \operatorname{tg} \frac{\theta}{2} \ell_i, \quad i=1, 2, 3,$$

$\ell_i$  – направляющие косинусы оси Эйлера (переобозначенные  $e_x$ ,  $e_y$  и  $e_z$ , входящие в формулу 3.3).

Параметры Родрига-Гамильтона:

$$\lambda_i = \frac{1}{2} \lambda_0 \Theta_i, \quad i=1, 2, 3. \quad (3.4)$$

Коэффициент  $\lambda_0$  выбирается из условия нормирования кватерниона [7]:

$$\lambda_0^2 + \lambda_1^2 + \lambda_2^2 + \lambda_3^2 = 1.$$

Геометрический смысл  $\lambda_0$  выясним с использованием ниже следующих соотношений. В соответствии с (3.3)  $1 + \frac{1}{4} \Theta^2 = 1 + \operatorname{tg}^2 \frac{\theta}{2} = \frac{1}{\cos^2 \frac{\theta}{2}}$ , где  $\Theta = |\Theta|$ . С другой стороны  $1 + \frac{1}{4} \Theta^2 = 1 + \frac{1}{4} (\Theta_1^2 + \Theta_2^2 + \Theta_3^2) = 1 + \frac{1}{\lambda_0^2} (\lambda_1^2 + \lambda_2^2 + \lambda_3^2) = \frac{1}{\lambda_0^2}$ . Отсюда

$\lambda_0 = \cos \frac{\theta}{2}$ . Таким образом, три проекции  $\Theta_i$  вектора конечного поворота заменяются четырьмя параметрами Родрига-Гамильтона:

$$\lambda_0 = \cos \frac{\theta}{2}, \quad \lambda_1 = \sin \frac{\theta}{2} \ell_1, \quad \lambda_2 = \sin \frac{\theta}{2} \ell_2, \quad \lambda_3 = \sin \frac{\theta}{2} \ell_3.$$

### 2.4 Параметры Кейли–Клейна

Параметры Кейли–Клейна, обозначаемые обычно  $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ , являются комплексными комбинациями параметров  $\lambda_j$ , определяемых (3.4) [4]:

$$\left. \begin{aligned} \alpha &= \lambda_0 + i\lambda_3, & \beta &= \lambda_2 + i\lambda_1, \\ \gamma &= i\lambda_1 - \lambda_2, & \delta &= \lambda_0 - i\lambda_3, \end{aligned} \right\} \text{ где } i = \sqrt{-1}.$$

Матрица направляющих косинусов  $A$  при переходе от СК2 к СК1 с элементами, выраженными через параметры Кейли–Клейна [4]:

$$A = \begin{vmatrix} \frac{1}{2}(\alpha^2 - \beta^2 - \gamma^2 + \delta^2) & \frac{i}{2}(\alpha^2 - \beta^2 + \gamma^2 - \delta^2) & \beta\delta - \alpha\gamma \\ \frac{i}{2}(-\alpha^2 - \beta^2 + \gamma^2 + \delta^2) & \frac{1}{2}(\alpha^2 + \beta^2 + \gamma^2 + \delta^2) & i(\alpha\gamma + \beta\delta) \\ \gamma\delta - \alpha\beta & -i(\alpha\beta - \gamma\delta) & \alpha\delta + \beta\gamma \end{vmatrix}.$$

Кинематические уравнения ориентации в параметрах Кейли–Клейна [4]:

$$\left. \begin{aligned} \frac{d\alpha}{dt} &= \frac{i\omega_Z}{2}\alpha + \frac{\omega_Y + i\omega_X}{2}\gamma, & \frac{d\beta}{dt} &= \frac{i\omega_Z}{2}\beta + \frac{\omega_Y + i\omega_X}{2}\delta, \\ \frac{d\gamma}{dt} &= -\frac{i\omega_Z}{2}\gamma + \frac{i\omega_X - \omega_Y}{2}\alpha, & \frac{d\delta}{dt} &= -\frac{i\omega_Z}{2}\delta + \frac{i\omega_X - \omega_Y}{2}\beta. \end{aligned} \right\}$$

Здесь  $\omega_X, \omega_Y, \omega_Z$  – проекции вектора угловой скорости вращения трехгранника  $OX_1Y_1Z_1$  относительно трехгранника  $OX_2Y_2Z_2$  на оси  $OX_1Y_1Z_1$ .

### 2.5 Кватернионы и кватернионные матрицы

Далее представим необходимую для решаемой задачи информацию о **кватернионном методе** описания кинематики движения СК и взаимной ориентации двух СК. Широкое применение кватернионов в механике обусловлено удобством описания с их применением изометрий (преобразований, сохраняющих расстояния между точками) трёхмерного евклидова пространства.

**Алгебра кватернионов**, применяемых для описания движения твердого тела, базируется на представлении кватернионов в виде **гиперкомплексных чисел**, у которых в состав базисных единиц входят одна действительная и три мнимых единицы. Кватернион  $\Lambda$  с параметрами Родрига-Гамильтона:

$$\Lambda = 1\lambda_0 + i\lambda_1 + j\lambda_2 + k\lambda_3 = \cos\frac{\theta}{2} + \sin\frac{\theta}{2}(\ell_1 i + \ell_2 j + \ell_3 k), \quad (3.5)$$

где  $i, j, k$  – мнимые единицы, таблица умножения которых:

$\times$	$i$	$j$	$k$
$i$	-1	$k$	$-j$
$j$	$-k$	-1	$i$
$k$	$j$	$-i$	-1

Из таблицы следует, что  $i^2 = j^2 = k^2 = ijk = -1$ .

Интерпретируя мнимые единицы в формуле (3.5) как орты трехмерного векторного пространства можно представить кватернион в виде суммы скалярной и векторной частей:  $\Lambda = \lambda_0 + \lambda_V$ , где  $\lambda_V = i\lambda_1 + j\lambda_2 + k\lambda_3$ . Введем кватернион  $M$ , который используем для анализа правила умножения кватернионов в качестве сомножителя:  $M = \mu_0 + \mu_V$ , где  $\mu_V = i\mu_1 + j\mu_2 + k\mu_3$ . Кватернион результата умножения  $N = \Lambda \circ M = v_0 + v_V$ , где  $v_V = iv_1 + jv_2 + kv_3$ .

Скалярная и векторная части результирующего кватерниона [7]:

$$v_0 = \lambda_0\mu_0 + \lambda_V \cdot \mu_V \quad v_V = \lambda_0\mu_V + \mu_0\lambda_V + \lambda_V \times \mu_V, \quad (3.6)$$

где  $\lambda_V \cdot \mu_V$  и  $\lambda_V \times \mu_V$  – скалярное и векторное произведения векторных частей кватернионов-сомножителей. Формула умножения кватернионов в развернутом виде:

$$\Lambda \circ M = 1(\lambda_0\mu_0 - \lambda_1\mu_1 - \lambda_2\mu_2 - \lambda_3\mu_3) + \lambda_0(i\mu_1 + j\mu_2 + k\mu_3) + \mu_0(i\lambda_1 + j\lambda_2 + k\lambda_3) + \begin{vmatrix} i & j & k \\ \lambda_1 & \lambda_2 & \lambda_3 \\ \mu_1 & \mu_2 & \mu_3 \end{vmatrix}. \quad (3.6a)$$

Если в выражении (3.6a) поменять местами сомножители, то в силу антикоммутативности векторного произведения изменится знак детерминанта. Из этого следует некоммутативность умножения кватернионов:  $\Lambda \circ M \neq M \circ \Lambda$ .

При выполнении последовательности ортогональных преобразований осуществляется сложение конечных поворотов. В разделе 2 использовалось правило получения матрицы направляющих косинусов результирующего поворота умножением матриц составляющих преобразований в порядке, противоположном порядку преобразований. Аналогично кватернион результирующего преобразования определяется по правилу умножения кватернионов составляющих преобразований, причем сомножители берутся в обратном порядке.

Взаимная ориентация двух ортогональных СК определяется нормированным кватернионом, для которого выполняется условие  $|\Lambda| = \lambda_0^2 + \lambda_1^2 + \lambda_2^2 + \lambda_3^2 = 1$ , где  $|\Lambda|$  – норма кватерниона.

Приравнивая коэффициенты при действительной и соответствующих мнимых единицах результирующего кватерниона  $N$  и кватернионного произведения  $\Lambda \circ M$  получим четыре скалярных равенства:

$$\left. \begin{aligned} v_0 &= \lambda_0\mu_0 - \lambda_1\mu_1 - \lambda_2\mu_2 - \lambda_3\mu_3 \\ v_1 &= \lambda_0\mu_1 + \lambda_1\mu_0 + \lambda_2\mu_3 - \lambda_3\mu_2 \\ v_2 &= \lambda_0\mu_2 + \lambda_2\mu_0 + \lambda_3\mu_1 - \lambda_1\mu_3 \\ v_3 &= \lambda_0\mu_3 + \lambda_3\mu_0 + \lambda_1\mu_2 - \lambda_2\mu_1 \end{aligned} \right\} \quad (3.7)$$

Система равенств (3.7) может быть представлена в матричной форме:

$$\begin{pmatrix} v_0 \\ v_1 \\ v_2 \\ v_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \lambda_0 & -\lambda_1 & -\lambda_2 & -\lambda_3 \\ \lambda_1 & \lambda_0 & -\lambda_3 & \lambda_2 \\ \lambda_2 & \lambda_3 & \lambda_0 & -\lambda_1 \\ \lambda_3 & -\lambda_2 & \lambda_1 & \lambda_0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \mu_0 \\ \mu_1 \\ \mu_2 \\ \mu_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \mu_0 & -\mu_1 & -\mu_2 & -\mu_3 \\ \mu_1 & \mu_0 & \mu_3 & -\mu_2 \\ \mu_2 & -\mu_3 & \mu_0 & \mu_1 \\ \mu_3 & \mu_2 & -\mu_1 & \mu_0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \lambda_0 \\ \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \lambda_3 \end{pmatrix}. \quad (3.8)$$

Или  $\mathbf{v} = \mathbb{H}\lambda\mathbb{H}\boldsymbol{\mu}$ , где  $\mathbb{H}\lambda\mathbb{H}$  – кватернионная матрица, соответствующая вектору  $\lambda$ . Таким образом, произведению кватернионов  $\Lambda \circ M$  соответствует умножение кватернионной  $\lambda$  и столбцевой матрицы  $\boldsymbol{\mu}$  [9]. При этом согласно (3.8) возможно применение двух эквивалентных типов кватернионных матриц:

$$\mathbb{H}\lambda\mathbb{H}_I = \begin{vmatrix} \lambda_0 & -\lambda_1 & -\lambda_2 & -\lambda_3 \\ \lambda_1 & \lambda_0 & -\lambda_3 & \lambda_2 \\ \lambda_2 & \lambda_3 & \lambda_0 & -\lambda_1 \\ \lambda_3 & -\lambda_2 & \lambda_1 & \lambda_0 \end{vmatrix} \quad \text{и} \quad \mathbb{H}\lambda\mathbb{H}_{II} = \begin{vmatrix} \lambda_0 & -\lambda_1 & -\lambda_2 & -\lambda_3 \\ \lambda_1 & \lambda_0 & \lambda_3 & -\lambda_2 \\ \lambda_2 & -\lambda_3 & \lambda_0 & \lambda_1 \\ \lambda_3 & \lambda_2 & -\lambda_1 & \lambda_0 \end{vmatrix} \quad (3.9)$$

Через матрицы  $\lambda_I$  и  $\lambda_{II}$  может быть выражена матрица направляющих косинусов  $A$  в параметрах Родрига-Гамильтона:

$$\begin{aligned} \mathbb{H}\lambda\mathbb{H}_{II}\mathbb{H}\lambda\mathbb{H}_I^T &= \begin{vmatrix} \lambda_0 & -\lambda_1 & -\lambda_2 & -\lambda_3 \\ \lambda_1 & \lambda_0 & \lambda_3 & -\lambda_2 \\ \lambda_2 & -\lambda_3 & \lambda_0 & \lambda_1 \\ \lambda_3 & \lambda_2 & -\lambda_1 & \lambda_0 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} \lambda_0 & \lambda_1 & \lambda_2 & \lambda_3 \\ -\lambda_1 & \lambda_0 & \lambda_3 & -\lambda_2 \\ -\lambda_2 & -\lambda_3 & \lambda_0 & \lambda_1 \\ -\lambda_3 & \lambda_2 & -\lambda_1 & \lambda_0 \end{vmatrix} = \\ &= \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \lambda_0^2 + \lambda_1^2 - \lambda_2^2 - \lambda_3^2 & 2\lambda_1\lambda_2 + 2\lambda_0\lambda_3 & 2\lambda_1\lambda_3 - 2\lambda_0\lambda_2 \\ 0 & 2\lambda_1\lambda_2 - 2\lambda_0\lambda_3 & \lambda_0^2 - \lambda_1^2 + \lambda_2^2 - \lambda_3^2 & 2\lambda_2\lambda_3 + 2\lambda_0\lambda_1 \\ 0 & 2\lambda_0\lambda_2 + 2\lambda_1\lambda_3 & 2\lambda_2\lambda_3 - 2\lambda_0\lambda_1 & \lambda_0^2 - \lambda_1^2 + \lambda_3^2 - \lambda_2^2 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & & A & \\ \dots & \dots & \dots & \dots \end{vmatrix} \quad (3.10) \end{aligned}$$

В уравнениях кинематики кватерниона применяется также кватернионная матрица, соответствующая гиперкомплексному отображению вектора абсолютной, переносной и относительной угловой скорости  $(\boldsymbol{\Omega}, \boldsymbol{\Omega}_{\text{пер}}, \boldsymbol{\omega})$ . Раскроем структуру кватернионной матрицы на примере вектора  $\boldsymbol{\Omega} = \|\Omega_X \ \Omega_Y \ \Omega_Z\|^T$ . Гиперкомплексное отображение вектора  $\boldsymbol{\Omega}$ :

$$\overleftrightarrow{\boldsymbol{\Omega}} = i\Omega_X + j\Omega_Y + k\Omega_Z. \quad (3.11)$$

Соответствующая кватернионная матрица:

$$\mathbb{H}[\Omega] = \begin{pmatrix} 0 & -\Omega_X & -\Omega_Y & -\Omega_Z \\ \Omega_X & 0 & -\Omega_Z & \Omega_Y \\ \Omega_Y & \Omega_Z & 0 & -\Omega_X \\ \Omega_Z & -\Omega_Y & \Omega_X & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & \vdots & -\Omega_X & -\Omega_Y & -\Omega_Z \\ \vdots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \Omega_X & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \Omega_Y & \vdots & & [\Omega] & \\ \Omega_Z & \vdots & & & \end{pmatrix}, \quad (3.12)$$

где  $[\Omega]$  – кососимметрическая матрица, сформированная из компонент вектора  $\Omega$  по правилу Леви-Чивиты.

### 2.6 Связь параметров Родрига-Гамильтона с углами Эйлера-Крылова и элементами матрицы направляющих косинусов

Кватернион суммарного поворота, соответствующий последовательности элементарных поворотов, описываемых формулой (2.1):

$$\Lambda = \Lambda_{\varphi_3} \circ \Lambda_{\varphi_2} \circ \Lambda_{\varphi_1}, \quad (3.13)$$

где  $\Lambda_{\varphi_1} = \cos \frac{\varphi_1}{2} + j \sin \frac{\varphi_1}{2}$ ,  $\Lambda_{\varphi_2} = \cos \frac{\varphi_2}{2} + k \sin \frac{\varphi_2}{2}$  и  $\Lambda_{\varphi_3} = \cos \frac{\varphi_3}{2} + i \sin \frac{\varphi_3}{2}$  – кватернионы элементарных поворотов.

Раскрывая (3.13) непосредственным перемножением кватернионов элементарных поворотов, либо с использованием (3.6а) или (3.7) получим формулы для вычисления кватернионов по угловому положению твердого тела, заданному углами Эйлера-Крылова:

$$\left. \begin{aligned} \lambda_0 &= \cos \frac{\varphi_1}{2} \cos \frac{\varphi_2}{2} \cos \frac{\varphi_3}{2} - \sin \frac{\varphi_1}{2} \sin \frac{\varphi_2}{2} \sin \frac{\varphi_3}{2}, \\ \lambda_1 &= \cos \frac{\varphi_1}{2} \cos \frac{\varphi_2}{2} \sin \frac{\varphi_3}{2} + \sin \frac{\varphi_1}{2} \sin \frac{\varphi_2}{2} \cos \frac{\varphi_3}{2}, \\ \lambda_2 &= \sin \frac{\varphi_1}{2} \cos \frac{\varphi_2}{2} \cos \frac{\varphi_3}{2} + \cos \frac{\varphi_1}{2} \sin \frac{\varphi_2}{2} \sin \frac{\varphi_3}{2}, \\ \lambda_3 &= \cos \frac{\varphi_1}{2} \sin \frac{\varphi_2}{2} \cos \frac{\varphi_3}{2} - \sin \frac{\varphi_1}{2} \cos \frac{\varphi_2}{2} \sin \frac{\varphi_3}{2}. \end{aligned} \right\} \quad (3.14)$$

Замена последовательности поворотов на обратную приводит к смене знаков «+» и «-» в формулах (3.14) на противоположные.

Матрица направляющих косинусов  $A$  при переходе от СК2 к СК1 с элементами, выраженными через параметры Родрига-Гамильтона в соответствии с (3.10):

$$\begin{aligned}
 A &= \begin{vmatrix} \lambda_0^2 + \lambda_1^2 - \lambda_2^2 - \lambda_3^2 & 2\lambda_1\lambda_2 + 2\lambda_0\lambda_3 & 2\lambda_1\lambda_3 - 2\lambda_0\lambda_2 \\ 2\lambda_1\lambda_2 - 2\lambda_0\lambda_3 & \lambda_0^2 - \lambda_1^2 + \lambda_2^2 - \lambda_3^2 & 2\lambda_2\lambda_3 + 2\lambda_0\lambda_1 \\ 2\lambda_0\lambda_2 + 2\lambda_1\lambda_3 & 2\lambda_2\lambda_3 - 2\lambda_0\lambda_1 & \lambda_0^2 - \lambda_1^2 + \lambda_3^2 - \lambda_2^2 \end{vmatrix} = \\
 &= \begin{vmatrix} 2\lambda_0^2 + 2\lambda_1^2 - 1 & 2\lambda_1\lambda_2 + 2\lambda_0\lambda_3 & 2\lambda_1\lambda_3 - 2\lambda_0\lambda_2 \\ 2\lambda_1\lambda_2 - 2\lambda_0\lambda_3 & 2\lambda_0^2 + 2\lambda_2^2 - 1 & 2\lambda_2\lambda_3 + 2\lambda_0\lambda_1 \\ 2\lambda_1\lambda_3 + 2\lambda_0\lambda_2 & 2\lambda_2\lambda_3 - 2\lambda_0\lambda_1 & 2\lambda_0^2 + 2\lambda_3^2 - 1 \end{vmatrix} \quad (3.15)
 \end{aligned}$$

Из (2.3) и (3.15) определяются функциональные зависимости углов Эйлера-Крылова через параметры Родрига-Гамильтона:

$$\left. \begin{aligned}
 \varphi_1 &= \operatorname{arctg} \left( -\frac{a_{13}}{a_{11}} \right) = \operatorname{arctg} \left( \frac{2\lambda_0\lambda_2 - 2\lambda_1\lambda_3}{2\lambda_0^2 + 2\lambda_1^2 - 1} \right), \\
 \varphi_2 &= \arcsin a_{12} = \arcsin (2\lambda_1\lambda_2 + 2\lambda_0\lambda_3), \\
 \varphi_3 &= \operatorname{arctg} \left( -\frac{a_{32}}{a_{22}} \right) = \operatorname{arctg} \left( \frac{2\lambda_0\lambda_1 - 2\lambda_2\lambda_3}{2\lambda_0^2 + 2\lambda_2^2 - 1} \right).
 \end{aligned} \right\} \quad (3.16)$$

## **2.7 Уравнения ориентации в форме уравнений кинематики кватернионов**

В уравнениях ориентации применимы два варианта кватернионов.

1) Кватернион, характеризующий положение вращающейся СК относительно невращающейся, который будем обозначать  $Q = q_0 + iq_1 + jq_2 + kq_3$ ;

2) Кватернион, характеризующий взаимную ориентацию двух вращающихся СК: определяющий положение трехгранника  $OX_1Y_1Z_1$  относительно трехгранника  $OX_2Y_2Z_2$ . Для него принято обозначение  $\Lambda$ , использованное в математическом определении кватерниона, представленном формулой (3.5).

Кинематика вращения в инерциальном пространстве описывается кватернионными дифференциальными уравнениями вида:

$$2 \frac{dQ}{dt} = Q \circ \vec{\Omega}, \quad (3.17)$$

$$2 \frac{d\bar{Q}}{dt} = -\vec{\Omega} \circ \bar{Q}, \quad (3.17a)$$

где  $\bar{Q} = q_0 - iq_1 - jq_2 - kq_3$  – сопряженный кватернион.

Уравнение (3.17) в векторно-матричной форме вида  $2 \frac{d\mathbf{q}}{dt} = \mathbf{q} \mathbf{\Omega}$ :

$$2 \begin{pmatrix} \frac{dq_0}{dt} \\ \frac{dq_1}{dt} \\ \frac{dq_2}{dt} \\ \frac{dq_3}{dt} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} q_0 & -q_1 & -q_2 & -q_3 \\ q_1 & q_0 & -q_3 & q_2 \\ q_2 & q_3 & q_0 & -q_1 \\ q_3 & -q_2 & q_1 & q_0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ \Omega_X \\ \Omega_Y \\ \Omega_Z \end{pmatrix}. \quad (3.18)$$

Уравнение (3.17a) в векторно-матричной форме вида  $2 \frac{d\bar{\mathbf{q}}}{dt} = -\mathbf{\Omega} \bar{\mathbf{q}}$ , где

$$\bar{\mathbf{q}} = \begin{pmatrix} q_0 & -iq_1 & -jq_2 & -kq_3 \end{pmatrix}^T :$$

$$2 \begin{pmatrix} \frac{dq_0}{dt} \\ -\frac{dq_1}{dt} \\ -\frac{dq_2}{dt} \\ -\frac{dq_3}{dt} \end{pmatrix} = - \begin{pmatrix} 0 & -\Omega_X & -\Omega_Y & -\Omega_Z \\ \Omega_X & 0 & -\Omega_Z & \Omega_Y \\ \Omega_Y & \Omega_Z & 0 & -\Omega_X \\ \Omega_Z & -\Omega_Y & \Omega_X & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} q_0 \\ -q_1 \\ -q_2 \\ -q_3 \end{pmatrix}. \quad (3.18a)$$

Уравнение ориентации в скалярной форме, соответствующее (3.18) и (3.18а), имеет вид:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dq_0}{dt} &= -\frac{1}{2}(\Omega_X q_1 + \Omega_Y q_2 + \Omega_Z q_3), \\ \frac{dq_1}{dt} &= \frac{1}{2}(\Omega_X q_0 - \Omega_Y q_3 + \Omega_Z q_2), \\ \frac{dq_2}{dt} &= \frac{1}{2}(\Omega_X q_3 + \Omega_Y q_0 - \Omega_Z q_1), \\ \frac{dq_3}{dt} &= -\frac{1}{2}(\Omega_X q_2 - \Omega_Y q_1 - \Omega_Z q_0). \end{aligned} \right\} \quad (3.19)$$

Представим три варианта алгоритма, предназначенного для вычисления кватерниона  $\Lambda$ , определяющего взаимную ориентацию координатных трехгранников  $OX_1Y_1Z_1$  и  $OX_2Y_2Z_2$ , которые вращаются с абсолютными угловыми скоростями  $\Omega_1$  и  $\Omega_2$ .

Вариант 1. Алгоритм, основанный на решении двух кинематических уравнений в кватернионах.

Кватернион  $\Lambda$  может быть представлен в виде кватернионного произведения вида [8]:  $\Lambda = \bar{Q}_2 \circ Q_1$ , где  $Q_1, Q_2$  – кватернионы перехода от ориентированного трехгранника  $OX_{II}Y_{II}Z_{II}$  (сопутствующей инерциальной СК) к трехгранникам  $OX_1Y_1Z_1$  и  $OX_2Y_2Z_2$  соответственно. Исходные кинематические уравнения в кватернионах согласно (3.17) и (3.17а):

$$2 \frac{dQ_1}{dt} = Q_1 \circ \overset{\leftrightarrow}{\Omega}_1, \quad 2 \frac{d\bar{Q}_2}{dt} = -\overset{\leftrightarrow}{\Omega}_2 \circ \bar{Q}_2.$$

Вариант 2. Алгоритм, основанный на решении одного кватернионного кинематического уравнения с вычислением вектора относительной угловой скорости трехгранников  $OX_1Y_1Z_1$  и  $OX_2Y_2Z_2$ .

Это уравнение имеет вид, аналогичный (3.17) или (3.17а):

$$2 \frac{d\Lambda}{dt} = \Lambda \circ \overleftrightarrow{\omega}, \quad 2 \frac{d\bar{\Lambda}}{dt} = -\overleftrightarrow{\omega} \circ \bar{\Lambda}, \quad (3.20)$$

где  $\overleftrightarrow{\omega} = i\omega_X + j\omega_Y + k\omega_Z$  – гиперкомплексное отображение вектора относительной угловой скорости  $\omega$ , определяемого формулой (2.10). Проведя с (3.20) выкладки, аналогичные (3.18) – (3.19), получим уравнения ориентации вида:

$$\left. \begin{aligned} \frac{d\lambda_0}{dt} &= -\frac{1}{2}(\omega_X \lambda_1 + \omega_Y \lambda_2 + \omega_Z \lambda_3), \\ \frac{d\lambda_1}{dt} &= \frac{1}{2}(\omega_X \lambda_0 - \omega_Y \lambda_3 + \omega_Z \lambda_2), \\ \frac{d\lambda_2}{dt} &= \frac{1}{2}(\omega_X \lambda_3 + \omega_Y \lambda_0 - \omega_Z \lambda_1), \\ \frac{d\lambda_3}{dt} &= -\frac{1}{2}(\omega_X \lambda_2 - \omega_Y \lambda_1 - \omega_Z \lambda_0). \end{aligned} \right\} \quad (3.21)$$

Интегрирование системы уравнений (3.21) требует определения относительной угловой скорости на каждом шаге интегрирования по формуле (2.10), которая предусматривает приведение векторов абсолютных угловых скоростей трехгранников  $OX_1Y_1Z_1$  и  $OX_2Y_2Z_2$  к единому базису.

Вариант 3. Алгоритм, основанный на решении одного кватернионного кинематического уравнения, определяемого абсолютными угловыми скоростями трехгранников  $OX_1Y_1Z_1$  и  $OX_2Y_2Z_2$ , заданными проекциями на собственные оси.

Исходное уравнение в кватернионах имеет вид [8, 9]:

$$2 \frac{d\Lambda}{dt} = \Lambda \circ \overleftrightarrow{\Omega}_1 - \overleftrightarrow{\Omega}_2 \circ \Lambda, \quad (3.22)$$

где  $\overleftrightarrow{\Omega}_1$  и  $\overleftrightarrow{\Omega}_2$  – гиперкомплексные отображения соответствующих абсолютных угловых скоростей. Приведя кватернионные произведения к произведениям кватернионных и столбцовых матриц, преобразуем (3.22) к виду

$$2 \frac{d\lambda}{dt} = \lambda \mathbf{\Omega}_1 - \mathbf{\Omega}_2 \lambda. \quad (3.23)$$

Уравнение (3.23), выраженное через элементы матриц для варианта  $\lambda = \mathbf{\lambda}_1$ , представленного в (3.9), примет вид:

$$2 \begin{pmatrix} \frac{d\lambda_0}{dt} \\ \frac{d\lambda_1}{dt} \\ \frac{d\lambda_2}{dt} \\ \frac{d\lambda_3}{dt} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \lambda_0 & -\lambda_1 & -\lambda_2 & -\lambda_3 \\ \lambda_1 & \lambda_0 & -\lambda_3 & \lambda_2 \\ \lambda_2 & \lambda_3 & \lambda_0 & -\lambda_1 \\ \lambda_3 & -\lambda_2 & \lambda_1 & \lambda_0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ \Omega_{X1} \\ \Omega_{Y1} \\ \Omega_{Z1} \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} 0 & -\Omega_{X2} & -\Omega_{Y2} & -\Omega_{Z2} \\ \Omega_{X2} & 0 & -\Omega_{Z2} & \Omega_{Y2} \\ \Omega_{Y2} & \Omega_{Z2} & 0 & -\Omega_{X2} \\ \Omega_{Z2} & -\Omega_{Y2} & \Omega_{X2} & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \lambda_0 \\ \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \lambda_3 \end{pmatrix}. \quad (3.24)$$

Уравнение ориентации (3.24) в скалярной форме:

$$\left. \begin{aligned} 2 \frac{d\lambda_0}{dt} &= (\Omega_{X2} - \Omega_{X1})\lambda_1 + (\Omega_{Y2} - \Omega_{Y1})\lambda_2 + (\Omega_{Z2} - \Omega_{Z1})\lambda_3, \\ 2 \frac{d\lambda_1}{dt} &= (\Omega_{X1} - \Omega_{X2})\lambda_0 + (\Omega_{Z1} + \Omega_{Z2})\lambda_2 - (\Omega_{Y1} + \Omega_{Y2})\lambda_3, \\ 2 \frac{d\lambda_2}{dt} &= (\Omega_{Y1} - \Omega_{Y2})\lambda_0 - (\Omega_{Z1} + \Omega_{Z2})\lambda_1 + (\Omega_{X1} + \Omega_{X2})\lambda_3, \\ 2 \frac{d\lambda_3}{dt} &= (\Omega_{Z1} - \Omega_{Z2})\lambda_0 + (\Omega_{Y1} + \Omega_{Y2})\lambda_1 - (\Omega_{X1} + \Omega_{X2})\lambda_2. \end{aligned} \right\} \quad (3.25)$$

Из (3.25) следует, что уравнение (3.23) может быть преобразовано к виду:

$$\begin{pmatrix} \frac{d\lambda_0}{dt} \\ \frac{d\lambda_1}{dt} \\ \frac{d\lambda_2}{dt} \\ \frac{d\lambda_3}{dt} \end{pmatrix} = \frac{1}{2} \begin{pmatrix} 0 & \Omega_{X2} - \Omega_{X1} & \Omega_{Y2} - \Omega_{Y1} & \Omega_{Z2} - \Omega_{Z1} \\ \Omega_{X1} - \Omega_{X2} & 0 & \Omega_{Z1} + \Omega_{Z2} & -(\Omega_{Y1} + \Omega_{Y2}) \\ \Omega_{Y1} - \Omega_{Y2} & -(\Omega_{Z1} + \Omega_{Z2}) & 0 & \Omega_{X1} + \Omega_{X2} \\ \Omega_{Z1} - \Omega_{Z2} & \Omega_{Y1} + \Omega_{Y2} & -(\Omega_{X1} + \Omega_{X2}) & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \lambda_0 \\ \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \lambda_3 \end{pmatrix}.$$

Для варианта  $\lambda = \begin{pmatrix} \lambda \\ \lambda \\ \lambda \\ \lambda \end{pmatrix}$ , представленного в (3.9), уравнение ориентации в скалярной форме имеет вид:

$$\left. \begin{aligned} 2\frac{d\lambda_0}{dt} &= (\Omega_{X2} - \Omega_{X1})\lambda_1 + (\Omega_{Y2} - \Omega_{Y1})\lambda_2 + (\Omega_{Z2} - \Omega_{Z1})\lambda_3, \\ 2\frac{d\lambda_1}{dt} &= (\Omega_{X1} - \Omega_{X2})\lambda_0 + (\Omega_{Z2} - \Omega_{Z1})\lambda_2 + (\Omega_{Y1} - \Omega_{Y2})\lambda_3, \\ 2\frac{d\lambda_2}{dt} &= (\Omega_{Y1} - \Omega_{Y2})\lambda_0 + (\Omega_{Z1} - \Omega_{Z2})\lambda_1 + (\Omega_{X2} - \Omega_{X1})\lambda_3, \\ 2\frac{d\lambda_3}{dt} &= (\Omega_{Z1} - \Omega_{Z2})\lambda_0 + (\Omega_{Y2} - \Omega_{Y1})\lambda_1 + (\Omega_{X1} - \Omega_{X2})\lambda_2. \end{aligned} \right\} \quad (3.26)$$

Погрешности численных методов решения кинематических уравнений может привести к уходу нормы кватерниона. Для автоматической нормировки кватерниона в правую часть скалярного уравнения ориентации вводится корректирующее слагаемое вида  $q_j(1-|Q|)$  или  $\lambda_j(1-|\Lambda|)$ ,  $j=0,1,2,3$ . Здесь  $|Q|$ ,  $|\Lambda|$  – нормы соответствующих кватернионов. Например, система уравнений (3.21) преобразуется в систему уравнений [9]:

$$\left. \begin{aligned} 2\frac{d\lambda_0}{dt} &= -\omega_X\lambda_1 - \omega_Y\lambda_2 - \omega_Z\lambda_3 + \lambda_0 \left[ 1 - (\lambda_0^2 + \lambda_1^2 + \lambda_2^2 + \lambda_3^2) \right], \\ 2\frac{d\lambda_1}{dt} &= \omega_X\lambda_0 - \omega_Y\lambda_3 + \omega_Z\lambda_2 + \lambda_1 \left[ 1 - (\lambda_0^2 + \lambda_1^2 + \lambda_2^2 + \lambda_3^2) \right], \\ 2\frac{d\lambda_2}{dt} &= \omega_X\lambda_3 + \omega_Y\lambda_0 - \omega_Z\lambda_1 + \lambda_2 \left[ 1 - (\lambda_0^2 + \lambda_1^2 + \lambda_2^2 + \lambda_3^2) \right], \\ 2\frac{d\lambda_3}{dt} &= -\omega_X\lambda_2 + \omega_Y\lambda_1 + \omega_Z\lambda_0 + \lambda_3 \left[ 1 - (\lambda_0^2 + \lambda_1^2 + \lambda_2^2 + \lambda_3^2) \right]. \end{aligned} \right\} \quad (3.27)$$

Начальные значения параметров Родрига-Гамильтона  $\lambda_i$  для интегрирования систем уравнений ориентации (3.21), (3.25), (3.26) определяются по начальным значениям углов Эйлера-Крылова с использованием формул (3.14).

Аналогично вычисляются начальные значения параметров Родрига-Гамильтона  $q_i$  для интегрирования системы (3.19). Но при определении начальных значений углов Эйлера-Крылова следует учитывать, что кватернион типа  $Q$  характеризует положение вращающейся СК относительно невращающейся.

#### 4. Система матричных кинематических параметров, определяющих взаимную ориентацию систем координат.

В разделах 2 и 3 достаточно подробно рассмотрены функциональные зависимости направляющих косинусов как элементов матриц взаимной ориентации систем координат от угловых и векторных параметров ориентации. В настоящем разделе представлены исходные данные по матрицам ориентации, необходимые для сравнительного анализа рассматриваемых методов угловой ориентации. В первую очередь это касается кинематических дифференциальных уравнений ориентации, результат интегрирования которых – искомые матрицы направляющих косинусов.

##### 4.1 Свойства матриц направляющих косинусов

Матрица  $A$ , определяющая ориентацию трехгранника  $OX_1Y_1Z_1$  относительно трехгранника  $OX_2Y_2Z_2$  может быть выражена через единичные базисные векторы (орты) осей указанных трехгранников:  $(i_1, j_1, k_1)$  и  $(i_2, j_2, k_2)$  соответственно. Выражения для матриц  $A$  и  $A^T$  имеют вид:

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} i_1 \cdot i_2 & i_1 \cdot j_2 & i_1 \cdot k_2 \\ j_1 \cdot i_2 & j_1 \cdot j_2 & j_1 \cdot k_2 \\ k_1 \cdot i_2 & k_1 \cdot j_2 & k_1 \cdot k_2 \end{pmatrix}, \quad A^T = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{21} & a_{31} \\ a_{12} & a_{22} & a_{32} \\ a_{13} & a_{23} & a_{33} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} i_1 \cdot i_2 & j_1 \cdot i_2 & k_1 \cdot i_2 \\ i_1 \cdot j_2 & j_1 \cdot j_2 & k_1 \cdot j_2 \\ i_1 \cdot k_2 & j_1 \cdot k_2 & k_1 \cdot k_2 \end{pmatrix}.$$

Сформулируем свойства матрицы ориентации  $A$  в обозначениях (2.2).

1) Матрица  $A$  – ортогональная матрица. Обратная ей матрица равна транспонированной:  $A^{-1} = A^T$ .

2) Любой элемент матрицы направляющих косинусов равен своему алгебраическому дополнению:

$$\begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_{11} & A_{12} & A_{13} \\ A_{21} & A_{22} & A_{23} \\ A_{31} & A_{32} & A_{33} \end{pmatrix},$$

где  $A_{ij}$  – алгебраическое дополнение элемента  $a_{ij}$ . Это определитель матрицы, полученной исключением строки и столбца, пересекающиеся на элементе  $a_{ij}$ , с коэффициентом  $(-1)^{i+j}$ .

3) Формула для вычисления обратной матрицы имеет вид:

$$A^{-1} = \frac{A^T}{|A|},$$

где  $A$  – матрица алгебраических дополнений,  $|A|$  – определитель матрицы  $A$ . Определитель квадратной матрицы вычисляется как сумма произведений элементов любой строки или столбца на алгебраическое дополнение этого элемента. Например  $|A| = a_{11}A_{11} + a_{12}A_{12} + a_{13}A_{13}$ .

4) Сумма квадратов элементов в любой из строк и в любом из столбцов матрицы направляющих косинусов равна единице:

$$\left. \begin{aligned} a_{11}^2 + a_{12}^2 + a_{13}^2 = 1, \\ a_{21}^2 + a_{22}^2 + a_{23}^2 = 1, \\ a_{31}^2 + a_{32}^2 + a_{33}^2 = 1. \end{aligned} \right\}, \left. \begin{aligned} a_{11}^2 + a_{21}^2 + a_{31}^2 = 1, \\ a_{12}^2 + a_{22}^2 + a_{32}^2 = 1, \\ a_{13}^2 + a_{23}^2 + a_{33}^2 = 1. \end{aligned} \right\}.$$

5) Элементы матрицы направляющих косинусов связаны соотношениями:

$$\left. \begin{aligned} a_{11}a_{21} + a_{12}a_{22} + a_{13}a_{23} = 0, \\ a_{21}a_{31} + a_{22}a_{32} + a_{23}a_{33} = 0, \\ a_{11}a_{31} + a_{12}a_{32} + a_{13}a_{33} = 0. \end{aligned} \right\}.$$

### **3.2 Уравнения ориентации в форме уравнений кинематики матриц направляющих косинусов**

В уравнениях ориентации применимы два варианта матриц направляющих косинусов:

1) Матрицы  $B$  и  $D$ , характеризующие взаимную ориентацию вращающегося и невращающегося трехгранников, реализуют следующие преобразования:  $\|X_{II} \ Y_{II} \ Z_{II}\|^T = B \|X_1 \ Y_1 \ Z_1\|^T$ ;  $\|X_{II} \ Y_{II} \ Z_{II}\|^T = D \|X_2 \ Y_2 \ Z_2\|^T$ .

2) Матрицы  $A$  и  $C = A^T$ , характеризующие взаимную ориентацию двух вращающихся СК. Эти матрицы реализуют следующие преобразования:

$$\|X_1 \ Y_1 \ Z_1\|^T = A \|X_2 \ Y_2 \ Z_2\|^T; \quad \|X_2 \ Y_2 \ Z_2\|^T = C \|X_1 \ Y_1 \ Z_1\|^T.$$

Кинематика вращения в инерциальном пространстве описывается дифференциальными уравнениями Пуассона вида:

$$\frac{dB}{dt} = B \cdot [\Omega_1], \quad \frac{dD}{dt} = D \cdot [\Omega_2], \quad (4.1)$$

либо вида:

$$\frac{dB^T}{dt} = -[\Omega_1] \cdot B^T, \quad \frac{dD^T}{dt} = -[\Omega_2] \cdot D^T. \quad (4.1a)$$

В уравнениях (4.1) и (4.1a)  $[\Omega_1]$  и  $[\Omega_2]$  – кососимметрические матрицы, составленные из проекций абсолютных угловых скоростей трехгранников  $OX_1Y_1Z_1$  и  $OX_2Y_2Z_2$  на собственные оси по правилу Леви-Чивиты.

Раскроем уравнения Пуассона, определяющие матрицу  $B$ :

$$\left\| \begin{array}{ccc} \frac{db_{11}}{dt} & \frac{db_{12}}{dt} & \frac{db_{13}}{dt} \\ \frac{db_{21}}{dt} & \frac{db_{22}}{dt} & \frac{db_{23}}{dt} \\ \frac{db_{31}}{dt} & \frac{db_{32}}{dt} & \frac{db_{33}}{dt} \end{array} \right\| = \left\| \begin{array}{ccc} b_{11} & b_{12} & b_{13} \\ b_{21} & b_{22} & b_{23} \\ b_{31} & b_{32} & b_{33} \end{array} \right\| \left\| \begin{array}{ccc} 0 & -\Omega_{Z1} & \Omega_{Y1} \\ \Omega_{Z1} & 0 & -\Omega_{X1} \\ -\Omega_{Y1} & \Omega_{X1} & 0 \end{array} \right\|, \quad (4.2)$$

либо

$$\left\| \begin{array}{ccc} \frac{db_{11}}{dt} & \frac{db_{21}}{dt} & \frac{db_{31}}{dt} \\ \frac{db_{12}}{dt} & \frac{db_{22}}{dt} & \frac{db_{32}}{dt} \\ \frac{db_{13}}{dt} & \frac{db_{23}}{dt} & \frac{db_{33}}{dt} \end{array} \right\| = - \left\| \begin{array}{ccc} 0 & -\Omega_{Z1} & \Omega_{Y1} \\ \Omega_{Z1} & 0 & -\Omega_{X1} \\ -\Omega_{Y1} & \Omega_{X1} & 0 \end{array} \right\| \left\| \begin{array}{ccc} b_{11} & b_{21} & b_{31} \\ b_{12} & b_{22} & b_{32} \\ b_{13} & b_{23} & b_{33} \end{array} \right\|. \quad (4.2a)$$

Уравнения (4.2) и (4.2a) соответствуют системе девяти дифференциальных уравнений:

$$\left. \begin{aligned} \frac{db_{11}}{dt} &= b_{12}\Omega_{Z1} - b_{13}\Omega_{Y1}, & \frac{db_{12}}{dt} &= b_{13}\Omega_{X1} - b_{11}\Omega_{Z1}, & \frac{db_{13}}{dt} &= b_{11}\Omega_{Y1} - b_{12}\Omega_{X1}, \\ \frac{db_{21}}{dt} &= b_{22}\Omega_{Z1} - b_{23}\Omega_{Y1}, & \frac{db_{22}}{dt} &= b_{23}\Omega_{X1} - b_{21}\Omega_{Z1}, & \frac{db_{23}}{dt} &= b_{21}\Omega_{Y1} - b_{22}\Omega_{X1}, \\ \frac{db_{31}}{dt} &= b_{32}\Omega_{Z1} - b_{33}\Omega_{Y1}, & \frac{db_{32}}{dt} &= b_{33}\Omega_{X1} - b_{31}\Omega_{Z1}, & \frac{db_{33}}{dt} &= b_{31}\Omega_{Y1} - b_{32}\Omega_{X1}. \end{aligned} \right\} \quad (4.3)$$

Система уравнений, определяющая элементы матрицы D аналогична по структуре системе уравнений (4.3).

Для интегрирования уравнений Пуассона вида (4.3) в качестве исходных данных необходимо иметь начальные значения матриц B или D:  $B(t_0)$  или  $D(t_0)$ . По определению матрицы B и D по структуре аналогичны матрице C, определяемой формулой (2.2a). Для обозначения углов Эйлера-Крылова, определяющих элементы матриц, дополним их индексы обозначениями соответствующих матриц. Тогда нотация Ишлинского (2.1) для соответствующих преобразований приводится к следующим:

$$\begin{aligned} OX_{II}Y_{II}Z_{II} &\xrightarrow{\varphi_{1B}, Y_1'} OX_1'Y_1'Z_1' \xrightarrow{\varphi_{2B}, Z_1'} OX_1''Y_1''Z_1'' \xrightarrow{\varphi_{3B}, X_1} OX_1Y_1Z_1, \\ OX_{II}Y_{II}Z_{II} &\xrightarrow{\varphi_{1D}, Y_2'} OX_2'Y_2'Z_2' \xrightarrow{\varphi_{2D}, Z_2'} OX_2''Y_2''Z_2'' \xrightarrow{\varphi_{3D}, X_2} OX_2Y_2Z_2. \end{aligned}$$

Элементы матриц  $B(t_0)$  и  $D(t_0)$  вычисляются по формуле (2.2a) при начальных значениях углов Эйлера-Крылова:  $\varphi_{1B}(t_0)$ ,  $\varphi_{2B}(t_0)$ ,  $\varphi_{3B}(t_0)$  либо  $\varphi_{1D}(t_0)$ ,  $\varphi_{2D}(t_0)$ ,  $\varphi_{3D}(t_0)$ .

Представим три варианта алгоритма, предназначенного для вычисления матриц A и C, определяющего взаимную ориентацию координатных трехгранников  $OX_1Y_1Z_1$  и  $OX_2Y_2Z_2$ , которые вращаются с абсолютными угловыми скоростями  $\Omega_1$  и  $\Omega_2$ .

Вариант 1. Алгоритм, основанный на решении двух кинематических уравнений Пуассона.

Матрица  $A$  может быть представлена в виде [8]:

$$A = DB^T \text{ либо } A^T = C = BD^T,$$

где матрицы  $B$  и  $D$  определяются в результате решения уравнений Пуассона вида (4.1) или (4.1а).

Вариант 2. Алгоритм, основанный на решении одного кинематического уравнения Пуассона с вычислением вектора относительной угловой скорости трехгранников  $OX_1Y_1Z_1$  и  $OX_2Y_2Z_2$ .

Для матриц, определяющих взаимную ориентацию трехгранников  $OX_1Y_1Z_1$  и  $OX_2Y_2Z_2$ , справедливы уравнения Пуассона, аналогичные по структуре уравнениям (4.1) и (4.1а), которые соответствуют равенству  $A \frac{dC}{dt} = [\omega]$  и имеют вид [9]:

$$\frac{dC}{dt} = C \cdot [\omega], \quad \frac{dA}{dt} = -[\omega] \cdot A, \quad (4.4)$$

где  $[\omega]$  – кососимметрическая матрица, составленная из проекций вектора относительной угловой скорости  $\omega$  трехгранников  $OX_1Y_1Z_1$  и  $OX_2Y_2Z_2$ , вычисляемой по формуле (2.10). С учетом того, что  $A = C^T$  матричные уравнения (4.4) записываются в скалярной форме, в полной мере соответствующей системе уравнений (4.3), через элементы матрицы  $C$ :

$$\left. \begin{aligned} \frac{dc_{11}}{dt} &= c_{12}\omega_Z - c_{13}\omega_Y, & \frac{dc_{12}}{dt} &= c_{13}\omega_X - c_{11}\omega_Z, & \frac{dc_{13}}{dt} &= c_{11}\omega_Y - c_{12}\omega_X, \\ \frac{dc_{21}}{dt} &= c_{22}\omega_Z - c_{23}\omega_Y, & \frac{dc_{22}}{dt} &= c_{23}\omega_X - c_{21}\omega_Z, & \frac{dc_{23}}{dt} &= c_{21}\omega_Y - c_{22}\omega_X, \\ \frac{dc_{31}}{dt} &= c_{32}\omega_Z - c_{33}\omega_Y, & \frac{dc_{32}}{dt} &= c_{33}\omega_X - c_{31}\omega_Z, & \frac{dc_{33}}{dt} &= c_{31}\omega_Y - c_{32}\omega_X. \end{aligned} \right\} \quad (4.5)$$

Второе уравнение (4.4) в векторно-матричной форме, записанное через элементы матрицы  $A$ , имеет вид:

$$\left\| \begin{array}{ccc} \frac{da_{11}}{dt} & \frac{da_{12}}{dt} & \frac{da_{13}}{dt} \\ \frac{da_{21}}{dt} & \frac{da_{22}}{dt} & \frac{da_{23}}{dt} \\ \frac{da_{31}}{dt} & \frac{da_{32}}{dt} & \frac{da_{33}}{dt} \end{array} \right\| = - \left\| \begin{array}{ccc} 0 & -\omega_Z & \omega_Y \\ \omega_Z & 0 & -\omega_X \\ -\omega_Y & \omega_X & 0 \end{array} \right\| \left\| \begin{array}{ccc} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{array} \right\|. \quad (4.6)$$

Уравнение (4.6) в скалярной форме, соответствующее матричным уравнениям (4.4), записанным через элементы матрицы А:

$$\left. \begin{aligned} \frac{da_{11}}{dt} &= a_{31}\omega_Y - a_{21}\omega_Z, & \frac{da_{12}}{dt} &= a_{32}\omega_Y - a_{22}\omega_Z, & \frac{da_{13}}{dt} &= a_{33}\omega_Y - a_{23}\omega_Z, \\ \frac{da_{21}}{dt} &= a_{11}\omega_Z - a_{31}\omega_X, & \frac{da_{22}}{dt} &= a_{12}\omega_Z - a_{32}\omega_X, & \frac{da_{23}}{dt} &= a_{13}\omega_Z - a_{33}\omega_X, \\ \frac{da_{31}}{dt} &= a_{21}\omega_X - a_{11}\omega_Y, & \frac{da_{32}}{dt} &= a_{22}\omega_X - a_{12}\omega_Y, & \frac{da_{33}}{dt} &= a_{23}\omega_X - a_{13}\omega_Y. \end{aligned} \right\} \quad (4.7)$$

Вариант 3. Алгоритм, основанный на решении обобщённого уравнения Пуассона, определяемого абсолютными угловыми скоростями трехгранников  $OX_1Y_1Z_1$  и  $OX_2Y_2Z_2$ , заданными проекциями на собственные оси.

Исходное обобщённое уравнение Пуассона имеет вид [8, 9]:

$$\frac{dC}{dt} = C \cdot [\Omega_1] - [\Omega_2] \cdot C, \quad (4.8)$$

Запись уравнения (3.8) через элементы матриц:

$$\left\| \begin{array}{ccc} \frac{dc_{11}}{dt} & \frac{dc_{12}}{dt} & \frac{dc_{13}}{dt} \\ \frac{dc_{21}}{dt} & \frac{dc_{22}}{dt} & \frac{dc_{23}}{dt} \\ \frac{dc_{31}}{dt} & \frac{dc_{32}}{dt} & \frac{dc_{33}}{dt} \end{array} \right\| = \left\| \begin{array}{ccc} c_{11} & c_{12} & c_{13} \\ c_{21} & c_{22} & c_{23} \\ c_{31} & c_{32} & c_{33} \end{array} \right\| \left\| \begin{array}{ccc} 0 & -\Omega_{Z1} & \Omega_{Y1} \\ \Omega_{Z1} & 0 & -\Omega_{X1} \\ -\Omega_{Y1} & \Omega_{X1} & 0 \end{array} \right\| - \left\| \begin{array}{ccc} 0 & -\Omega_{Z2} & \Omega_{Y2} \\ \Omega_{Z2} & 0 & -\Omega_{X2} \\ -\Omega_{Y2} & \Omega_{X2} & 0 \end{array} \right\| \left\| \begin{array}{ccc} c_{11} & c_{12} & c_{13} \\ c_{21} & c_{22} & c_{23} \\ c_{31} & c_{32} & c_{33} \end{array} \right\|. \quad (4.9)$$

Матричное уравнение (4.8) и (4.9) эквивалентно девяти линейным дифференциальным уравнениям первого порядка:

Элементы начальных значений матриц А и С, необходимые для интегрирования уравнений вида (4.5), (4.7) и (4.10), вычисляются по формулам (2.2) или (2.2а) при начальных значениях углов Эйлера-Крылова:  $\varphi_1 = \varphi_1(t_0)$ ,  $\varphi_2 = \varphi_2(t_0)$  и  $\varphi_3 = \varphi_3(t_0)$ .

$$\left. \begin{aligned} \frac{dc_{11}}{dt} &= c_{12}\Omega_{Z1} - c_{13}\Omega_{Y1} + c_{21}\Omega_{Z2} - c_{31}\Omega_{Y2}, \\ \frac{dc_{12}}{dt} &= c_{13}\Omega_{X1} - c_{11}\Omega_{Z1} + c_{22}\Omega_{Z2} - c_{32}\Omega_{Y2}, \\ \frac{dc_{13}}{dt} &= c_{11}\Omega_{Y1} - c_{12}\Omega_{X1} + c_{23}\Omega_{Z2} - c_{33}\Omega_{Y2}, \\ \frac{dc_{21}}{dt} &= c_{22}\Omega_{Z1} - c_{23}\Omega_{Y1} + c_{31}\Omega_{X2} - c_{11}\Omega_{Z2}, \\ \frac{dc_{22}}{dt} &= c_{23}\Omega_{X1} - c_{21}\Omega_{Z1} + c_{32}\Omega_{X2} - c_{12}\Omega_{Z2}, \\ \frac{dc_{23}}{dt} &= c_{21}\Omega_{Y1} - c_{22}\Omega_{X1} + c_{33}\Omega_{X2} - c_{13}\Omega_{Z2}, \\ \frac{dc_{31}}{dt} &= c_{32}\Omega_{Z1} - c_{33}\Omega_{Y1} + c_{11}\Omega_{Y2} - c_{21}\Omega_{X2}, \\ \frac{dc_{32}}{dt} &= c_{33}\Omega_{X1} - c_{31}\Omega_{Z1} + c_{12}\Omega_{Y2} - c_{22}\Omega_{X2}, \\ \frac{dc_{33}}{dt} &= c_{31}\Omega_{Y1} - c_{32}\Omega_{X1} + c_{13}\Omega_{Y2} - c_{23}\Omega_{X2}. \end{aligned} \right\} \quad (4.10)$$

## 5. Сравнительный анализ методов решения задачи взаимной ориентации двух подвижных прямоугольных систем координат для угловых, векторных и матричных параметров ориентации.

В предыдущих разделах достаточно подробно изложены исходные данные по математическим основам решения задачи определения взаимной ориентации подвижных СК, применяемых для описания управляемого движения ЛА и для построения алгоритмов инерциальной навигационной системы ЛА. Представленные выше научно-методические основы построения алгоритмов ориентации ЛА предназначены для инженера, реализующего комплексный подход к проектным исследованиям по созданию инерциальной системы управления ЛА. Следует акцентировать внимание, что указанный комплексный подход позволяет соблюсти единство математических методов, применяемых для построения математических моделей управляемого полета ЛА и для алгоритмизации БИНС, что повышает эффективность лабораторной и натурной отработки создаваемой системы.

В данном разделе проводится предварительный анализ представленных в предыдущих разделах исходных данных для решения рассматриваемой задачи. В качестве **базовой задачи** для сравнительного анализа примем **задачу**

**определения параметров взаимной ориентации ССК и НСК.** Эта задача подробно рассмотрена в разделе 1 для описания ориентации с применением углов Эйлера-Крылова.

Задача определения взаимной ориентации ССК и НСК – основная задача разработки алгоритмов ориентации для всех вариантов алгоритмического обеспечения БИНС, построенных на ДЛУ и ДУС [8]. В этих системах координатные базисы измерительных блоков, образованных осями чувствительности ДЛУ и ДУС с точностью до ошибок юстировки совпадают с осями ССК. Практическая значимость этой задачи связана с необходимостью перепроектирования показаний ДЛУ на оси варианта НСК, выбранного в качестве базового сопровождающего трехгранника.

Важность задачи определения взаимной ориентации ССК и НСК при построении математической модели управляемого полета ЛА обусловлена следующим.

1) Моделирование силовых и моментных воздействий на ЛА связано с вычислением углов атаки  $\alpha$  и скольжения  $\beta$  по формулам (2.5). Для этого необходимо перепроектирование проекций вектора воздушной скорости, вычисляемых по формулам (2.4) на оси ССК [1]. Необходимость вычисления  $\alpha$  и  $\beta$  может быть связана также с необходимостью имитации косвенных обратных связей по аэродинамическим углам или имитации их измерений, если на ЛА установлены соответствующие датчики.

2) Использование ССК в качестве проекционной СК, которое связано с конкретными условиями проектирования САУЛА.

3) Необходимость имитации измерений вектора кажущегося ускорения блоком ДЛУ, требующее проектирования вектора ускорения силы тяжести, направленного по местной вертикали, на оси ССК.

4) Необходимость применения функциональных зависимостей вида (1.7) углов ориентации связанной и скоростной систем координат (ССК и СкСК) относительно НСК.

**Исходные данные** для всех вариантов алгоритмов ориентации – начальные значения углов Эйлера-Крылова. **Входные переменные** – проекции абсолютных угловых скоростей ССК  $OXYZ$   $\Omega = \|\Omega_x \ \Omega_y \ \Omega_z\|$  и НСК  $\Omega_g = \|\Omega_{Xg} \ \Omega_{Yg} \ \Omega_{Zg}\|$  на

собственные оси. Задача расчета проекций  $\Omega_g$  на оси выбранного варианта НСК подробно рассмотрена в разделе 1.

**Выходная информация алгоритма ориентации:**

- текущая матрица направляющих косинусов  $C = A^T$  при переходе от ССК к НСК, которая необходима для вычисления навигационных элементов полета ЛА;
- текущие значения углов Эйлера-Крылова  $\psi, \vartheta, \gamma$ , представляющие собой основные пилотажные элементы полета, которые регулируются системой автопилотирования.

Для всех вариантов рассматриваемых групп параметров ориентации разработаны уравнения ориентации, которые не требуют приведения векторов угловых скоростей ССК и НСК к единому базису на каждом шаге интегрирования. Эти виды уравнений рассматриваются на завершающем этапе сравнительного анализа методов решения задачи взаимной ориентации двух подвижных прямоугольных систем координат. Для углов Эйлера-Крылова это система уравнений (2.14), для параметров Родрига-Гамильтона – системы уравнений (3.25) или (3.26), для элементов матрицы направляющих косинусов – система уравнений (4.10). Результаты сравнения методов, основанных на указанных вариантах уравнений ориентации представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Результаты сравнительного анализа вариантов решения задачи взаимной ориентации ССК и НСК

Тип параметров ориентации	УГЛЫ ЭЙЛЕРА-КРЫЛОВА	КВАТЕРНИОНЫ С ПАРАМЕТРАМИ РОДРИГА-ГАМИЛЬТОНА	МАТРИЦЫ НАПРАВЛЯЮЩИХ КОСИНУСОВ
Подзадача Определение начальных значений интегрируемых переменных	Не требуется.	Расчет начальных значений $\lambda_i$ по формулам (3.14) для значений углов: $\varphi_1 = \psi(t_0)$ , $\varphi_2 = \vartheta(t_0)$ , $\varphi_3 = \gamma(t_0)$ .	Расчета начальных значений элементов матрицы $C = A^T$ по формуле (2.2а) для значений углов: $\varphi_1 = \psi(t_0)$ , $\varphi_2 = \vartheta(t_0)$ , $\varphi_3 = \gamma(t_0)$ .

Определение параметров ориентации	Интегрирование системы нелинейных кинематических дифференциальных уравнений 3-го порядка (2.14) с особыми точками, соответствующими $ \mathcal{G}  = \frac{\pi}{2}.$	Интегрирование системы линейных кинематических дифференциальных уравнений 4-го порядка (3.25) или (3.26).	Интегрирование системы линейных кинематических дифференциальных уравнений 9-го порядка (4.10)
Корректировка уравнений ориентации для автоматического нормирования выходных переменных	Не требуется.	Введение дополнительных составляющих в правые части уравнений ориентации вида $\lambda_i (1 -  \Lambda )$ , аналогично (3.27)	Не требуется.
Вычисление текущих значений углов Эйлера-Крылова	Не требуется.	Вычисление по формулам (3.16)	Вычисление по формулам (2.3)
Вычисление текущих значений матрицы направляющих косинусов С.	Вычисление по формуле (2.2а).	Вычисление по формуле (3.15)	Не требуется.

#### Литература

1. Динамика полета / Под редакцией академика РАН Бюшгенса Г.С. – М.: Машиностроение, 2011, 776 с.
2. Митюков В.В., Назаров А.С. Преобразование проекций векторов, входящих в математическую модель динамики управляемого полета // Вестник УлГТУ, 2020, №1. С. 55 – 58.
3. Тихонов А.А. Динамика твердого тела от уравнений Эйлера до управления угловым движением ИСЗ в трудах ученых СПбГУ. Ч.1. // Вестник СПбГУ. Математика. Механика. Астрономия. 2023. Т. 10 (68). Вып. 3. С.457 – 486.
4. Применение кватернионов в задачах ориентации твердого тела / Бранец В.Н., Шмыглевский И.П. – М.: Наука, 1973. 320 с.
5. Голубев Ю.Ф. Кинематические параметры твердого тела с одной неподвижной точкой. // Препринты ИПМ им. М.В.Келдыша, 1997. № 33. 22 с.
6. Вопросы теории инерциальных навигационных систем / Петров Б.С. – М.: Наука, 2003. –206 с.
7. Кватернионные и бикватернионные модели и методы механики твердого тела и их приложения. Геометрия и кинематика движения. / Челноков Ю.Н. –М.: Физматлит, 2006. – 512 с.

8. Основы построения бесплатформенных инерциальных навигационных систем / Матвеев В.В, Распопов В.Я / *под общ. ред. д.т.н. Распопова В.Я.* – СПб: ГНЦ РФ ОАО Концерн «ЦНИИ Электроприбор», 2009. – 280с.
9. Инерциальные навигационные системы. Учебное пособие. / Матвеев В.В. Тула: Изд-во ТулГУ, 2012. –199 с.
10. Голубев Ю.Ф. Алгебра кватернионов в кинематике твердого тела // Препринты ИПМ им. М.В.Келдыша, 2013. № 39. 23 с.
11. Челноков Ю.Н., Нелаева Е.И., Бикватернионное решение кинематической задачи оптимальной нелинейной стабилизации произвольного программного движения свободного твердого тела. // Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер.: Математика. Механика. Информатика, 2016. Том 16, выпуск 2. С. 198–207.
12. Челноков Ю.Н. Синтез управления пространственным движением твердого тела с использованием дуальных кватернионов. // ПРИКЛАДНАЯ МАТЕМАТИКА И МЕХАНИКА, 2019. Том 83, № 5–6. С. 704 – 733.
13. Аверьянов И.О., Зинин А.В. Использование параметров Родрига-Гамильтона для решения задачи об опрокидывании приземляющегося объекта с амортизаторами // Труды МАИ. 2022. № 126.
14. Челноков Ю.Н. Кватернионные и бикватернионные методы и регулярные модели аналитической механики (Обзор) // ПРИКЛАДНАЯ МАТЕМАТИКА И МЕХАНИКА, 2023. Том 87, № 4. С. 519 – 556.
15. Петров А.Г. О кинематическом описании движения твердого тела. // Прикладная математика и механика, 2023. Том 87, №5. С.711 – 719.
16. Сапунков Я.Г., Молоденков А.В. Новый алгоритм квазиоптимальной переориентации космического аппарата, Изв. Саратовского ун-та. Сер.: Математика, Механика. Информатика. 2023, том 23, выпуск 1. С 95–112.
17. Навигация летательных аппаратов в околоземном пространстве /Августов Л.И., Бабиченко А.В., Орехов М.И., Сухоруков С.Я., Шкред В.К. Под ред. Джанджгавы Г.И. –М.: ООО «Научтехлитиздат», 2015. 592с.
18. Векторы и тензоры второго ранга в трехмерном пространстве / Жилин П.А. – СПб.: Издательство СПбГТУ, 1992. – 86 с.
19. Теория гироскопических систем ориентации / Петров Б.С. –М.: Наука, 2004. –202 с.
20. Введение в теорию бесплатформенных инерциальных систем / Бранец В. Н., Шмыглевский И. П. – М.: Наука, 1992. – 280 с.
21. Интегрированные системы ориентации и навигации морских подвижных объектов / Анучин О.Н., Емельянцева Г.И. – СПб.: ГНЦ РФ – ЦНИИ «Электроприбор», 2003. – 390с.

УДК 625.142.44

## ГЛАВА 4

# МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ УПРУГЫХ ПОДШПАЛЬНЫХ ПРОКЛАДОК ДЛЯ УМЕЩЕНИЯ ВИБРАЦИИ В СТЫКОВОЙ ЗОНЕ И СОХРАНЕНИЕ СТАБИЛЬНОГО РАБОТЫ ПУТИ

**Мехмонов М.Х.**

канд. тех. наук, доцент  
ТГТУ,

**Хамидов М.К.**

Ассистент  
ТГТУ,

г. Ташкент, Республика Узбекистан

**Аннотация:** В статье рассматриваются вопросы как уменьшение вибрации, колебания и выправки неровностей пути в поперечном и продольном профиле, в стыковом зоне с укладкой упругих элементов непосредственно под подошву железобетонных шпал при щебеночным балласте и методика проводимого экспериментального исследования в полевых условиях на участках Саларской дистанции пути.

**Ключевые слова:** Динамика, вибрация, стыковая зона, неисправности пути, бесстыковой путь, рельс, шпала, щебень, балласт, подвижной состав, подшпальные прокладки, просадка, остаточные деформация.

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время одной из главных задач железнодорожных инженеров транспортного сферы независимого Узбекистана является повышения грузовых перевозок и скоростей пассажирских поездов по основным и промышленным направлениям железных дорог республики.

Значительно возросшее оснащение железнодорожного строительства, эксплуатация и текущая содержания дорог требует улучшения технологических процессов, методов его планирования и организации по обеспечению безопасного движения поездов, широкого использования в практике рационального проектирования работ на всех уровнях ремонта, повышения эффективности железнодорожного эксплуатации, выявления использования резервов снижения

стоимости по ремонту пути, осуществления комплекса мероприятий по экономии расходования всех видов ресурсов и охране окружающей среды [1].

Дальнейшее улучшение железнодорожного пути основывается на совершенствовании уже известных конструкций, технологических процессов, принципов и методов интенсификации производства путевых работ и на реализации новых строительствах. В этом отношении одним из научно-технического направления развития технического прогресса является внедрение на всех уровнях более совершенных методов и систем управления, планирования и организации текущего содержания железнодорожного пути и труда монтеров пути.

Один из наиболее важных отраслей железнодорожного транспорта является путевое хозяйство, на долю которого приходится более 52% основных фондов железных дорог, около 24% эксплуатационных расходов транспорта, более 20% общей численности работников железнодорожного транспорт по основной деятельности [2].

В АО “Узбекистон темир йуллари” основным предприятия путевого хозяйство является – дистанция пути (ПЧ) который о существует технические обслуживание и ремонт железнодорожного пути, восстановление служебных свойств старогодных элементов верхнего строения пути, выполнение неотложных и первоочередных работ по текущему содержанию, а также плановых работ, направленных на усиление состояние пути.

Текущее содержание железнодорожного пути осуществляют круглогодично и на всем протяжении пути, включая участки.

Организация текущего содержания пути включает:

- систему диагностики пути и сооружений;
- планирование планово-предупредительных (пл.пр.) работ по текущему содержанию пути;
- выполнение пл.пр работ по предупреждению и устранению отступлений и неисправностей с применением путевых машин и механизмов;
- оценку технического состояния пути и качества его обслуживания;

Задачей текущего содержания пути является предупреждение возникновения расстройств пути по параметрам рельсовой колеи и состоянию

элементов верхнего строения пути, своевременное устранение всех возникших расстройств и неисправностей [2].

В железнодорожном транспорте основными эксплуатационными параметрами, определяющими силовое воздействие на железнодорожный путь, являются грузонапряженность, скорости движение поездов, нагрузки на ось подвижного состава, масса поездов и др. В связи с повышением скоростей движения поездов, грузонапряженности линий и осевых нагрузок существенно увеличивается вибрационное воздействие на элементы железнодорожного пути при проходе колес подвижного состава особенно в стыковой зоне.

Развитие и оптимизация железнодорожного пути привело к росту потребности точного определения и изменения упругости свойств и уменьшения выбродинамических воздействиях элементов верхнего строения пути. Железнодорожный путь является инженерным сооружением, выполняющим тяжелую работу в трудных условиях, по пути проходят поезда большой массы с высокими скоростями. Колеса подвижного состава воздействуют на рельсы с большой силой, следовательно, защита элементов железнодорожного пути от вредного воздействия силы (вертикальные и горизонтальные) и вибрационных нагрузок является весьма актуальной проблемой. При создании новых конструкций следует предусматривать конструктивные мероприятия, снижающие уровень вибрационных нагрузок и силы удара колеса. Это достигается, в том числе, введением в конструкцию в качестве амортизаторов подшпальных прокладок повышенной упругости.

Наличие неровностей на колесах и в пути, стыковых зазоров, вредного пространства, отступлений от норм содержания пути и подвижного состава, а также необрессоренных масс и колебания надрессорного строения приводят к тому, что вертикальные и горизонтальные силы, передаваемые на рельсы от подвижных нагрузок, быстро изменяются во времени. Под воздействием вибрационной нагрузки наблюдается ослабление болтовых соединений, в частности разболчивание стыков и промежуточных рельсовых скреплений, а это приводит к сдвигу шпала, обрушения балластного призмы и появления многих недостатков в стыковой зоне. Это также приводит к повышенным расходам

рабочей силы на подтягивание болтов, исправлению перекошенных шпалы, заполнения шпальных ящиков с щебнем.

В железных дорогах динамика движения подвижного состава имеет принципиальное значение. Увеличение скорости и перевозимого груза привело к увеличению вибродинамических сил и нагрузки на рельс, а также к увеличению вибрации и шума, кроме того в стыковой зоне увеличению количества просядок одного или обоих стыков, перекосов, дефектов по рельсовой геометрии, трещины на 4-х или 6-х дырных накладках, излом подкладок, излом и усталость в элементах скрепления, усталость подрельсовых и нашпальных прокладок, выплески, перекошенные шпалы, трещины и излом шпалы, разрушения геометрии балластной призмы и увеличивается остаточные деформации (рис.1) вызываемых от подвижного состава.



**Рис.1. Состояние стыковых зон.**

При устранение выше представленных недостатках пути в стыковой зоне предусматривается работы по текущему содержанию: неотложные, первоочередные и планово-предупредительные. Эти работы делятся на выполняемые в интервалы времени между поездами и в технологические перерывы, заложенные в график движения поездов, или в специально предоставляемые «Окна». А это приводит к увеличению внеочередных расходов, дополнительное время для устранения, спросов материалов и необходимости рабочих сил.

Основной причиной вибраций пути является наличие стыков и неровностей на рельсах и колесах. При прохождении колес по неровностям и стыкам возникают дополнительные силы инерции необрессоренных масс, которые в свою очередь вызывают вибрации рельсов, шпалов, балласта и земляного полотна.

Ухудшение геометрии пути, а также шум и вибрация были определены как актуальные проблемы, которые необходимо уменьшить, что могло бы быть возможно путем изменения вертикальной жесткости колесной пары подвижного состава и получения более однородного значения вдоль пути трассы. Вагоны совместно с железнодорожным путем образуют сложные динамические системы с большим числом степеней свободы.

Это дополнительное воздействие вызывает расстройтва пути, которые накапливаются в зоне рельсового стыка гораздо интенсивнее, чем в средней части рельсов, и, следовательно, в зоне стыка значительно быстрее происходит выход элементов верхнего строения пути из строя. Например, вертикальные осадки пути накапливаются в стыке в 2 – 3 раза интенсивнее, чем в середине рельсового звена. В связи с этим были предприняты попытки уменьшить вредное влияние рельсового стыка на работу пути.

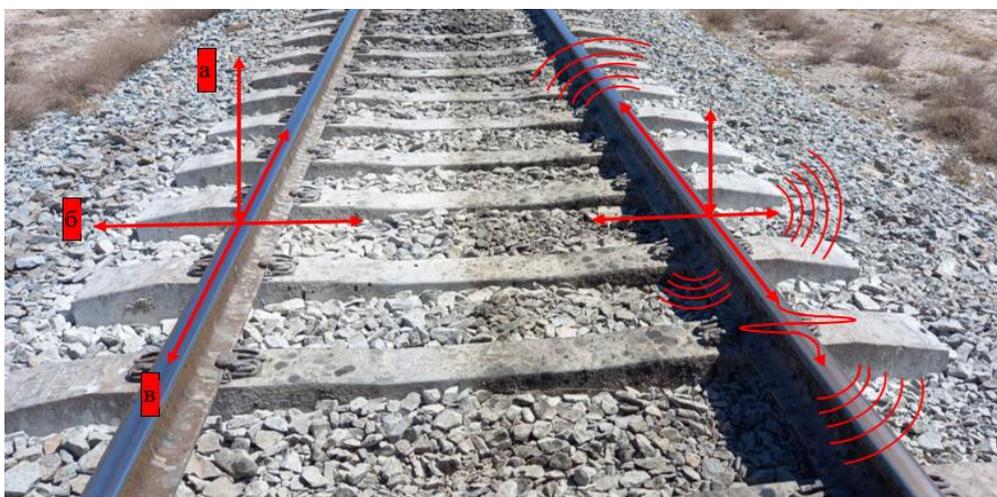
Для обеспечения длительных сроков службы железнодорожного пути необходимо внедрение новейших научных разработок как по конструкции пути в целом, так и для отдельных элементов, а также технологические процессы по их текущему содержанию и обслуживанию.

Все элементы железных дорог работают вместе, и основная задача каждого элемента — распределить воспринимаемую нагрузку по как можно большей площади, что снижает величину напряжений на нижних слоях пути.

Рельс, шпалы, балласт и земляное полотно совершают вынужденные колебания под действием вибродинамических сил и свободные, колебания под действием сил упругости. Рельс сам по себе совершает сложные колебания - охватывают значительную массу рельса; такими являются колебания его как целой балки на упругих опорах. У шпалы можно назвать, по крайней мере, два вида колебаний. Одни из них представляют собой поступательные колебания ее как жесткого тела на упругом основании. Для этой формы характерно равенство параметров вибрации во всех точках шпалы. Поэтому ускорения вибраций концов шпал больше, чем ускорения, измеренные по оси пути Балластный слой колеблется по-разному под шпалой и в шпальном ящике, на разных глубинах. Земляное полотно имеет свои колебания.

Взаимодействие между колесными парами подвижного состава и железнодорожного пути появляется ниже следующие силы (рис.2):

- а) Вертикальные силы;
- б) Горизонтальные силы (продольные);
- в) Горизонтальные силы (поперечные) [5].



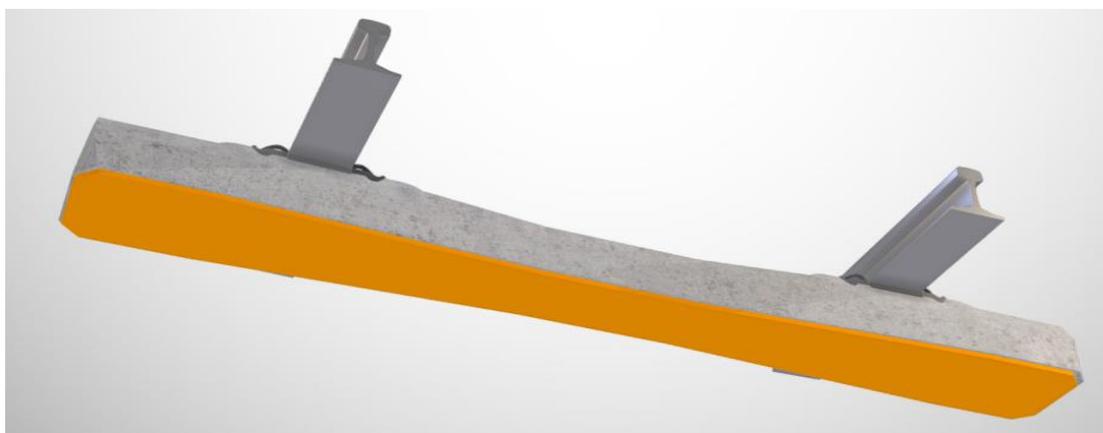
**Рис. 2. Вид передачи нагрузки от колесной пары на рельс и колебания по элементам.**

В процессе взаимодействия пути и подвижного состава колебания разных элементов складываются, интерферируют, в результате чего возникает сложный колебательный процесс. Для практических целей важно знать, какие элементы

пути более всего подвержены вибрации, какие вибрации воздействуют рельсу, шпале, балласту, от каких вибраций следует изолировать под- рельсовое основание – над шпалами, под шпалами и в балласте, а какие из них являются небольшими и опасности не представляют.

Таким образом, в настоящее время вопросы обеспечения длительной стабильности пути в стыковой зоне по-прежнему актуальный.

Уменьшение жесткости и колебания железнодорожного пути на железобетонных шпалах возможно за счет изменения жесткости прокладок промежуточного скрепления или за счет использования в элементах дополнительных прокладок, например, подшпальных (рис.3).



**Рис. 3. Видь упругих подшпальных прокладок.**

Анализ сложившейся ситуации, показывает, что в настоящий момент целесообразно вернуться к рассмотрению вопросам уменьшение вибрации, колебании и выправки неровностей пути в поперечном и продольном профиле, в стыках укладкой упругих элементов непосредственно под подошву железобетонных шпалы в стыковой зоне, без нарушения слежавшейся уплотненной постели шпалы.

Исследование по проведением Салариской дистанции пути при проходе грузовых поездах на рассматриваемых зонах (участках) пути – в стыках преодолевают дополнительные неровности, что создают новые ударные нагрузки по стыковой зоне от колесных пар, которые отрицательно оказывают на проезжую часть стыка и на ходовую часть тележек локомотивов и вагонов, сокращая их срок эксплуатации по всем элементам.

Выявляемые динамические нагрузки от колеса подвижного состава передаются на головку рельса по небольшой площади и вызывают контактные напряжения. В кромках подошвы рельса появляются изгибные напряжения и рельс распределяет нагрузку от колесной пары на нескольких шпалах. В балласте под шпалами появляется сжимающие напряжения и напряжения распределяется под балластным слоем на основной площадке земляного полотна. На первый взгляд, это — небольшие напряжения, но если учесть многократность приложения нагрузки от большого числа вагонных осей, а также ослабленность грунта основной площадки земляного полотна от атмосферных воздействий, то станут понятнее причины возникновения просадок пути и других его деформаций [3].

В участках АО «УТЙ» надо обеспечить оптимальную упругость железнодорожного пути на всем протяжении. К этому можно достигнуть только при грамотном проектировании, строительства и эксплуатации железнодорожного пути, с обеспечением солидарной работы каждого элемента пути на весь срок их службы.

Анализ и исследование показали, что чем выше грузонапряженность, тем больше объемы работ при всех видах ремонта путевых устройств требуется выполнять. Если будем планировать устранение недостатков и выполняемых путевых работ в «окна» производительность и качественная работа уместается, но при этом резко снижается пропускная способность участков и растет число задержек пассажирских и грузовых поездов. По устранению недостатков в стыковой зоне придется выполнять работ очень тщательно, быстро, качественно и не нарушением технологического процесса по выполнение путевых работ. Но выполняемые путевые работы в стыковой зоне, точнее между ремонтные работы выполняется краткое время. Мы должны, которые работающие в железнодорожном транспортной сфере провести теоретические и натурные экспериментальные исследование по зоне стыков чтобы обеспечит стабильного работы пути, снижения уровень выбратьсии, уменьшения расход материалов и удлинить между ремонтных работ.

Железнодорожный путь под нагрузкой, во время эксплуатации он приходит в напряженное состояние и в нем возникают упругие и остаточные деформации. Остаточные деформации (в том числе износ рельсов, шпал, балластного

материала и т.д.), возникающие в результате работы пути под нагрузкой и воздействия природных факторов, должны быть минимальными, медленно протекающими во времени и равномерно проявляющимися по длине пути.

Процесс накопления деформаций и расстройств пути является следствием действия весьма значительных сил угона, образующихся при проходе большегрузных вагонов. Упругие деформации, полностью исчезающие после снятия нагрузки, не должны быть чрезмерно большими и различными по величине в разных сечениях пути под одной и той же нагрузкой

Выше представленные недостатки приводит к необходимости тщательного научного подхода внедрения дополнительных конструкций и расчета элементов подшпальных прокладок. Поэтому необходимо провести натурные и теоретические экспериментальные исследования, которые смогли бы объяснить причину относительной слабости стыковых зон.

Предлагаемые подшпальные прокладки – это упругие прокладки, которые устанавливаются на основании железобетонных шпал (с маркой Ш-1-1, ВF70) и переводных брусьев стрелочного перевода.

Эти прокладки характеризуются превосходными упругими свойствами для применения на балластных путях. Прокладка устанавливается поверх балласта, повышенная упругость прокладки снижает модуля упругости рельсового основания и это позволяет снизить механические нагрузки. Это даёт возможность значительно снизить затраты по текущему содержанию пути и ремонту элементов верхнего строения пути в стыковых зонах.

Для определения оптимальных условий работы пути в стыковых зонах с применением упругих подшпальных прокладок под подвижной нагрузкой большое значение имеют экспериментальные исследования.

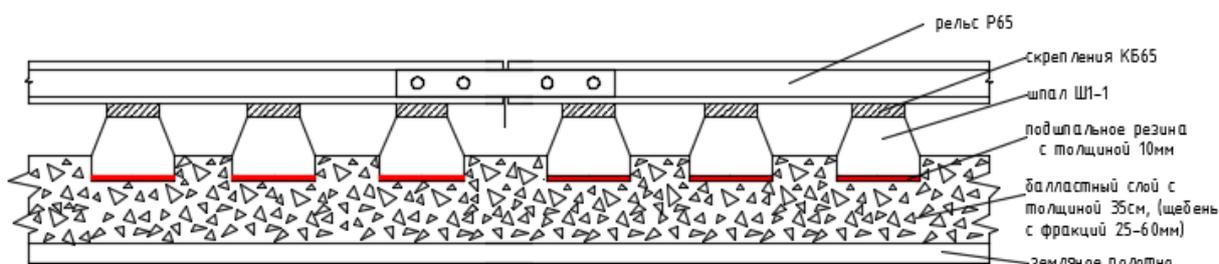
В основном все экспериментальные исследования проводится на участках АО «Узбекистан темир йуллари» с грузонапряженным и высокоскоростным проходом поездов. Опытный участок находился в плане на прямой; выбираются обычные стыковые зоны (4-стыковых зон); рельсы типа Р65 с длиной 12,5 м и 25 м без износа и дефектов; шпалы ВF-70 в количестве 1840 шт/км (в одной рельсошпальной решетке – 23 шт. шпал), дефектные шпалы при экспериментальных исследованиях не используются; скрепление с маркой Pandrol

Fastclip (для сравнения КБ65); балласт – щебень с толщиной 35-40 см, стандартный по ГОСТу 7392-20214 (крупностью щебня 24-60 мм) и без загрязнений; земляное полотно должно быть здоровым [5].

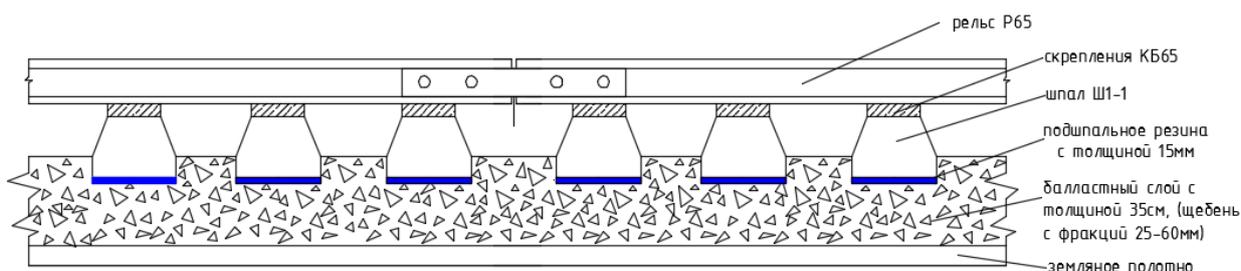
Изучается оценка состояние экспериментального участка по проходу компьютеризированного путеизмерительного вагона (ПС -106, ПС -126) до экспериментального исследования и анализируются стыковые зоны.

Проводимые экспериментальные исследования на опытном участке, при проходе поездов от стыковых зон с применением упругих подшпальных прокладок с различной толщиной предлагается ниже следующие:

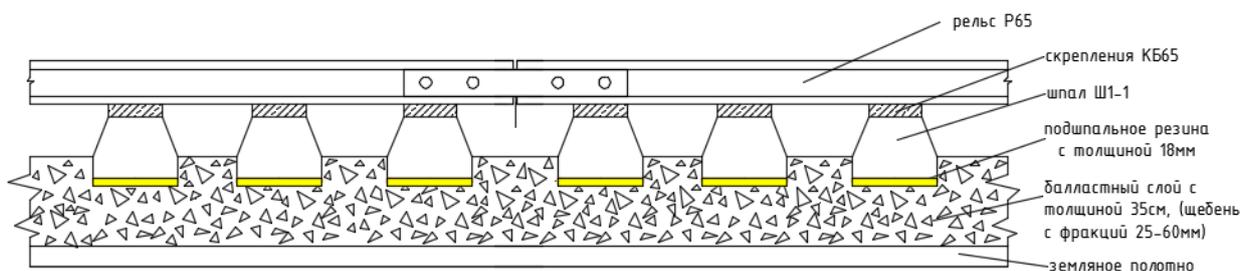
а) №1 стыковая зона с применением упругих подшпальных прокладок толщиной 10 мм.



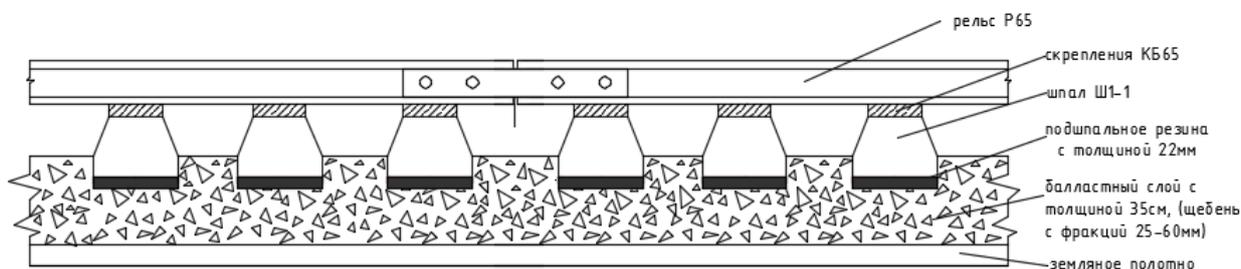
б) №2 стыковая зона с применением упругих подшпальных прокладок толщиной 15 мм.



в) №3 стыковая зона с применением упругих подшпальных прокладок толщиной 18 мм.



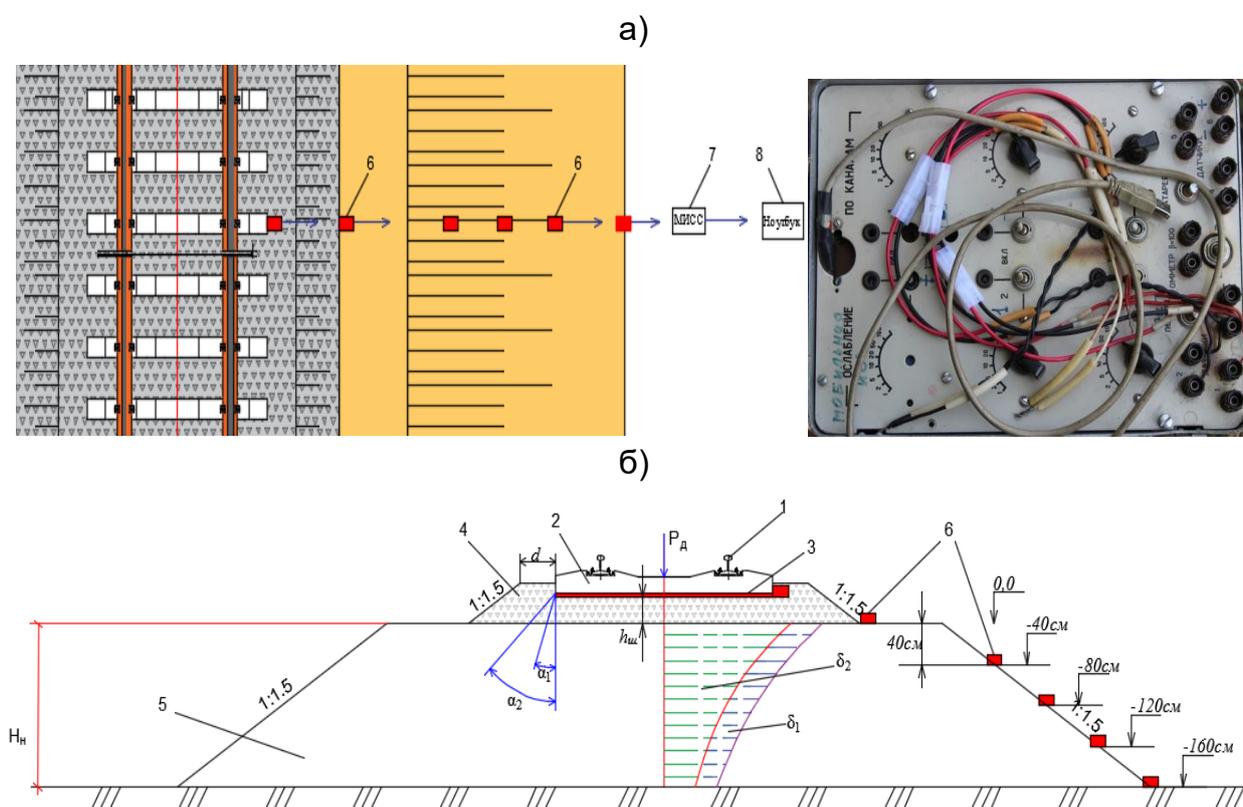
г) №4 стыковая зона с применением упругих подшпальных прокладок толщиной 22 мм.



**Аппаратура для измерения колебаний стыковых зон.** Для измерения передачи динамических характеристик от подвижного состава на рельс и нижних частей конструкций стыковых зон, без применения упругих подшпальных прокладок и с применением упругих подшпальных прокладок применяется вибродатчик мобильная инженерно-сейсмометрическая станция (МИСС), разработанная в институте Механики и сейсмостойкости сооружений в 2016 году. Подробная информация о структуре станции, принципе работы, подготовке ее к эксплуатации, методике калибровки измерительных каналов, методике регистрации колебаний объекта при динамических процессах приводится в научно-техническом отчете [4].

В состав каждого измерительного канала входят: входной делитель, усилитель, аналого-цифровой преобразователь (АЦП) один на все каналы, ноутбук с программным обеспечением. К входу измерительного канала подключается к виброметру. Входной делитель напряжения ограничивает входную величину ЭДС виброметра до величины, при которой входной сигнал не имеет искажений. Усилитель усиливает слабые сигналы виброметров. АЦП преобразовывает аналоговые сигналы в цифровой код для работы компьютера. Компьютерная программа сохраняет поступающие с виброметров данные, обрабатывает их и представляет в виде графиков колебания исследуемого участка – стыковых зон в режиме реального времени на мониторе ноутбука. При измерениях задействует два канала, к входам, которые будут подключаться виброметрам СМ-3 для измерения выбродинамических сил от подвижного состава, при работе колеса и конструкций верхнего строения пути и насыпи.

**Выбор измерительных точек и расположение датчиков.** Для экспериментального исследования при проходе подвижного состава от стыковых зон, выявляемые динамические характеристики колебаний в конструкциях – МВСП и насыпи предлагается измерить выбранных 6 измерительных точек (рис.4. а, б). Измерительная точка ИТ-1 расположена в стыковой зоне на вершине балластного слоя ближе к шпале, измерительная точка ИТ-2 расположена в конце балластной призмы насыпи основной площадки, измерительная точка ИТ-3 расположена от основной площадки в сечении 40 см на откосе насыпи, а остальные измерительные точки ИТ-4-5-6 расположены на откосе насыпи с сечением друг от друга 40 см до твёрдого грунта у основания насыпи.



**Рис. 4. Расположение измерительных точек в стыковой зоне и схемы эпюры при использовании подшпальных прокладок.**

а) расположения точек с верху пути и аппарата. б) передачи нагрузки от рельса на подрельсовое основание пути. 1 — рельс, 2 — шпала, 3 — подшпальная прокладка, 4 — балластная призма, 5 — земляное полотно, 6 — датчики СМ-3, 7 — ВМСС, 8 — ноутбук,  $h_{щ}$  — толщина щебня под шпалой,  $d$  — плечо балластной призмы;  $\alpha_1$  — угол распределения нагрузки (давления) в балластном слое без подшпальных прокладок,  $\alpha_2$  — угол распределения нагрузок в балластном слое с применением подшпальных прокладок,  $\delta_1$  — эпюра нагрузки без подшпальных прокладок в земляном полотне,  $\delta_2$  — эпюра нагрузки с применением подшпальных прокладок в земляном полотне,  $P_{дн}$  — динамическая нагрузка на рельс, кН.

При экспериментальных исследованиях принимаются данные по динамическим силам и колебаниям пути в стыковых зонах и насыпи при проходе подвижного состава с использованием упругих подшпальных прокладок и без установленных подшпальных прокладок от каждой 4-х стыковых зон, установленных измерительных 6 точек. Все данные сохраняются в ноутбуке и анализируется, а также разрабатываются методика расчетов. Можем посмотреть на 4 – рисунке влияние динамических нагрузок от колесной пары в нижней части пути с приведенными эпюрами  $\delta_1$  — без подшпальных прокладок и эпюра  $\delta_2$  — с применением подшпальных прокладок в стыковых зонах.

Таким образом, вибронный подшпальные прокладки хорошо подходят для критических по прочности и ударопрочности применений, например, в местах, где балластный слой не достаточен (оголенные конца шпалы, недостатки в шпальных ящиках щебня и т.д.) и не обеспечивает достаточной эластичности, а также в местах (в стыковых зонах звеновых путей и уравнильных пролетах бесстыкового пути) подверженных очень сильным горизонтальным или вертикальным ударом силы, возникающих в результате движения поездов на высокоскоростные или высокие нагрузки на ось. Упругие подшпальные прокладки также благоприятны для балласта с щебеночным слоем [5].

### ВЫВОДЫ

Результаты теоретических экспериментальных исследований показывают, что конструкция железнодорожного пути с упругими прокладками, уложенными на основании шпалы в зоне стыка, имеет следующие важные преимущества по сравнению со стандартными конструкциями верхнего строения пути:

- применение упругих подшпальных прокладок позволяет увеличить  $\alpha_2$  – угол распределяемой нагрузки, а также увеличивает площадь опирания шпалы на балласт, существенно повысить сопротивление шпалы поперечному сдвигу, что в свою очередь, является важным фактором обеспечения стабильности пути.

- уменьшается воздействие динамических сил и вибрации, передающихся от шпалы на щебень, частично погасив колебания шпалы;

- пластические свойства упругой подшпальной прокладки не ведут к истиранию и дроблению щебня, как в случае контакта балласта с бетонной

шпалой, позволяя частицам щебня в зоне контакта вдавливаясь в материал прокладки;

— использование упругих подшпальных прокладок на основании шпалы в стыковой зоне позволяет снизить процесс появления износа и дефектов (17.1, 27.1, 30В.1, 52.1, 53.1 и т.д.) в геометре рельса.

— ожидается без ущербная работа железнодорожного пути, удлинение срока службы элементов верхнего строения пути и земляного полотна, гарантирование безопасную работу с высоким уровнем комфорта в любое время и безопасность для окружающей среды.

### ЛИТЕРАТУРА

1. «Исследования новых конструкций железнодорожного пути» под общей редакцией д-ра техн. наук проф. Г.М. Шахунянца. Труды МИИТа, вып 382 Москва 1972г. – 168с.

2. M. Khamidov and Sh. Makhamadjonov Ensuring and maintenance of the road stagnation in the butt zones on the lines of JSC “Uzbekistan temir yo‘llari”. Scientific and technical magazine “Problems of architecture and construction”. 2024 Samarqand, pp. 134-138.

3. Железнодорожный путь: учебник, изд. 2-е, испр. и доп. / под редакцией Е.С. Ашпиза. – М.: ФБГУ ДПО «Учебный–методический центр по образованию на железнодорожном транспорте». 2021. – 575с.

4. Отчет (промежуточный, шифр: ФА-А14-Ф021) о научно-исследовательской работе по теме: «Совершенствование методики экспериментальных исследований сейсмостойкости сооружений путем модернизации лабораторно-экспериментального оборудования и определение закономерностей деформирования конструкции при действии статических и динамических нагрузок», 2016 г.

5. Abdujabarov A.Kh., Mekhmonov M.Kh., Khamidov M.K Testing of railway construction using elastic sleeper gaskets in the butt zone. Scientific and technical magazine “Problems of architecture and construction”. 2024 Samarqand, pp. 249-253

©Мехмонов М.Х., Хамидов М.К., 2025

УДК 004

## ГЛАВА 5

# ПРИМЕНЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМ В ТЕХНОЛОГИЯХ ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА

**Скворцова Е.И.**

Преподаватель СПО, каф. ИТ, ВГЛТУ

Воронеж

**Шапкин В.С.**

Преподаватель СПО, каф. ИТ, ВГЛТУ

Воронеж

**Научный руководитель: Ягодкин А.С.**

доцент, кандидат физико-математических наук

**Аннотация.** В статье рассматриваются теоретические и практические аспекты оценки надежности интегральных микросхем и радиоэлектронных систем. Представлен комплексный анализ индивидуальных показателей безотказности, включая вероятность безотказной работы, интенсивность отказов, среднюю наработку до отказа и наработку на отказ. Исследованы параметры ремонтпригодности и комплексные показатели надежности, такие как коэффициенты готовности, технического использования и оперативной готовности. Обоснована необходимость применения вероятностно-статистических методов для прогнозирования отказов электронных компонентов. Продемонстрирована актуальность проблемы обеспечения надежности интегральных микросхем в контексте увеличения требований к стабильности функционирования современных электронных устройств в лесной отрасли.

**Ключевые слова:** интегральные микросхемы, радиоэлектронные системы, надежность, безотказность, ремонтпригодность, вероятность безотказной работы, интенсивность отказов, коэффициент готовности.

### **Введение**

Стремительный прогресс в сфере технологических разработок повышает стандарты надежности для электронных составляющих. Интегральные микросхемы занимают центральное место среди компонентов современных устройств, обеспечивая их основные функции. Эти элементы нашли широкое применение в разнообразных индустриях — от бытовой электроники и автомобильной промышленности до высокотехнологичных аэрокосмических систем и медицинского оборудования.

В современном лесном хозяйстве активно внедряются автоматизированные системы управления, мониторинга и контроля, которые опираются на электронные компоненты, включая интегральные микросхемы (ИМС). Бесперебойная работа этих систем критически важна для эффективного решения широкого спектра задач, таких как:

- Мониторинг лесных пожаров: системы раннего обнаружения и мониторинга лесных пожаров используют датчики, камеры и передатчики, работа которых зависит от надежных ИМС. Отказ электронных компонентов в такой системе может привести к несвоевременному обнаружению пожара и, как следствие, к значительным экономическим и экологическим потерям.

- Автоматизированное управление лесозаготовками: современная лесозаготовительная техника оснащена сложными электронными системами управления, обеспечивающими оптимальное использование ресурсов и снижение негативного воздействия на окружающую среду. Надежность ИМС в этих системах напрямую влияет на производительность и безопасность лесозаготовок.

Инвентаризация и учет лесных ресурсов: для точного учета лесных ресурсов используются беспилотные летательные аппараты (БПЛА) и системы дистанционного зондирования, оснащенные электронными компонентами. Отказы ИМС в этих системах могут привести к ошибкам в данных о запасах древесины и другим важным показателям.

Таким образом, обеспечение надежности интегральных микросхем, используемых в электронных системах лесного хозяйства, является актуальной и важной задачей, решение которой способствует повышению эффективности, безопасности и экологической устойчивости лесохозяйственной деятельности.

Интегральные микросхемы считаются надежными, когда они способны стабильно функционировать с сохранением технических характеристик в пределах установленных норм. Это комплексное свойство, которое определяется тремя ключевыми аспектами: способностью устройства корректно выполнять предназначенные задачи, периодом времени, в течение которого обеспечивается безотказная работа, и совокупностью внешних факторов, воздействующих на микросхему во время её использования.

Для измерения и характеристики уровня надежности микросхем используются три взаимосвязанных технических параметра: соответствие компонента всем спецификациям (исправность), способность выполнять заданные функции в допустимых пределах (работоспособность) и статистика нарушений функционирования (отказы).

Интегральная микросхема считается исправной, когда все её технические характеристики и параметры функционирования полностью соответствуют спецификациям и нормативам, зафиксированным в официальной технической документации производителя.

Работоспособность интегральной микросхемы заключается в её способности эффективно выполнять заданные функции, оставаясь в пределах установленных технических параметров.

Нарушение функциональности интегральной микросхемы, приводящее к невозможности корректного выполнения заложенных операций, называется отказом. Это явление может проявляться двумя способами: либо как мгновенное прекращение работы компонента, либо как поэтапное ухудшение характеристик до неприемлемого уровня.

Современный подход к анализу надежности базируется на понимании непредсказуемой природы выхода компонентов из строя. В основе методологии исследования этих явлений лежит использование математического аппарата, включающего инструменты вероятностного моделирования и статистического анализа данных для прогнозирования возможных сбоев в работе устройств.

Применение вероятностных методов позволяет обнаружить и описать устойчивые статистические модели, характеризующие частоту и обстоятельства отказов интегральных микросхем. При этом каждая категория неисправностей обладает уникальными характеристиками возникновения, что требует применения соответствующих математических моделей и специальных методов анализа для их корректного изучения.

Временной параметр представляет собой один из ключевых факторов в определении степени надежности интегральных микросхем. Длительность безотказной работы служит фундаментальным показателем качества и стабильности электронных компонентов.

Каждый экземпляр интегральной микросхемы обладает индивидуальным периодом стабильного функционирования, что объясняется неизбежными вариациями и нюансами технологического процесса их изготовления.

Существующие производственные технологии имеют фундаментальные ограничения, не позволяющие достичь абсолютной идентичности в изготовлении интегральных микросхем. Неизбежные отклонения в составе и структуре используемых материалов, а также микроскопические различия в условиях технологических операций становятся причиной разной продолжительности функционирования компонентов. В результате невозможно точно предсказать, когда конкретная микросхема выйдет из строя — этот процесс подчиняется законам вероятности независимо от того, находится ли устройство в активном режиме работы или на хранении.

Анализ и прогнозирование надежности интегральных микросхем базируется на статистических инструментах, позволяющих формализовать непредсказуемые события, включая различные виды отказов. Исследователи и инженеры используют целый спектр математических моделей вероятностного характера: от гипергеометрического и биномиального распределений до более сложных формул Пуассона, экспоненциальных функций, моделей Вейбулла и классического нормального распределения. Выбор конкретной математической модели зависит от специфики изучаемых сбоев и особенностей среды, в которой функционируют микросхемы, поскольку каждый тип распределения эффективен для описания определенных сценариев отказов.

Важно понимать, что характеристики надежности, определенные для интегральных микросхем, имеют значимость исключительно в рамках строго определенных эксплуатационных сценариев. Показатели долговечности и безотказности непосредственно зависят от комбинации окружающих условий, включая температурные режимы, влажность, электромагнитные поля, а также от особенностей применения устройства и режимов его функционирования.

Надежность электронных устройств характеризуется тремя ключевыми параметрами: способностью функционировать без сбоев в течение установленного периода (безотказность), возможностью сохранять работоспособное состояние до предельного износа при условии проведения

регулярного обслуживания (долговечность), а также легкостью выявления и устранения возникающих неисправностей (ремонтпригодность). В зависимости от возможности восстановления технические изделия подразделяются на две категории. Примечательно, что большинство компонентов микроэлектроники не подлежат ремонту после выпуска, хотя некоторые из них все же предусматривают возможность частичного восстановления функциональности через замену отдельных элементов, но только на финальных стадиях производственного процесса.

Способность электронного компонента поддерживать свои технические характеристики и функциональные возможности неизменными в процессе хранения и транспортировки, а также сохранять полную готовность к эксплуатации после завершения этих этапов, определяется как сохраняемость.

Для изделий, поддающихся ремонту и восстановлению, характерно наличие всего комплекса свойств надежности. Однако в случае с интегральными микросхемами, которые преимущественно не подлежат восстановлению, применимы только три характеристики, исключая ремонтпригодность. Особенностью ИМС является то, что их безотказность фактически неотделима от долговечности — возникновение первой же неисправности одновременно означает как нарушение безотказной работы, так и завершение жизненного цикла компонента.

Следовательно, при оценке надежности интегральных микросхем и больших интегральных схем решающую роль играют два фундаментальных параметра: способность функционировать без сбоев на протяжении заданного периода и устойчивость технических характеристик при длительном хранении и транспортировке.

Развитие и улучшение методологии оценки надежности интегральных микросхем осуществляется с использованием комплексного, системного анализа всех аспектов проблемы. Особое значение в этом процессе приобретают методы, основанные на сочетании физических моделей с вероятностно-статистическим анализом, а также внедрение эффективных систем контроля качества в производственном цикле. Современная теория надежности представляет собой многогранную дисциплину, которая объединяет как теоретические инструменты

для проектного расчета параметров надежности, так и практические методики для проведения экспериментальных испытаний, и формирования долгосрочных прогнозов работоспособности компонентов.

### **1. Индивидуальные показатели безотказности радиоэлектронных систем**

В соответствии с государственным стандартом ГОСТ 27.002-83, для оценки надежности технических устройств используется набор из шести ключевых количественных параметров: статистическая вероятность того, что устройство будет функционировать без сбоев в течение заданного периода времени  $P(t)$ ; наработка до отказа с заданным уровнем вероятности  $T_\gamma$ ; частота возникновения отказов в определенный момент эксплуатации  $\lambda(t)$ ; усредненное время работы до возникновения первой неисправности  $T_{ср}$ ; среднее время между последовательными отказами для восстанавливаемых систем  $T_0$ ; показатель, характеризующий интенсивность потока возникающих неисправностей  $V(t)$ .

Первые четыре показателя применяются при анализе надежности устройств, не подлежащих восстановлению после отказа, тогда как два последних используются специфически для оценки электронных систем, которые могут быть отремонтированы. Существуют отдельные ситуации, когда эти показатели могут пересекаться – например, при изучении работы восстанавливаемого устройства только до момента его первого отказа. Однако в большинстве случаев математические модели для описания надежности ремонтируемых и неремонтируемых электронных изделий существенно различаются. В следующих разделах подробно рассмотрим каждый из этих ключевых показателей и проанализируем их характеристики.

Параметр  $P(t)$  представляет собой статистическую меру, которая показывает, с какой вероятностью электронное устройство сохранит работоспособность на протяжении определенного временного интервала от начала эксплуатации до момента времени  $t$ :

$$P(t) = P(\theta \geq t) \quad (1.1)$$

где  $\theta$  — случайная величина, отражающую время функционирования устройства до момента выхода из строя. Данная функция характеризуется двумя ключевыми свойствами: в начальный момент эксплуатации ( $t=0$ ) вероятность

безотказной работы равна единице, что означает полную исправность нового устройства; с течением бесконечно большого времени ( $t \rightarrow \infty$ ), эта вероятность стремится к нулю, указывая на неизбежность возникновения отказа при длительной эксплуатации.

Характерная форма графика функции  $P(t)$ , который называют "кривой убыли" изделий, визуальна представлена на иллюстрации 1. Эта кривая наглядно демонстрирует, как с течением времени происходит постепенное снижение вероятности сохранения работоспособности электронных компонентов.

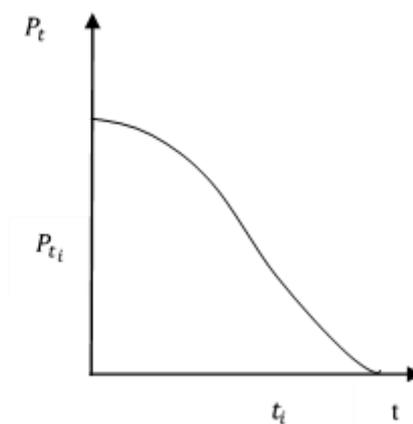


Рисунок 1. Кривая убыли изделия

Значение функции  $P(t_i)$  в конкретный момент времени имеет важную практическую интерпретацию — оно показывает, какой процент от общего количества изделий сохраняет работоспособность к указанному моменту ( $t_i$ ). Это составляет основной практический смысл функции  $P(t)$ . Наряду с вероятностным определением  $\bar{P}(t)$  используется и статистическое определение вероятности безотказной работы:

$$\bar{P}(t) = \frac{N(t)}{N_0} = 1 - \frac{n(t)}{N_0} \quad (1.2)$$

где  $N_0$  — первоначальное количество устройств, подвергнутых испытаниям;  $N(t)$  представляет число устройств, сохранивших работоспособность к моменту времени  $t$ ,  $n(t)$  — указывает на количество устройств, вышедших из строя за период от начала тестирования до момента  $t$ . Примечательно, что при значительном увеличении размера испытываемой партии  $N_0 \rightarrow \infty$  результаты,

полученные с использованием статистического подхода (1.1), становятся эквивалентными результатам, полученным с помощью теоретической вероятностной модели (1.2).

Для лучшего понимания практического применения вероятности безотказной работы рассмотрим пример с системой видеонаблюдения для мониторинга лесных пожаров. Предположим, у нас есть система видеонаблюдения для раннего обнаружения лесных пожаров в лесном массиве. Эта система состоит из камер, оснащенных интегральными микросхемами (ИМС) для обработки и передачи видеосигнала.

Провели испытания 100 таких камер в условиях, имитирующих реальную эксплуатацию в лесу (температура, влажность, вибрация и т.д.). Через шесть месяцев работы было зафиксировано 10 отказов ИМС (выход из строя, некорректные показания и т.п.). Рассчитаем вероятность безотказной работы.

$$P(t) = \frac{N(t)}{N_0} = \frac{(100 - 10)}{100} = \frac{90}{100} = 0.9 \quad (1.3)$$

Вероятность безотказной работы ИМС в камерах системы видеонаблюдения в течение 6 месяцев составляет 0.9 или 90%. Это означает, что из 100 таких камер в среднем 90 проработают без сбоев в течение этого периода.

Функцию вероятности безотказной работы можно применять не только с нулевого момента времени, но и для любого произвольного периода эксплуатации  $(t_0, t)$  что на практике соответствует работе радиоизделия еще до момента времени  $t_0$ . Для этого используется понятие условной вероятности безотказной работы  $P(t_0, t)$  которая показывает шансы устройства продолжать функционировать до момента  $t$  (начало наработки) при условии, что в начальной точке выбранного интервала  $t_0$  оно было полностью исправно. Эта концепция особенно важна при оценке надежности оборудования, которое уже находилось в эксплуатации определенное время.

$$P(t_0, t) = p\{\theta \geq t_0, \theta \leq t\} = \frac{P(t)}{P(t_0)} \quad (1.4)$$

где  $P(t_0)$  и  $P(t)$  вероятности безотказной работы на интервалах времени  $(0, t_0)$  и  $(0, t)$  соответственно.

Статистически условная вероятность безотказной работы определяется следующим образом:

$$\bar{P}(t) = \frac{N(t)}{N(t_0)} \quad (1.5)$$

В литературе по надежности, помимо основной характеристики  $P(t)$  встречаются и другие вспомогательные функции. В их число входит вероятность отказа  $Q(t)$ , которая показывает, с какой вероятностью устройство выйдет из строя в течение заданного периода от начала эксплуатации до момента  $t$ .

Другим важным показателем является производная функции  $Q(t)$  по времени обозначаемая как  $\varphi(t)$  представляющая собой плотность распределения времени до наступления отказа.  $Q(t)$  - представляет собой количественную меру, показывающую вероятность того, что электронное устройство не сможет сохранить работоспособность и выйдет из строя в течение временного промежутка от начального момента эксплуатации до точки  $t$ .

$$Q(t) = p\{\theta < t\} \quad (1.6)$$

Выражение  $Q(t) = p\{\theta < t\}$  означает, что вероятность отказа  $Q(t)$  равна вероятности того, что случайная величина  $\theta$  будет меньше заданного времени  $t$ . Другими словами, это вероятность того, что устройство откажет до момента времени  $t$ .

Функции вероятности безотказной работы  $P(t)$  и  $Q(t)$  представляют собой взаимоисключающие альтернативы – в любой момент времени устройство может находиться только в одном из двух состояний: либо оно работает, либо вышло из строя. Поскольку третьего варианта не существует, сумма этих вероятностей всегда составляет единицу, что выражается математическим соотношением:

$$P(t) + Q(t) = 1 \quad (1.7)$$

С практической точки зрения, при проведении испытаний, вероятность отказа рассчитывается как отношение количества вышедших из строя устройств  $n(t)$  к полному количеству устройств  $N_0$ , которые изначально были поставлены на тестирование.

$$\bar{Q}(t) = \frac{n(t)}{N_0} \quad (1.8)$$

Плотность распределения времени до отказа, обозначаемая как  $\varphi(t) = dQ(t)/dt$  или с учетом (7)  $\varphi(t) = -dF(t)/dt$ , т.е.  $\varphi(t)$  представляет математическую производную функции вероятности отказа по времени. Этот показатель фактически отражает скорость, с которой снижается надежность устройства с течением времени. В практическом смысле, если мы рассматриваем очень малый временной интервал  $(t, t+dt)$  то произведение  $\varphi(t)dt$  дает нам вероятность того, что устройство выйдет из строя именно в этом интервале, при условии, что оно успешно функционировало до момента  $t$ . При проведении реальных испытаний данный показатель вычисляется определенным статистическим методом, где  $\Delta n(t)$  – представляет собой количество устройств, вышедших из строя в течение определенного короткого интервала времени  $\Delta t$ . Деление этого числа на произведение общего количества испытуемых устройств и длительности временного интервала дает оценку плотности распределения отказов.

$$\bar{\varphi}(t) = \frac{\Delta n(t)}{N_0 \Delta t} \quad (1.9)$$

где  $\Delta n(t)$  – число отказов на интервале  $\Delta t$

Гамма-процентная наработка до отказа  $T_\gamma$  представляет собой временной интервал эксплуатации технического устройства, на протяжении которого оно сохранит свою работоспособность с заданной степенью уверенности  $\gamma$ , выраженной в процентах.

$$P_\gamma = 1 - \int_0^{T_\gamma} \varphi(t) dt \quad (1.10)$$

где  $P_\gamma$  - вероятность безотказной работы, соответствующая заданному уровню надежности;

$T_\gamma$  - гамма-процентная наработка до отказа, то есть время, в течение которого устройство будет работать безотказно;

$\varphi(t)$  - плотность распределения наработки до отказа (также называемая частотой отказов).

$\int_0^{T_\gamma} \varphi(t)dt$  - интеграл от плотности распределения, представляющий вероятность отказа за время  $T_\gamma$ .

Для лучшего понимания практического применения гамма-процентной наработки до отказа рассмотрим пример с системой видеонаблюдения для мониторинга лесных пожаров. Предположим, у нас есть система видеонаблюдения для раннего обнаружения лесных пожаров в лесном массиве. Эта система состоит из камер, оснащенных интегральными микросхемами (ИМС) для обработки и передачи видеосигнала. Необходимо определить гамма-процентную наработку до отказа ( $T_\gamma$ ) для этих камер с уровнем надежности  $\gamma = 90\%$ . Это означает, что мы хотим знать, какое время работы гарантирует, что 90% камер не выйдут из строя.

Используем формулу (1.10)

Предположим, что плотность распределения времени до отказа  $\varphi(t)$  имеет экспоненциальную форму с параметром  $\lambda$ , равным 0.0001 отказов в час. Это означает, что вероятность отказа устройства в любой момент времени  $t$  описывается формулой:

$$\varphi(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad (1.11)$$

При заданном параметре  $\lambda$ , равном 0.0001 отказов в час, функция плотности распределения времени до отказа  $\varphi(t)$  принимает вид:

$$\varphi(t) = 0.001^{-0.001t} \quad (1.12)$$

Теперь подставим плотность распределения  $\varphi(t)$  в интеграл:

$$P_\gamma = 1 - \int_0^{T_\gamma} 0.001^{-0.001t} dt \quad (1.13)$$

Давайте вычислим интеграл функции  $e^{-\lambda t}$  и перепишем его в более понятном виде:

$$\int e^{-\lambda t} dt = -\frac{1}{\lambda} e^{-\lambda t} + C \quad (1.14)$$

Решение этого интеграла дает нам:

$$\int_0^{T_\gamma} 0.001^{-0.001t} dt = [-e^{-0.001t}]_0^{T_\gamma} = -e^{-0.001T_\gamma} + 1 \quad (1.15)$$

Теперь подставим результат интеграла обратно в выражение для  $P_\gamma$ :

$$P_\gamma = 1 - (-e^{-0.001T_\gamma} + 1) = e^{-0.001T_\gamma} \quad (1.16)$$

Чтобы найти гамма-процентную наработку до отказа  $T_\gamma$  для уровня надежности  $\gamma = 0.9$ , мы приравниваем к  $P_\gamma$  0.9:

$$0.9 = e^{-0.001T_\gamma} \quad (1.17)$$

Теперь применим натуральный логарифм к обеим сторонам уравнения:

$$\ln(0.9) = -0.0001T_\gamma \quad (1.18)$$

$$T_\gamma = \frac{\ln(0.9)}{0.0001} \quad (1.19)$$

Вычисляем значение натурального логарифма:  $\ln(0.9) \approx -0.10536$

$$T_\gamma = \frac{-0.10536}{0.0001} = \frac{0.10536}{0.0001} = 1053.6 \quad (1.20)$$

Таким образом, гамма-процентная наработка до отказа ( $T_\gamma$ ) для системы видеонаблюдения с уровнем надежности 90% составляет примерно 1053.6 часа. Это означает, что 90% камер системы будут функционировать без сбоев в течение этого времени.

При практическом проведении испытаний гамма-процентная наработка определяется через статистическую оценку.  $\overline{P}(T_\gamma) = P_\gamma = N(T_\gamma)/N_0$  показывает, что вероятность безотказной работы на момент времени  $T_\gamma$  рассчитывается как отношение числа устройств  $N(T_\gamma)$  сохранивших работоспособность к этому моменту, к общему количеству устройств  $N_0$ , первоначально поставленных на испытания.

$$\overline{P}(T_\gamma) = P_\gamma = \frac{N(T_\gamma)}{N_0} \quad (1.21)$$

где  $\overline{P}(T_\gamma)$  - статистическая оценка вероятности безотказной работы в течение времени  $T_\gamma$ ;

$P_\gamma$  - заданная вероятность безотказной работы, соответствующая уровню надежности;

$N(T_\gamma)$  - количество устройств, сохранивших работоспособность к моменту времени  $T_\gamma$ ;

$N_0$  - общее количество устройств, изначально поставленных на испытания.

Интенсивность отказов  $\lambda(t)$  это условная вероятность возникновения отказа устройства в конкретный момент времени  $t$  при условии, что до этого момента устройство функционировало без сбоев. Этот показатель отражает «скорость» износа или старения компонента и рассчитывается как отношение.

$$\lambda(t) = \frac{dQ(t)}{dt} \cdot \frac{1}{(1 - Q(t))} = \frac{\varphi(t)}{P(t)} \quad (1.22)$$

Давайте рассмотрим пример расчета интенсивности отказов  $\lambda(t)$  для системы видеонаблюдения, используемой для мониторинга лесных пожаров. Предположим, что у нас есть 100 камер, оснащенных интегральными микросхемами (ИМС). В ходе испытаний в течение первых шести месяцев работы было зафиксировано 10 отказов этих камер.

Чтобы рассчитать интенсивность отказов, нам нужно проанализировать, как количество отказов изменяется с течением времени. В нашем случае за шесть месяцев наблюдений у 100 камер было зафиксировано 10 отказов, что означает, что примерно 1.67% камер вышли из строя за этот период. Для более детального анализа мы можем определить вероятность  $Q(t)$ , которая представляет собой долю камер, вышедших из строя к моменту времени  $t$ , и вероятность  $P(t)$ , показывающую, какая часть камер продолжает функционировать без сбоев.

Вероятность отказа  $Q(t)$  через 6 месяцев составит:

$$Q(6) = \frac{10}{100} = 0.1 \quad (1.23)$$

Следовательно, вероятность того, что камеры функционируют без сбоев, равна:

$$P(6) = 1 - Q(6) = 1 - 0.1 = 0.9 \quad (1.24)$$

Если предположить, что отказы распределены равномерно во времени, график изменения количества отказов даст представление о том, как интенсивность отказов меняется со временем. Мы можем использовать данное уравнение для расчета интенсивности отказов в этой системе. Чтобы найти производную вероятности отказа по времени  $\frac{dQ(t)}{dt}$  мы можем считать, что на каждом этапе времени  $t$ , когда происходит отказ, интенсивность будет постоянной и равна среднему значению.

$$\frac{dQ(t)}{dt} \approx \frac{\text{количество отказов}}{\text{общее количество камер} * \text{время}} = \frac{10}{100 * 6} = \frac{10}{600} \approx 0.01667 \quad (1.25)$$

Теперь мы можем подставить рассчитанные значения для вычисления интенсивности отказов  $\lambda(t)$ :

$$\lambda(6) = \frac{0.01667}{0.9} \approx 0.01852 \quad (1.26)$$

Это значение  $\lambda(t)$  которое представляет собой интенсивность отказов, указывает на то, что в данный момент времени средняя вероятность отказа одной камеры составляет примерно 1.85% в месяц. Таким образом, проведенный расчет дает возможность оценить надежность системы видеонаблюдения и позволяет планировать техническое обслуживание или замену компонентов при необходимости.

Произведение интенсивности отказов  $\lambda(t)$  на малый промежуток времени  $dt$  выражает вероятность выхода радиоприемника из строя в течение этого короткого интервала  $(t, t+dt)$  но только при выполнении важного предварительного условия — устройство должно быть полностью работоспособным в начальной точке рассматриваемого промежутка.

При статистическом определении интенсивности отказов  $\bar{\lambda}(t)$  учитывается отношение количества неисправных устройств в единицу времени к среднему количеству исправных устройств, оставшихся на момент  $t$ . Это позволяет оценить текущую «скорость» выхода из строя компонентов в процессе их эксплуатации:

$$\bar{\lambda}(t) = \frac{n(t + \Delta t) - n(t)}{N(t) \Delta t} = \frac{\Delta n}{N(t) \Delta t} \quad (1.27)$$

Интенсивность отказов, также известная как  $\lambda$ -характеристика или "кривая жизни изделия", представляет собой наглядное отображение изменения частоты выхода из строя электронных устройств на разных этапах их существования. Практический опыт использования радиоэлектронных систем (РЭС) показывает, что данная характеристика имеет ярко выраженную U-образную форму, состоящую из трех четко различимых участков

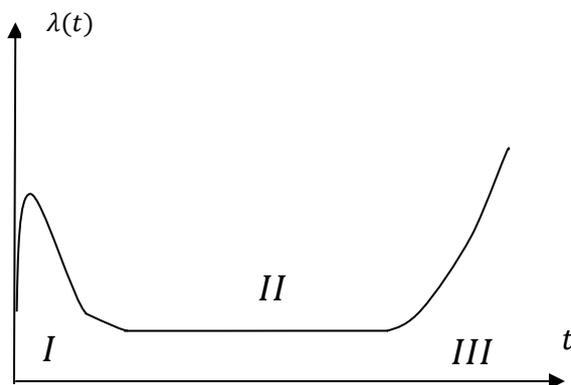


Рисунок 2. Изменение интенсивности отказов системы

I – наблюдается повышенное количество сбоев, вызванных производственными недочетами и наличием скрытых дефектов в компонентах. По мере выявления и замены проблемных элементов частота отказов постепенно снижается. Эта фаза приработки обычно длится от нескольких десятков до нескольких сотен часов, причем её продолжительность сокращается в случаях, когда используются элементы с более однородными характеристиками.

II – характеризуется стабильно низким уровнем отказов, который практически не меняется с течением времени. Это стадия нормальной эксплуатации устройства, которая может продолжаться несколько тысяч часов и фактически определяет полезный срок службы аппаратуры. В этот период поведение системы описывается экспоненциальным законом распределения вероятности безотказной работы.

III – отражает процессы износа и старения компонентов, что проявляется в существенном увеличении частоты отказов. Когда система вступает в этот этап, её дальнейшая эксплуатация становится нецелесообразной из-за резкого снижения надежности.

Средняя наработка до первого отказа  $T_{cp}$  это статистический показатель надежности, отражающий ожидаемое время безотказной работы радиоизделия с момента начала эксплуатации до возникновения первой неисправности. Фактически данный параметр представляет собой усредненное значение продолжительности корректного функционирования устройства, рассчитанное как математическое ожидание временного интервала до наступления первого сбоя

$$T_{cp} = \int_0^{\infty} t\varphi(t)dt \quad (1.28)$$

где  $t$  - время до отказа (случайная величина);

$\varphi(t)$  - плотность распределения вероятности отказа в момент времени  $t$ ;

Предположим, что у нас есть лесной комплекс, оснащенный 100 лесозаготовительными машинами, каждая из которых содержит интегральные микросхемы (ИМС). Мы хотим рассчитать среднюю наработку до первого отказа для этих ИМС.

Предположим, что плотность распределения времени до отказа имеет экспоненциальную форму с параметром  $\lambda = 10^{-9}$  (отказов в час), что соответствует высоконадежным ИМС

$$\varphi(t) = \lambda * e^{-\lambda t} = 10^{-9} * e^{-10^{-9}t} \quad (1.29)$$

Средняя наработка до первого отказа  $T_{cp}$  рассчитывается по формуле:

$$T_{cp} = \int_0^{\infty} 10^{-9} * e^{-10^{-9}t} dt \quad (1.30)$$

Используя интегрирование по частям или известную формулу для интеграла от  $t * e^{-\lambda t}$  получаем:

$$T_{cp} = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{10^{-9}} = 10^9 \quad (1.31)$$

Таким образом, средняя наработка до первого отказа для интегральных микросхем в этом комплексе составляет  $10^9$ , что соответствует примерно 114155 годам.

Вид функции  $\varphi(t)$  представляющая собой плотность распределения вероятности отказа, принимает различные математические формы в зависимости от природы исследуемой технической системы или изделия. С точки зрения статистического анализа, среднюю наработку до первого отказа  $\bar{T}_{cp}$  вычисляют путем нахождения среднего арифметического фактических значений времени безотказной работы исследуемых образцов. Каждое такое время представляет собой конкретную реализацию случайной величины  $\theta$  отражающей продолжительность функционирования изделия от начала эксплуатации до момента возникновения первого отказа:

$$\bar{T}_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^{N_0} \theta_i}{N_0} \quad (1.32)$$

где  $\theta_i$ -время наработки  $i$ -го изделия до первого отказа;  
 $N_0$  – число исправных изделий, поставленных на испытания.

Параметр  $T_0$  известный как средняя наработка на отказ, представляет собой усредненную величину временных промежутков между последовательно возникающими отказами технической системы. Иными словами, это ожидаемое (среднее) время работы восстанавливаемого изделия между двумя соседними сбоями в его функционировании, рассчитанное с использованием методов теории вероятностей:

$$T_0 = \int_0^{\infty} dFk(t) \quad (1.33)$$

где  $Fk(t)$  — представляет собой математическое выражение, которое описывает распределение вероятностей для продолжительности безотказной работы  $\theta_k$  между последовательными сбоями оборудования от (k-1) до k-го отказа. при эксплуатации изделия фиксируются все временные интервалы, когда устройство функционировало нормально между последовательными отказами. Затем все эти зафиксированные промежутки исправной работы суммируются и делятся на их количество, что дает среднее арифметическое значение - статистическую наработку на отказ:

$$\bar{T}_0 = \frac{\sum_{i=1}^m \theta_{k,i}}{m} \quad (1.34)$$

где  $m$  — означает количество отказов, зафиксированных в процессе испытаний технических объектов. В данном контексте предполагается, что при выходе из строя какого-либо компонента (например, радиоэлементов) он либо заменяется новым, либо восстанавливается до работоспособного состояния.

Приведем пример расчета средней наработки на отказ для интегральных микросхем:

Предположим, что у нас есть лесной комплекс, оснащенный 100 лесозаготовительными машинами, каждая из которых содержит интегральные микросхемы (ИМС). Мы хотим рассчитать среднюю наработку на отказ для этих ИМС. Предположим, что за период испытаний было зафиксировано 5 отказов с временными интервалами между ними:

$\theta_1 = 1000$  часов (время работы до первого отказа)

$\theta_1 = 1200$  часов (время между первым и вторым отказами)

$\theta_1 = 900$  часов (время между вторым и третьим отказами)

$\theta_1 = 1100$  часов (время между третьим и четвертым отказами)

$\theta_1 = 1300$  часов (время между четвертым и пятым отказами)

Расчет средней наработки на отказ:

$$\bar{T}_0 = \frac{1000 + 1200 + 900 + 1100 + 1300}{5} = 5100 \quad (1.35)$$

Таким образом, средняя наработка на отказ для интегральных микросхем в этом комплексе составляет 5100 часов.

Параметр потока отказов  $V(t)$  является важным индикатором надежности для систем радиоэлектронного оборудования, которые поддаются восстановлению после сбоев. Данный показатель характеризует частоту возникновения отказов в определенный момент эксплуатации  $t$  и определяется следующим образом: если взять очень малый временной интервал  $\Delta t$  и рассчитать вероятность того, что за этот промежуток произойдет один или более отказов, а затем разделить эту вероятность на длительность самого интервала  $\Delta t$  то при стремлении длительности интервала к нулю полученное предельное значение и будет представлять собой параметр потока отказов  $V(t)$ :

$$V(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \left( \frac{p\{t, t + \Delta t\}}{\Delta t} \right) \quad (1.36)$$

С точки зрения статистики параметр потока отказов  $V(t)$  известный также как средняя частота отказов, представляет собой количественную меру интенсивности возникновения неисправностей в группе испытываемых изделий. Чтобы рассчитать этот показатель, подсчитывают, сколько поломок  $\Delta n'$  произошло за определенный промежуток времени, а затем делят это число на общее количество тестируемых устройств  $N_0$ . Важно отметить, что при подсчете учитываются абсолютно все случаи выхода изделий из строя — не только первичные отказы, но и последующие неисправности тех элементов, которые были установлены взамен вышедших из строя. Таким образом, этот параметр отражает полную картину надежности системы с учетом всех циклов замены и восстановления компонентов.

$$\bar{V}(t) = \Delta \frac{n'}{N_0 \Delta t} \quad (1.37)$$

Стоит отметить, что в сравнении с выражением (1.12) выполняется условие  $\Delta n' \geq \Delta n$ , Это связано с тем, что для ремонтируемой радиоэлектронной системы (РЭС) общее количество отказов может увеличиваться, поскольку после восстановления или замены неисправных элементов система продолжает функционировать, и новые отказы добавляются к уже зафиксированным.

Рассмотрим пример. Предположим, что у нас есть лесной комплекс, оснащенный 100 лесозаготовительными машинами, каждая из которых содержит интегральные микросхемы (ИМС). Мы хотим рассчитать параметр потока отказов для этих ИМС.

Предположим, что за определенный промежуток времени  $\Delta t = 100$  часов было зафиксировано  $\Delta n'$  отказов среди 100 машин.

Параметр потока отказов  $\bar{V}(t)$  рассчитывается по формуле:  $\bar{V}(t) = \Delta n' / (N_0 \Delta t)$

где  $N_0 = 100$  общее количество машин  $\Delta n'$  - количество отказов,  $\Delta t$  - временной интервал.

$$\bar{V}(t) = \frac{5}{100 * 100} = 0,005 \text{ отказов в час} \quad (1.38)$$

Наиболее значимым понятием в теории надежности является простейший поток отказов. Простейший поток отказов — это такой поток, который удовлетворяет условиям стационарности, отсутствия последействия и порядочности. Ординарный поток событий имеет место, когда вероятность появления двух и более отказов в единичном интервале времени пренебрежимо мала по сравнению с вероятностью появления одного отказа. Стационарный поток событий характеризуется постоянным относительным числом отказов в единичном интервале времени.

## 2. Индивидуальные показатели ремонтпригодности

В теории надежности выделяются два ключевых параметра, характеризующих ремонтпригодность технических систем: первый — вероятность восстановления показывающая шансы на успешное завершение ремонта в течение заданного промежутка времени, и второй — среднее время восстановления  $P_B$  и второй — среднее время восстановления  $T_B$ , отражающее типичную продолжительность ремонтных работ. Для полного понимания этих концепций необходимо рассмотреть их как с точки зрения теории вероятностей, так и с позиции статистической оценки на основе практических данных.

Вероятность восстановления в заданное время  $P_B(\tau)$  представляет собой математическую оценку того, что ремонт устройства удастся завершить раньше,

чем истечет установленный срок  $t$ . Иными словами, это показатель, выражающий шансы на то, что фактическая продолжительность восстановительных работ  $\xi$  не превысит заранее определенный временной лимит.

$$P_B(\tau) = p\{\xi \leq \tau\} = F(\tau) \quad (2.1)$$

Среднее время восстановления  $T_B$  является статистическим показателем, характеризующим ожидаемую продолжительность ремонтных работ до полного возвращения изделия в работоспособное состояние. Математически этот параметр определяется интегралом:

$$T_B = \int_0^{\infty} \tau \varphi(\tau) d\tau \quad (2.2)$$

где  $\tau$  - представляет возможные значения времени восстановления,  $\varphi(\tau)$  плотность распределения вероятности этого времени. Данный интеграл фактически вычисляет среднее значение времени восстановления с учетом вероятностного характера продолжительности ремонтных работ.

### 3. Комплексные показатели надежности радиоэлектронных средств

В современной практике оценки надежности радиоэлектронных систем применяются три основных комплексных показателя. К ним относятся: коэффициент готовности  $K_T$  отражающий вероятность нахождения системы в работоспособном состоянии в произвольный момент времени; коэффициент технического использования  $K_{ТИ}$  характеризующий эффективность использования системы с учетом простоев на техническое обслуживание; и коэффициент оперативной готовности  $K_{ор}$ , оценивающий способность системы включиться и безотказно функционировать в течение требуемого времени после периода хранения или ожидания.

Коэффициент готовности  $K_T$  представляет собой вероятностную характеристику, определяющую шансы обнаружить техническое устройство в исправном и функционирующем состоянии при случайной проверке в любой произвольно выбранный момент на протяжении установленного периода эксплуатации  $t_p$ . Этот показатель отражает долю времени, в течение которого

система сохраняет работоспособность относительно общей продолжительности её использования.

$$K_{\tau} = \frac{T_0}{T_0 + T_B} \quad (3.1)$$

где  $T_0$  - представляет среднюю наработку на отказ, определяемую согласно выражению, а  $T_B$  — среднее время восстановления системы после сбоя.

С практической точки зрения, при проведении испытаний или анализе данных эксплуатации, этот коэффициент можно рассчитать статистически:

$$K_{\tau} = \frac{t_{\text{раб}}}{t_{\text{раб}} + t_{\text{рем}}} \quad (3.2)$$

где  $t_{\text{раб}}$  это суммарное время фактического функционирования системы в исправном состоянии., а  $t_{\text{рем}}$  общее время, затраченное на ремонтные и восстановительные работы. Таким образом, коэффициент готовности представляет собой долю времени, когда система способна выполнять свои функции относительно общего времени эксплуатации.

$K_p$  — это показатель, определяющий вероятность обнаружения технической системы в неработоспособном состоянии при случайной проверке в любой момент времени. Он рассчитывается как отношение среднего времени восстановления.  $T_B$  к сумме средней наработки на отказ  $T_0$  и среднего времени восстановления. Этот коэффициент отражает долю времени, в течение которого система находится в неработоспособном состоянии относительно общего времени её эксплуатации.

$$K_p = \frac{T_B}{T_0 + T_B} \quad (3.3)$$

Коэффициент простоя  $K_p$  и коэффициент готовности  $K_{\Pi}$  представляют собой взаимодополняющие характеристики, описывающие все возможные состояния системы в произвольный момент времени. Их сумма всегда равна единице  $K_p + K_{\Pi} = 1$ . что математически отражает фундаментальный принцип: в любой момент времени техническая система может находиться только в одном из двух состояний — либо она работоспособна, либо нет.

Коэффициент технического использования  $K_{\text{ТИ}}$  представляет собой показатель эффективности эксплуатации технической системы, учитывающий все виды временных затрат. Он рассчитывается как соотношение между ожидаемым

временем, когда изделие находится в полностью работоспособном состоянии, и общей продолжительностью эксплуатации, включающей не только время полезной работы и ремонта, но также и периоды, затраченные на профилактическое и плановое техническое обслуживание  $t_{обсл}$ . Этот коэффициент дает более полную картину реальной доступности технической системы, учитывая все виды простоев, включая регламентные работы:

$$K_{ти} = \frac{T_0}{T_0 + T_в + T_{обсл}} \quad (3.4)$$

где  $T_0$  - представляет среднюю наработку изделия на отказ (среднее время между сбоями),  $T_в$  — среднее время, затрачиваемое на восстановление работоспособности после отказа, а  $T_{обсл}$  - совокупное время, выделяемое на проведение всех видов технического обслуживания (профилактические осмотры, плановые регулировки, замена расходных материалов и т.д.). Таким образом, этот коэффициент показывает, какую долю от общего времени эксплуатации система фактически используется по назначению, учитывая все виды вынужденных и плановых простоев.

Коэффициент оперативной готовности  $K_{ор}$  вероятность того, что представляет собой вероятность того, что радиоэлектронное изделие будет исправным в произвольный момент времени и сможет успешно выполнить задачу, проработав заданный период времени  $t_p$ , начиная с этого момента.

Математически этот показатель выражается через вероятность выполнения задачи  $P(t_3)$ , которая определяется как произведение коэффициента готовности на вероятность безотказной работы изделия в течение времени  $t_p$

$$K_{ор} = P(t_3) = K_r P(t_p) \quad (3.5)$$

Здесь  $K_r$  - вероятность того, что изделие находится в работоспособном состоянии в произвольный момент времени;

$P(t_p)$  - вероятность того, что изделие сможет безотказно функционировать в течение заданного времени  $t_p$

### **Заключение**

В завершающем разделе исследования мы обобщаем ключевые результаты и рассматриваем будущие направления развития методологии оценки надежности и восстанавливаемости электронных систем, с особым акцентом на интегральные

микросхемы. Стабильность функционирования является определяющим критерием эффективности современных электронных устройств, особенно в таких секторах, как массовое производство бытовой техники, автомобильная промышленность и медицинская электроника.

Надежность является фундаментальной характеристикой технического объекта, отражающей его способность сохранять эксплуатационные свойства при различных внешних воздействиях и условиях. Она включает понятия исправности, работоспособности и отказа. Исправность означает соответствие изделия техническим требованиям, работоспособность — способность выполнять функции в допустимых параметрах, а отказ — нарушение нормального функционирования, приводящее к неспособности решать задачи.

Восстанавливаемость технических систем представляет собой существенный компонент общей концепции надежности, приобретая особую значимость для тех устройств, которые конструктивно предполагают возможность возвращения в работоспособное состояние после возникновения неисправности. При оценке качества восстанавливаемых изделий инженеры опираются на два основных параметра: шансы успешного завершения ремонтных работ в течение конкретного временного интервала (вероятность восстановления) и типичную продолжительность процесса восстановления функциональности устройства (среднее время восстановления).

Инженерная практика предлагает комплексный набор параметров для численной оценки устойчивости технических систем к отказам. Среди таких параметров важнейшее место занимают: статистический показатель шансов сохранения работоспособности на протяжении заданного периода (вероятность безотказной работы), частота возникновения сбоев на единицу времени (интенсивность отказов), ожидаемый период функционирования новой системы до наступления первой неисправности (средняя наработка до первого отказа) и среднее время между последовательными сбоями восстанавливаемой системы (средняя наработка на отказ). Данный инструментарий обеспечивает возможность объективного сравнения и оценки долговечности как изделий одноразового применения, так и устройств, подлежащих многократному ремонту и восстановлению.

Ключевым показателем, используемым для оценки надежности технических объектов, выступает вероятность безотказной работы — это вероятность того, что устройство не откажет в течение конкретного временного интервала. Интенсивность отказов, в свою очередь, отражает относительную вероятность возникновения сбоя в текущий момент времени при условии, что до этого момента система функционировала без сбоев. Эти два параметра дополняют друг друга: первый описывает общие шансы на сохранение работоспособности, второй — скорость уменьшения этих шансов в процессе эксплуатации.

Для целостной оценки надежности технических систем применяются не только отдельные параметры, но и интегральные характеристики, объединяющие различные аспекты надежности. К таким комплексным показателям относятся: коэффициент готовности, определяющий вероятность обнаружить устройство в работоспособном состоянии при внезапной проверке; коэффициент технического использования, отражающий долю полезного времени эксплуатации с учетом всех видов простоев (ремонтных, профилактических и обслуживающих); и коэффициент оперативной готовности, характеризующий способность системы не только быть исправной в произвольный момент, но и успешно выполнить запланированную задачу в течение требуемого периода времени.

Развитие методологии обеспечения надежности базируется на комплексном системном подходе, интегрирующем достижения физико-статистического моделирования с современными принципами управления качеством технических изделий. Методологический фундамент данной дисциплины составляют вероятностно-статистические методы, позволяющие формализовать процессы прогнозирования и оценки долговечности систем.

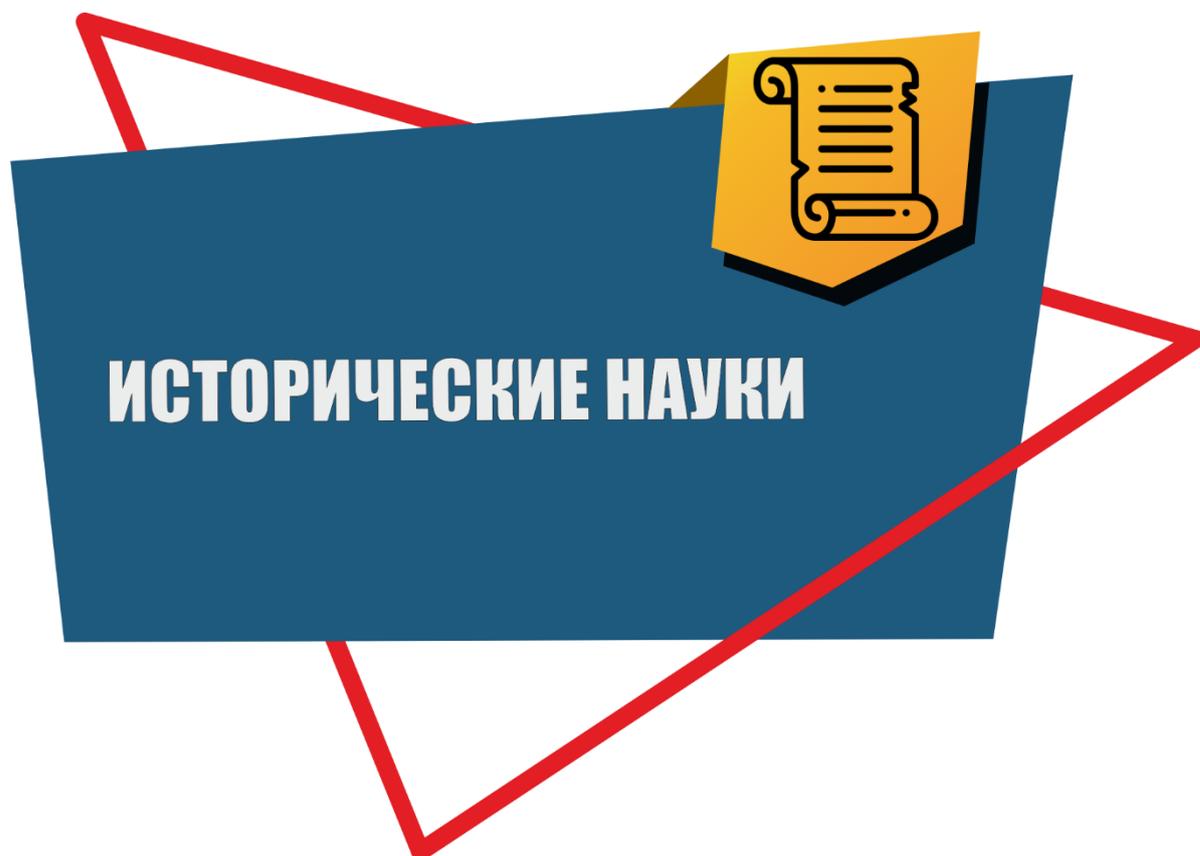
В контексте будущего технологического развития, повышение показателей стабильности работы электронных узлов становится критическим фактором, определяющим эффективность и эксплуатационный ресурс высокотехнологичных устройств. Достижение качественного прорыва в этой области требует непрерывного совершенствования как концептуальных основ теории надежности, так и прикладных методик измерения и улучшения безотказности, с фокусом на интегральные микросхемы и другие стратегически важные компоненты современной электронной техники.

Подводя итог, стабильность функционирования и возможность восстановления после сбоев представляют собой краеугольные камни, на которых строится весь процесс проектирования и последующего использования современных электронных систем. Прогресс в теоретических основах прогнозирования отказов и разработка инновационных подходов к количественной оценке безотказности будут определять дальнейшие достижения в создании высокопроизводительных технических устройств с увеличенным сроком службы, отвечающих растущим потребностям цифровой эпохи.

### **Список литературы**

1. Радиолокационные системы: учебник для вузов / П. А.Бакулев // М.: Радиотехника, 2007.-376 с.
2. Радиотехнические цепи и сигналы: учебное пособие для вузов по направлению "Радиотехника". / И. С. Гоноровский //-М., 2006. - 719 с.
3. Радиотехнические системы / В. П. Денисов, Т. В. Скворцова, Б. П. Дудко // Томск: ТГУСУР, 2006. - 253 с.
4. "Основы теории надежности: учебник и практикум для академического бакалавриата"/ С. П. Тимошенко., Б.М.Симонов., В.Н.Горшко//Юрайт, Москва, 2019.
5. "Надежность технических систем"/ В. Ю. Шишмарев //Юрайт, Москва, 2018.
6. "Основы теории надежности машин"/ Ю.В.Баженов//Инфра-М, 2019
7. Надежность радиоэлектронных средств/И.В.Тюрин//Учебное пособие для вузов по надежности радиоэлектронных средств

© Скворцова Е.И, Ягодкин А.С., 2025



## ИСТОРИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 94

## ГЛАВА 6

# СОВЕТСКИЕ СПОРТСМЕНЫ НА ФРОНТАХ ВЕЛИКОЙ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ВОЙНЫ.

**Анисимов В.Д.**

к.и.н., доцент

доцент, МИРЭА-Российский технологический университет

Москва, Россия

**Аннотация.** Тема истории Великой Отечественной войны традиционно остаётся одной из самых актуальных в современной исторической науке, особенно в год 80-летия Великой Победы. Цель данного исследования – вспомнить историю боевых подвигов советских бойцов-спортсменов, сохранить память о героях Великой Отечественной войны. Исследование базируется на описательно-повествовательном методе.

**Ключевые слова.** Великая Отечественная война, подвиг, героизм, разведчик, бойцы-спортсмены

С началом Великой отечественной войны на фронт ушли многие советские спортсмены и физкультурники. Их тренированность позволяла проводить им успешные операции в сложных условиях, выносить многочасовые бои с превосходящими силами противником.

23 января 1942 года у деревни Хлуднево совершили подвиг чекисты-лыжники из ОМСБОН НКВД. Деревню Хлуднево, что в Калужской области, советские войска освободили ещё в начале января 1942-го, но немцам всё-таки удалось вернуться на прежние позиции. Именно отсюда они планировали начать наступление в район города Сухиничи, чтобы деблокировать окружённую там группу гитлеровских войск генерала Вернера фон Гильза.

Отряд капитана Лазнюка совершал марш, двигались к деревне, где засели немцы. Приказ, полученный капитаном Лазнюком, был краток: «Атаковать деревню Н.». Совершив стремительный бросок в тридцать с лишним километров, лыжники подошли к большому раскинувшемуся в низине селу. За плечами были тяжелые вещевые мешки, а на поясе висело по несколько противотанковых гранат, не считая туго набитых подсумков



Герой Советского Союза **Л. ПАПЕРНИК**

и патронташей на груди. Лыжники были готовы с хода вступить в бой.

Лазнюк вызвал добровольцев в разведку. Из откликнувшихся он отобрал самых надежных: Лазаря Паперника, Михаила Соловьева, Евгения Дешина и Михаила Головаху. Через час разведчики вернулись, а еще через час раздалась команда: «В ружье!». Разведка установила, что в селе расположено свыше батальона немцев. Есть две минометных батареи, одна артиллерийская и три легких танка. 23 советским бойцам предстояло сражаться с 400 немцами. Атаковать было решено ночью. Вереница лыжников в белых маскировочных халатах подползла к окраине деревни. Разведчики Соловьев, Москаленко, Бойченко подползли снимать часовых. Они легли на лыжи, и, осторожно подталкиваясь руками, подползли вплотную. Стремительно скатываются в низину бойцы. Моментально сбрасывают лыжи и, выслушав указания, кому какой дом атаковать, врываются в село. Противотанковые гранаты летят в окна... По обезумевшим, выскакивающим из дверей и окон немцам бьют из автоматов и винтовок. Головаху прикладом сбивает немецкого офицера и выстрелом во нагана ликвидирует обер-лейтенанта. Сержант Кругляков бросает связку гранат в большую избу, около которой завязалась ожесточенная схватка. Взрыв... Бойцы бросаются к следующей избе.

Но противник начинает приходить в себя. На противоположном конце села заурчал мотор, и два танка выехали на середину деревни. Они стали бить по занятым лыжниками домам. При свете горящих изб и ракеты немцы установили, что против них действует небольшое число советских бойцов. Вслед за танками двинулось до роты автоматчиков. Они начали поливать смельчаков свинцовым дождем. Редуют ряды лыжников. Ранен Кишкель, сражен на смерть Николай Лебедев, убиты Олесик и Головаха. Но все же половина села в руках советских солдат. Раздалось знакомое завывание мин. Тяжелые немецкие минометы бьют по избам. До трех рот немецких автоматчиков окружает лыжников. Все меньше и меньше становится бойцов.

Разрывной пулей ранен Иван Лягушев. Он смотрит на раненого комиссара и тоже не хочет уходить. Примостившись поудобнее, юноша продолжает бить по фигурам в зеленых шинелях. Кольцо все сжимается. Вторично ранен капитан Лазнюк. Еще минута, и осколок мины ранит отважного командира в третий раз. Его подхватывают истекающий кровью сержант Кругляков и боец Ануфриев. Ползком, оставляя за собой кровавый след, движутся они в сторону. Командование принимает комиссар Егорцев.

— К сараю! — раздается голос военкома.

Лыжники занимают круговую оборону. Паперник молча на выбор бьет из автомата по ползущим к сараю немцам. Он стреляет равномерно, спокойно, как его когда-то учили в школе снайперов. Но немцев слишком много. Один за другим выбывают из строя лыжники. Сраженный автоматной очередью упал Егорцев. Команду принял Паперник.

— Стреляй на выбор! — приказал он. — Экономь патроны!

Разрывная пуля впивается Папернику в ногу. Валенок сразу же набухает кровью. Превозмогая боль, Паперник продолжает руководить боем. «Гранаты!» — крикнул он, когда немцы, поднявшись во весь рост, бросились к сараю. Дальше всех летели гранаты Паперника. Немцы отхлынули. «Не стрелять!» — крикнул опять Паперник. Но никто ему уже не откликнулся. Лазарь Паперник оглянулся. Товарищи его были мертвы. Немцы опять поползли к сараю. Противники были уже совсем близко около сарая. Паперник прильнул к автомату. Он ни о чем не думал. Было одно: перед ним враг, его надо убить. Патроны кончились. Паперник

лихорадочно обшарил подсумки товарищей. Пусто... Но есть еще граната! Паперник толкнул ногой остатки двери. Она распахнулась. Паперник на секунду задержался, потом бросился вместе с гранатой под ноги набегавших немцев. Взрыв... Немцы отхлынули и снова метнулись к сараю. В бессильной ярости они уродовали трупы, кололи их штыками, били прикладами, резали финскими ножами. А потом подожгли сарай. Уцелевшие жители деревни, притаившиеся в ямах и полуразрушенных домах и бывшие свидетелями подвига лыжников, с ужасом глядели на бушевавшее пламя...

По всей стране разнеслась весть о героях лыжниках. Родина наградила Паперника званием Героя Советского Союза и дала ордена Ленина его товарищам. Вот их имена:

Капитан Кирилл Лазнюк, Владимир Аверкин, Михаил Аулов, Павел Бочаров, Иван Бойченко, Александр Бриан, Михаил Головаха, Евгений Дешин, Михаил Егорцев, Владимир Захаров, Александр Кишкель, Николай Лебедев, Иван Копытов, Иван Лягушев, Алексей Молчанов, Валерий Москаленко, Алексей Олесик, Георгий Сераков, Петр Слаутский, Михаил Соловьев, Андрей Храпин, Михаил Ястребов. [3]

С первых же дней войны чемпион и рекордсмен в марафонском беге спартаковец Иван Чебуркии призван в артиллеристы. Здесь он стал командиром группы разведчиков. Однажды, выполняя задание командования, он сидел под проливным дождем на высокой сосне и искусно корректировал стрельбу наших артиллеристов. После долгого и нелегкого пути мы подобралась к опушке леса. Теперь немцы совсем рядом. Я осматриваю деревья и замечаю одно, как бы специально созданное для наблюдателя. Его густая верхушка чуть выше других берез, сосен и елей. У этого дерева нехорошим словом вспомнил я спортивную организацию, где тренировался - сам и тренировал других. Мы много бегали кроссы по полю, лесу, занимались гимнастикой, и ни разу никто не догадался разнообразить занятия. Лазание по деревьям! Ведь это прекрасная тренировка для рук, ног. Как бы пригодилось это искусство мне сейчас, на фронте. Но думать времени не было, и я, вспомнив детство, стал взбираться по толстой сосне. Это было, пожалуй, самое трудное в моей работе разведчика. Обхватив дерево руками и ногами, я тяжело взбирался по нему. После окончания боя и занятия деревень

первое, что я сделал, это начал изучать со всем подразделением лазание на деревья.

В детстве мы, играя, часто взбирались на высокие деревья. Для этого использовали веревки. И сейчас, накинув веревку на ближайший сук, мы по очереди взбирались на деревья. Лазая по сучьям, мы узнали, что становиться ногами и браться руками нудно ближе к стволу. Использовали для подъема с земли и гимнастические пирамиды, которые делали стоящие у основания дерева товарищи. Только на фронте понимаешь, что значит физическая тренированность и умение правильно совершить прыжок в глубокий ров при помощи горизонтально или наклонно натянутой веревки, перелезть через препятствия, широкий ручей и глубокий заболоченный овраг.

Прыжки в глубину с дерева или с крутого обрыва просты, но без тренировки ты упадешь, как мешок с мукой. При прыжках в глубину с положения сидя или упора всегда нудно стараться опуститься пониже и прыгать не прямо вниз, а немного вперед. Летя по воздуху, следует разбрасывать руки в стороны.

Когда боец будет уверен в своих силах, станет ловким, он будет выполнять любое задание. Таких бойцов и должны готовить мастера спорта во всеобуче.



**Александр Дивочкин**

В мирное время, работая техником на строительстве Дворца Советов, Александр Дивочкин, секретарь комсомольской организации строительства, страстно увлекался спортом. Зимой и летом вы могли его встретить в Сокольниках — излюбленном месте московских лыжников и легкоатлетов; вечерами он часто бывал в гимнастическом зале. Имя способного стайера не раз произносили знатоки, следившие за спортивными результатами участников всесоюзных соревнований в беге на дальние дистанции. Его узнавали болельщики, когда на футбольном поле Дивочкин защищал честь команды ЦСКА. Но о самом большом увлечении Дивочкина мало кто знал: он мечтал стать военным.

В ночь на 22 июня 1941 года пограничник Дивочкин и его товарищи первыми приняли на себя вероломный удар врага и в 12-часовом неравном бою защищали родную заставу против немецко-финской бригады. Когда под натиском превосходящих сил противника пришлось отступить, пограничники сожгли заставу, забрали с собой всё имущество и продолжали сражаться на новом рубеже. Потекли дни боевой отрады. Однажды батарея Дивочкина очутилась во вражеском кольце. Двое суток не было пищи. Но снарядов, боеприпасов оставалось еще много, и батарейцы продолжали драться в море огня, осыпаемые зажигательными снарядами. Когда снаряд попал в штабеля с боеприпасами, Дивочкин первым кинулся в огонь. На нем загорелась шинель, вспыхнула гимнастёрка, лицо обволакивал смрадный дым. Но лейтенант не чувствовал ни боли, ни ожогов, ни едкого дыма, разрывавшего лёгкие. Он знал только одно: если снаряды взорвутся — конец.

И Дивочкин из последних сил растаскивал ящики в воронки, вырытые вражескими снарядами. Ему помогали командир орудия Сумный, наводчики Суслов и Сысоев. Вокруг свистели снаряды, пули, надрывно визжали мины. Бойцы, не обращая внимания на опасность, боролись с огнём.

Пожар потушили, но в это время противник начал атаку. Дивочкин бросился к пушке и открыл огонь. Рядом дрались товарищи. Внезапно у его орудия снарядом был перебит лафет. Дивочкин кинулся к другой пушке, но и у этой был вскоре повреждён канал ствола. Тогда Дивочкин перебежал к третьему орудью и бил, бил по врагу до тех пор, пока подоспела подмога и вражье кольцо было прорвано.

Александр вышел из боя весь чёрный. Его узнавали с трудом. Но он был жив, он был готов снова идти в бой. Капитан артиллерист Дивочкин, Герой Советского Союза, достойный потомок знаменитых русских пушкарей. [4]



**ЗОЯ БОЛОТОВА**

Ее появление на спортивной арене было необычайным и неожиданным. В Свердловске, на первенстве страны в 1938 г., никому неизвестная коренастая лыжница вдруг оказалась победительницей в гонке на 10 км, побив прославленных чемпионки. Это было так неожиданно, что Болотову обвинили в неправильном прохождении дистанции. Было снаряжено целое следствие, внимательно проверили путь ее следования, но нарушений не обнаружили, и лаборантка хлебозавода, спортсменка общества «Пищевик» стала чемпионкой.

Ровно через день Болотова преподнесла новый сюрприз. На 15-километровой дистанции, проложенной в знаменитых Уктусских горах, на местности, которую мужчины считают труднейшей, она добилась второй большой победы, заняв в этом женском марафоне второе место. Она проиграла чемпионке М. Початовой немного больше минуты.

На этом же первенстве впервые стала чемпионкой СССР на 5 км молодая Люба Кулакова. Две этих талантливых лыжницы были в центре внимания. Их случайная встреча на соревнованиях вылилась в дружбу. Появление на склонах гор этих двух лыжниц всегда вызывало восхищение. С поразительной смелостью и искусством спускалась она с самых отвесных склонов, мелькая между

деревьями. Чувствовалось, чем круче склон, чем сложнее дистанция, тем с большим удовольствием они ее преодолевают. Их технике завидовали даже мужчины. И не только технике. Результаты у двух подруг были лучше, чем у многих участников первенства страны. Зоя Болотова 10 км по сильно пересеченной местности проходила в 46 минут, а Люба Кулакова 5 км в 21 мин. 17 сек. Казалось, что они уже овладели лыжным мастерством во всем его многообразии и достигли своего зенита. Но как подлинно культурные спортсменки, они продолжали искать новых путей в технике и тренировке. Слалом, прыжки с трамплина, военное дело они считали обязательными для себя. Вот почему с первых дней Отечественной войны подруги сразу нашли свое место среди тысяч патриотов. Люба Кулакова на лыжах перешла линию фронта и в тылу вместе с партизанами уничтожала немецких захватчиков. Она пала смертью героя. Орденом Отечественной войны наградило правительство эту юную патриотку.

В уральской кузнице оружия и резервов нашла свое место Зоя Болотова, Тысячи бойцов научила она лыжному делу, умению метать гранату, стрелять из винтовки. Она растет на работе, становится председателем профсоюзного общества «Пищевик» и заслуженным мастером спорта. Готовя резервы Красной Армии, Болотова продолжает совершенствовать технику, тренироваться. Зимой 1942 года она показывает на 10 км небывалое время — 43 мин. 58 сек. На последнем первенстве страны Зоя Болотова пятый раз становится чемпионкой страны. Подготовленная ею женская команда Свердловска выигрывает все первые места в эстафетах и в сложном беге санитарок на 5 км. Она разработала способ молниеносного устройства из лыж санитарных саней, и благодаря этому команда быстрее всех наложила повязку, соорудила сани и показала лучшее время на 5 км. Непрерывное совершенствование, систематическое движение вперед во всех областях — такова лучшая лыжница Союза Зоя Болотова. [1]

Почти половина жизни Сергея Щербакова связана с обществом «Крылья Советов». Десять лет назад подросток был принят в боксерскую секцию общества и с тех пор ни разу не пропустил ни одного соревнования, ни одной тренировки. У Щербакова оказались задатки первоклассного боксера. Он быстро прошел путь от новичка до мастера спорта, стал чемпионом Москвы, ВЦСПС и СССР. Физическая закалка, полученная С. Щербаковым в обществе, его стремление к

победе, невзирая ни на какие трудности, воспитанное спортом, помогли ему и в глубоком тылу у противника, и в боях под Москвой, и на юге в битвах за Кавказ. Не было случая, чтобы Сергей Щербаков уронил честь бойца-спортсмена.



**С. ЩЕРБАКОВ**

Однажды группе спортсменов было поручено подорвать полотно. Задача была трудной. Немцы, взбешенные тем, что в течение двух недель ежедневно на дороге происходят взрывы, усилили охрану, расставили через каждые 200-300 метров часовых. Спортсмены действовали попарно. Они рассчитывали: если одна группа будет обнаружена — мины заложит другая. Не успели, однако, спортсмены подползти к полотну, как стало светло, словно днем. Немцы пускали одну за другой осветительные ракеты, и все четыре пары были обнаружены. Их начали обстреливать из пулеметов. Пришлось уходить. С. Щербаков с товарищем оторвались от других. Что делать? Уходить. Но когда Щербаков только подумал о том, что другие все-таки могут сделать то, что кажется невозможным, решение было принято. Спортсмен не мог позволить опередить себя. Он прополз с товарищем около километра и под шум проходившего поезда подобрался к полотну. Поезд прошел. Послышался кашель. Товарищ схватился за пистолет. «Не стреляй» — сказал Сергей, — «может быть он пройдет». Немец прошел в 15

метрах, не заметив спортсменов. Друзья заложили мину, замаскировали ее и скрылись. В 5-6 километрах они услышали шум поезда, а затем колоссальный взрыв. Усталые, измотавшиеся, не евшие в течение 3 дней, но счастливые, они пошли к лагерю. Здесь они были удовлетворены вдвойне. Оказалось, что никто кроме них не сумел заминировать дорогу. Вторая радость — продовольствие, доставленное в лагерь. На следующий день местные жители сообщили, что был взорван поезд с немецкими солдатами и офицерами, шедший к фронту. Вскоре после этого группа спортсменов во главе с Щербаковым пронесла раненого товарища через линию фронта. 120 километров по бездорожью, снегами и болотами тащили они друга: четверо его несли, двое других охраняли. 19 дней шла эта группа, проявив величайшее благородное чувство товарищества.

Дважды награжденный правительством боевыми медалями замечательный боец-спортсмен Сергей Щербаков — гордость советского спорта. Мы видели его недавно на сцене Колонного зала Дома союзов. Оправившись от ран, он с прежним блеском и мастерством выступил на ринге. Сергею 25 лет, и как спортсмен он ещё не сказал своего последнего слова. [2]

В комнату вошел смуглолицый человек в шинели, со знаками отличия лейтенанта, с новеньким орденом Красного Знамени на груди. Лейтенант Василий Петрович Никитин в дни, когда над родной Рязанью нависла угроза фашистского вторжения, вместе со своей ротой совершил 55-километровый марш и с хода вступил в бой. К бойцам своего подразделения лейтенант отнесся, как хороший тренер к физкультурникам. Более семи часов со своими бойцами удерживал лейтенант Никитин яростные атаки полка противника. Он появлялся там, где положение осложнялось, подбадривал бойцов и порою вел их в рукопашный бой. В этой операции Никитин огнем и штыком лично уничтожил 75 фашистов. Несколько месяцев непрерывных, ожесточенных боев, и только разрывная пуля, раздробившая кость ноги, приковала лейтенанта к постели. Рана была серьезная и долго не позволяла Никитину выйти из госпиталя. И вот в отпуск. Никитин пришел к друзьям, к товарищам по работе, в Рязанский областной комитет по делам физкультуры, где он раньше руководил учебно-спортивным отделом. Из комитета Василий Петрович Никитин вышел вместе с Дмитрием Гусевым,

гимнастом первого разряда, чемпионом города. Гусев заглянул в комитет, чтобы проститься с друзьями — он уходит в Красную Армию.



**Николай Королёв**

В первые же недели Великой Отечественной войны чемпион СССР по боксу Николай Королев вступил в партизанский отряд и проник в глубокий тыл врага. Он не знал усталости в походе, его не пугали трудности бивуачной жизни, с отвагой и спокойствием он вынес с поля боя на своих сильных плечах раненого командира отряда. На живом примере Королев блестяще доказал, что спортсмен — это потенциальный боец, его примеру должна следовать наша молодежь. Правительство отметило заслуги т. Королева, наградив его орденом Красного Знамени.



**И.М. Кузин**

Лыжник, велосипедист, снайпер И. М. Кузин сумел в партизанском отряде эффективно использовать и искусство снайпера, и спортивную тренировку.

За доблесть и мужество, проявленные в боях с фашизмом, правительство наградило его орденом Красной Звезды.



**Н.Н. Николаев**

Физкультурный стаж тов. Н. Н. Николаева невелик, но стоит послушать рассказы товарищей о его выносливости, ловкости и смелости, и станет ясно, что время на спорт потрачено им не даром.

Его доблесть и мужество, проявленные в партизанском отряде, отмечены правительством орденом Красной Звезды.

Первый гвардейский артиллерийский полк, в котором находится много ростовчан и в том числе физкультурников, покрыл себя неувядаемой славой в разгроме немецких войск под Москвой. [5]

По приглашению ростовчан в Ростов приехала делегация полка. В беседе с корреспондентом «Красного спорта» руководитель делегации старший политрук С. И. Наткович рассказал о том, как бывшие физкультурники Ростова, ныне славные гвардейцы-артиллеристы, отважно сражаются под боевыми знаменами полка.

В нашем полку много бывших физкультурников Ростова. Отважно сражаются против немецко-фашистских захватчиков инструктор физкультуры животноводческих совхозов Октябрьского района Ростовской области т. Никитин,

физкультурник спортобщества «Пролетарская победа» рабочий фабрики им. Микояна, участник пешего похода Ростов—Москва т. Чубриков, председатель Ростовского областного комитета физкультуры, ныне военком первого дивизиона старший политрук В. Шуткин и многие другие. Наш полк занимал оборону у стен г. Серпухова. 60 дней и ночей отборные фашистские дивизии «СС» пытались прорваться через наши ряды к Москве. В боях против фашистов отличились сотни бойцов, командиров и политработников и в том числе физкультурники. Нельзя не сказать о командире первой батареи, бывшем инженере-конструкторе завода «Красный Аксай», члене спорт-общества «Сельмаш» лейтенанте Чечет. Отважный физкультурник так умело вел огонь из своих орудий, что за один только день разрушил ДЗОТ, истребив в нем 8 фашистских солдат и офицеров, уничтожил 3 противотанковых пулемета, одно орудие, разрушил окоп с фашистами, попал метким снарядом в немецкий склад боеприпасов, который рвался в течение целых суток, уничтожил две автомашины с пехотой, 5 автомашин со снарядами, разрушил укрепленный дом, истребив в нем до полуроты противника.

Наш полк не забудет славного подвига бойца Новикова и старшины Никитина. Оба они были посланы в разведку. На двух советских бойцов наткнулись 50 немецких автоматчиков. Презирая смерть, Новиков и Никитин с одним ручным пулеметом стойко сдерживали натиск противника. Они уничтожили 14 фашистов и не дали автоматчикам пройти вперед. В этом бою смертью храбрых погиб Новиков и был ранен Никитин.

В одну из темных ночей физкультурники тт. Марченко, Ситников, Чиканов, Пидосич, Баранов и Буланный пошли в разведку. Это было в дни напряженных боев за Москву. Враг окружил небольшую группу смельчаков. Разведчики приняли неравный бой. В первой же стычке смертью храбрых пали тт. Пидосич и Баранов. Тогда радист Чиканов, видя превосходящие силы противника, вызвал огонь своих батарей на себя. Забили советские орудия. Снаряды рвались в гущу немецких солдат и офицеров. Только один Буланный вырвался из окружения. Остальные пять храбрецов остались на поле боя. Немцы дорого заплатили за их смерть — артиллерийскими залпами было уничтожено до трехсот оккупантов.

Один из лучших наших разведчиков — значкист ГТО красноармеец Андросов. Во время наступления на деревню М., где враг особенно сильно укрепил свои рубежи, Андросов получил задание — выявить месторасположение минометной батареи противника, которая своим непрерывным огнем мешала продвижению нашей пехоты. Несмотря на ливень огня, Андросов пополз вперед. По его данным наши орудия открыли стрельбу и уничтожили минометную батарею. С возгласами «За родину! За Сталина!» поднялась наша пехота и со штыками наперевес ворвалась в деревню. Вместе с ней в атаку шел и т. Андросов.

Двое суток просидел на дереве под обстрелом врага разведчик первого дивизиона, рабочий табачной фабрики помкомвзвода т. Борташ. Храбрый физкультурник общества «Пищевик» 48 часов корректировал огонь наших орудий. Когда он слез с дерева, увидели, что его шинель иссечена осколками мин.

Глядя на этих товарищей, личный состав нашего полка учился храбрости, закалке и выносливости. Все эти качества, свойственные советскому физкультурнику, помогли нам выполнить приказ командующего Западным фронтом — ни шагу назад! — и затем, измотав врага, обескровив его дивизии, перейти в контрнаступление. Сейчас, когда мы с вами беседуем, наш полк вместе с другими частями Красной Армии продолжает жать врага на запад. Впереди вашего гвардейского знамени идут главные физкультурники, верные защитники любимой родины.

До войны майор С. Веремей был чемпионом Сибири по боксу, легкой атлетике и метанию диска. В боевой обстановке физкультура и спорт много раз выручали меня. И сейчас в любых условиях я стараюсь делать все возможное, чтобы сохранить силу и выносливость.

Однажды в бою я остался с шестью бойцами оборонять свой рубеж, Немцы упорно лезли. Вот тут-то меня и выручила специальность метателя. Хорошо я метал когда-то диск на стадионах страны, а на этот раз неплохо метал гранаты. Шесть бойцов подавали мне гранаты, а я их забрасывал далеко в гущу немцев. Так и не удалось фашистам пройти.

В другой раз, когда мы отражали ожесточенные контратаки немцев, разорвавшийся снаряд тяжело контузил меня. Когда я пришел в сознание,

военврач сказал: «Только ваше здоровое сердце и сильное тело могли вынести такой удар».

До самой смерти я буду страстным пропагандистом физической культуры и спорта. [1]

### **Список источников и литературы**

1. Ватин В. Гвардейцы // Красный спорт – 1942 – 17 мар.
2. Шефер, М. Воспитатель снайперов // Красный спорт – 1942 – 18 авг.
3. Беркин С. Запомни, товарищ, их имена // Красный спорт – 1942 – 20 окт.
4. Михайлов А. Русский артиллерист // Красный спорт – 1942 – 22 дек.
5. Чебуркин И. Что должен знать разведчик // Красный спорт – 1943 – 20 апр.

©Анисимов В.Д., 2025

УДК 94 (100) 1914/19

## **ГЛАВА 7**

### **РАЗВИТИЕ ВООРУЖЕНИЙ И МАТЕРИАЛЬНОЙ БАЗЫ В ГОДЫ ПЕРВОЙ МИРОВОЙ ВОЙНЫ**

**Михайлов В.В.**

доцент кафедры (тактики и оперативного искусства),  
кандидат военных наук, доцент

**Жуков П.В.**

старший преподаватель кафедры  
Военная академия материально-технического обеспечения  
им. генерала армии А.В. Хрулёва  
г. Санкт-Петербург, РФ

**Аннотация.** В данной статье внимание уделено вопросу развития вооружений и их материальной базы в период Первой мировой войны. Представлен сжатый перечень материалов, демонстрирующих ключевые направления развития вооружений и материальной базы в рассматриваемый период.

**Ключевые слова:** вооружение, материальное обеспечение, стратегия, тактика, мировая война.

### **DEVELOPMENT OF ARMAMENTS AND MATERIAL BASE IN RECENT YEARS THE FIRST WORLD WAR**

**Mikhailov V.V.**

associate professor of the department (tactics and operational art),  
candidate of military sciences, associate professor

**Zhukov P.V.**

senior lecturer of the department  
General of the Army A.V. Khrulev Military Academy of Logistics  
St. Petersburg, Russian Federation

**Annotation.** This article focuses on the issue of the development of armaments and their material base during the First World War. A concise list of materials demonstrating the key areas of development of weapons and materiel in the period under review is presented.

**Keywords:** armament, material support, strategy, tactics, world war.

Первая мировая война, разразившаяся в 1914 году и продлившаяся до 1918 года, стала катализатором глубоких изменений в области вооружения и военной техники. Конфликт, охвативший множество стран и континентов, привел к значительным сдвигам в материальном обеспечении, которые определили не только ход войны, но и будущее военного дела.

**Цель** исследования – не углубляться в детальный анализ каждого вида вооружения, а скорее, обозначить основные тенденции и технологические прорывы, которые сформировали облик войны и оказали влияние на последующее развитие военной техники, способов её применения, влияющих на тактику и стратегию действий, в статье охвачен широкий спектр изменений, произошедших в сфере вооружений, и прослежено их влияние на ход истории.

Особое внимание уделено противоречиям, которые сопровождали этот процесс, раскрыто, как стремительное развитие вооружений, с одной стороны, приводило к невиданным ранее масштабам разрушений и человеческих жертв, а с другой – стимулировало поиск новых тактик и стратегий ведения боевых действий.

**Актуальность** данного исследования приобретает особую остроту в текущий период, когда мир сталкивается с угрозой новых локальных конфликтов и возможностью эскалации до крупномасштабных военных действий.

Анализ опыта Первой мировой войны, понимание технологических скачков и их последствий, может помочь нам лучше осознать современные вызовы и риски, связанные с гонкой вооружений и потенциальными конфликтами. Изучение истории развития вооружений – это не просто академический интерес, а важный инструмент для понимания текущей геополитической ситуации и предотвращения повторения трагических ошибок прошлого.

### **Введение**

Анализируя периоды Первой мировой войны закономерно возрастает интерес профессионального сообщества историков, различных институтов государства и широких слоев российского общества к этому глобальному военно-политическому конфликту, в результате которого с карты мира исчезли четыре некогда могучих империи, а потрясшая весь мир революция в России определила судьбу человечества на весь XX век.

Первая мировая война стала не просто масштабным вооруженным конфликтом, а настоящим прологом к войнам будущего. Она послужила своеобразным «трафаретом» для последующих столкновений, заложив основы для многих аспектов современных войн.

Об этой войне написано множество произведений, но споры о ее причинах и итогах, возможных альтернативах продолжаются до сих пор. В отечественной историографии хорошо изучена подготовка армии и флота к войне, ход военных действий, проанализированы почти все значимые армейские и фронтовые операции, раскрыты тайны внешней политики стран-участниц. И все же надо признать, что характеристика этой войны как «неизвестной» вполне справедлива, поскольку многие грани до сих пор не были предметом исследования.

Поэтому каждый новый факт, свидетельство очевидцев и участников событий тех лет крайне важны для всестороннего изучения этой «Великой» войны, как ее называли вплоть до начала Второй мировой.

### **Основная часть**

Война 1914-1918 гг. была войной массовых, многомиллионных армий.

В подавляющем большинстве воевавших государств эти армии были построены на основе всеобщей воинской повинности, а те страны (Англия, США), которые начали войну с небольшими профессиональными армиями, ходом событий вынуждены были перейти к массовой принудительной мобилизации.

С массовым типом армий было неразрывно «связано небывалое в прежних войнах протяжение сплошных фронтов, упирившихся флангами в море или в границы нейтральных государств. Затяжной характер войны и особые формы упорной коалиционной борьбы были также тесно связаны с наличием многомиллионных армий. В свою очередь длительность борьбы гигантских, по численности и вооружению сухопутных сил потребовала от воевавших стран небывалого напряжения в использовании всех людских и материальных ресурсов.

В Первой мировой войне участвовало 38 государств с населением свыше 1,5 млрд. человек. Основные противники: Англия, Франция, Россия, Сербия, Япония, позднее Италия, Румыния и США – с одной стороны; Германия, Австро-Венгрия, Турция и Болгария – с другой. По своему характеру война была несправедливой, захватнической с обеих сторон. Она принесла неисчислимые

бедствия народам мира: было убито и умерло от ран 9,5 млн. человек, ранено 20 млн., из них 3,5 млн. остались калеками. Погибло большое количество мирного населения. В результате войны экономика многих стран была подорвана. [1, с. 436]

Россия в 1914 г. не была готова к войне. Военная реформа, начавшаяся после поражения в русско-японской войне, не завершилась. Программа строительства нового военно-морского флота из-за недостатка финансовых средств выполнялась медленно.

Слабо развитая российская железнодорожная сеть и ее рост шел крайне неравномерно и не соответствовал росту производительных сил страны. Причем строительство дорог с начала XX в. постоянно сокращалось.

Также одной из серьезных проблем железных дорог России была их недостаточная техническая оснащенность. [2, с. 89]. Поэтому с самого начала войны из-за низкой пропускной способности железных дорог русская армия испытывала недостаток в подвозе резервов и боеприпасов.

Особое отставание наблюдалось в обеспечении армии современными видами вооружения (автоматическое оружие, автомобильный парк, средства связи и др.). Неоправданно велика была численность русской конницы. Устарели военные доктрины.

Несмотря на миллионные размеры армий военного времени, всеобщая мобилизация была проведена в короткие сроки. Всеобщая мобилизация в первые дни войны увеличила состав армий (выраженный в крупных войсковых соединениях – пехотных дивизиях и корпусах) приблизительно в 2 раза, а численность армии – в 4-5 раз.

В дальнейшем численность армий росла в странах, не имевших до войны всеобщей воинской повинности; в странах, проведших всеобщую мобилизацию в августе 1914 г., численность «действующих» сухопутных армий оставалась без значительных изменений до конца войны. Однако, при стабильности числа людей в армиях состав армий и их внутренняя структура подверглись коренному изменению.

Так, французская армия к 1917 г. при том же числе людей, как в конце 1914 г., имела вместо 83 пехотных дивизий – 117, германская армия за тот же период увеличила число дивизий вдвое – со 116 до 234, в то время как количество людей

выросло на 50%. Радикально изменилось соотношение между численностью родов войск; так, во французской армии численность пехоты за время войны сократилась почти вдвое, а численность артиллеристов увеличилась в 2 раза. Авиация, совершенно незначительная по числу личного состава в начале войны, выросла к концу войны до 51 тыс. чел. во французской армии и до 66 тыс.чел. в английской.

Появились танковые и химические части, не существовавшие вовсе к началу войны. В огромной пропорции выросли тылы, в частности – автотранспорт. К концу войны транспортные и рабочие части на западном фронте составляли до 10 % всей численности армий. Вообще, численность тыловых организаций армии (обеспечивающих – «не боевых») непрерывно возрастала во время войны. Так, во французской армии к началу войны «боевые части» составляли 84% всей армии, а к концу войны всего лишь 65%.

В русской армии тылы были еще более громоздкими; по численности они временами превосходили состав «боевых подразделений».

Могущество технических средств истребления, длительность войны и многочисленность армий привели к огромному росту потерь, к обескровливанию народов– 66 млн. чел. было мобилизовано на войну, из них около 40 млн. непосредственно участвовало в боях. Из этих 40 млн. меньше половины вернулись невредимыми с организованной империалистами бойни. Лучшая часть населения была отвлечена от производительного труда и брошена на взаимное истребление.

Возможность мобилизовать на войну многомиллионные армии появилась в результате исключительного развития роста производительных сил. Существование подобных армий было бы невозможно без железнодорожного транспорта, достаточно развитой промышленности, надлежащей постановки медицинского дела, наконец – без налаженной системы финансирования.

Однако политики, вызвавшие к жизни колоссальные армии, встретились с огромными трудностями в управлении этими массами людей, в основном вооруженных рабочих и крестьян. Вместе с тем, насыщенность современных армий техникой, огромный рост средней «капиталовооружённости» отдельного воина предъявляют столь высокие требования к промышленности, и финансам,

что вынуждают ограничивать численность армий рамками материальных возможностей и требуют в случае войны оставления большого числа рабочих на производстве. Отсюда стремление к пересмотру системы массовых армий во многих развитых странах и попытки создать менее многочисленные, но более подготовленные, политически падежные и технически оснащенные профессиональные армии.

По сравнению с предыдущими войнами война 1914-1918 гг. питалась несравненно более мощными экономическими ресурсами, и соответственно росту производительных сил материальный размах последней войны далеко превзошел все ранее известные масштабы.

Глубина конфликта между империалистами, гигантский размах военных действий, мощная военная техника заставили всех участников войны поставить на службу войне все ресурсы народного хозяйства. В результате огромного экономического напряжения воевавшие страны смогли выставить на фронт невиданное количество наиболее совершенных (по тому времени) средств борьбы и непрерывно пополнять гигантскую убыль материальных средств в течение четырёх с лишним лет.

Народнохозяйственные ресурсы передовых стран, переключенные на обслуживание военных нужд, позволили не только восполнять убыль боевых и вспомогательных средств на фронте, но одновременно непрерывно усиливать насыщенность армий техникой, развивать военно-морские силы, создавать гигантские воздушные флоты.

Рассматривая «капиталовооруженность» как экономический термин, описывающий соотношение между количеством капитала и трудозатратами в процессе производства установлено, если к началу империалистической войны на каждого военнослужащего армии в среднем приходилось различного вооружения и имущества на 400 рублей, то к концу войны «капиталовооруженность» бойца увеличилась в 5 раз, достигнув 2 тыс. руб. на одного военнослужащего. Наряду с «капиталовооруженностью» бойцов вырос и удельный расход материальных средств на одного бойца. Если в первый год войны на западном фронте расходовалось боевых средств и имущества, по 500 руб. на каждого военнослужащего, то к 1917 г. соответствующий расход возросло до 2 тыс. руб., а

к 1918 г. до 3 тыс. руб. Разумеется, такая оценка в денежном выражении чересчур обобщена и не учитывает качественного развития военной техники, тем не менее это сопоставление чрезвычайно характерно.

Среди материальных средств минувшей войны огромный удельный вес занимала артиллерия. Достаточно указать, что к началу войны армии имели 20 тыс. артиллерийских орудий, а к концу – свыше 60 тыс. Расход артиллерийских снарядов за время войны превысил 1 млрд, выстрелов, общей стоимостью свыше 50 млрд. рублей. Расходы французской армии на артиллерию и снаряды составляли в среднем 20% всех расходов па армию и до 40% расходов на материальное снабжение фронта.

К началу Первой мировой войны армии располагали весьма ограниченным «ассортиментом» средств поражения. Холодное оружие: штык, шашка, пика в значительной мере утратили свое бывшее значение и фактически вся разрушительная сила была сосредоточена в огнестрельном оружии: пушках, пулеметах, винтовках.

Война 1914-1918 гг. война новых видов вооружения включающая: боевую авиацию, танки, отравляющие вещества, дымы, зажигательные средства и др. Вместе с тем значительно изменились артиллерийская техника и стрелковое оружие.

За четыре года боевых действий военная техника обогатилась больше, чем за всё предшествовавшее столетие. Этот вывод вряд ли можно считать преувеличенным. Действительно, в результате бурного развития к концу империалистической войны арсенал средств разрушения и истребления гигантски вырос.

Отметим следующие важнейшие факты.

В гигантском масштабе усилилась мощь автоматического огня стрелкового оружия. В русской армии количество пулеметов возросло с 4152 до 23 800; в германской армии – с 3 тыс. до 70 тыс., т. е. почти в 24 раза. Пулеметы, такие как Maxim и Lewis, стали символами новой войны. Пулеметы не только усиливали оборону, но и позволяли проводить успешные контратаки, создавая условия для прорыва вражеских позиций.

Их способность вести непрерывный огонь на протяжении длительного времени и поражать большое количество целей сделала их незаменимыми в позиционной войне. Сражения на Западном фронте, где обе стороны окопались на протяжении сотен километров, продемонстрировали, как автоматический огонь может изменить динамику боевых действий.

Кроме того, в ходе войны началось активное использование автоматических винтовок, что стало началом новой эры в стрелковом оружии.

Эти образцы сочетали в себе компактность, мобильность и высокую скорострельность, что позволяло солдатам вести огонь на дальних дистанциях с высокой эффективностью. Машинизация пехоты, таким образом, не только увеличила огневую мощь, но и изменила тактику ведения боя, сделав акцент на мобильность и гибкость действий на поле боя. Появление автоматического огнестрельного оружия способствовало изменению не только тактики, но и стратегии ведения войны в целом.

С увеличением роли автоматического огня также возникла необходимость в новых формах организации войск. Командиры начали осознавать важность мобильных подразделений, способных быстро перемещаться и наносить удары по противнику в неожиданных местах. Это привело к созданию специализированных штурмовых отрядов, которые использовали тактику «удар и перемещение», что позволяло им эффективно преодолевать вражеские позиции и захватывать ключевые точки. Кроме того, развитие технологий в области связи и разведки также сыграло важную роль в изменении тактики ведения боя. С появлением радиосвязи появилась возможность координировать действия своих войск в реальном времени, что значительно повысило эффективность операций.

В течение войны появились разнообразнейшие типы артиллерийских орудий, начиная с мелкокалиберных пехотных пушек и кончая 520-мм гаубицами на железнодорожных установках. Возникла зенитная артиллерия, в количестве десятков тысяч появились минометы. Значительно возросла дальность и скорострельность орудий всех калибров.

В 1918 году, когда германская армия начала использовать дальнобойные пушки для обстрела Парижа с расстояния свыше 40 километров, артиллерийский огонь достиг своего апогея. [3].

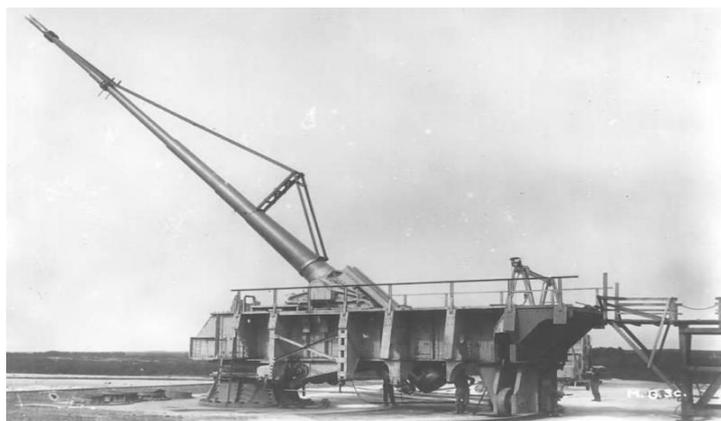


Рис. 1 Германское орудие для сверхдальней стрельбы «Парижская пушка» на огневой позиции. 1918 год.

Хотя разрушительная мощь установки была незначительной, ствол орудия приходилось часто заменять, а точности стрельбы хватало лишь для попадания снаряда в пределах города. Эффект применения орудия был скорее психологическим – обстрел из столь дальнобойного орудия сильно снижал боевой дух парижан, а наличие грандиозного по масштабам устройства воодушевляло немецкие войска. Данные события стали не только военной тактикой, но и важной частью психологической войны, направленной на подрыв морального духа противника.

Это был переломный момент в истории артиллерии, когда орудия продемонстрировали невиданную ранее дальность стрельбы, коренным образом изменив облик войны и её влияние на гражданское население.

Дальнобойные орудия, воплощавшие в себе передовые военные технологии и тактику, стали символом новой эры в военном деле, навсегда изменив ход Первой мировой войны.

Появление зенитной артиллерии в Первой мировой войне стало важным этапом в развитии военной техники и тактики. В начале конфликта, авиация только начинала играть свою роль на поле боя. Первоначально самолеты использовались в основном для разведки, но вскоре их начали применять и для бомбардировок, что привело к необходимости защиты от воздушных атак.

Сначала противовоздушная оборона основывалась на использовании обычной артиллерии, которая не была специально адаптирована для стрельбы по летательным аппаратам. Однако с увеличением числа воздушных атак и ростом

их эффективности стало очевидно, что требуется специализированное вооружение. В ответ на эту необходимость начали разрабатывать зенитные орудия, которые могли бы эффективно поражать цели в воздухе.

Одним из первых примеров зенитной артиллерии стали 75-мм орудия, которые использовались для стрельбы по самолетам. Эти орудия были установлены на специальных платформах и имели возможность вести огонь под углом, что позволяло им нацеливаться на быстро движущиеся воздушные цели. В дальнейшем появились более мощные и высокоскоростные зенитные орудия, такие как 37-мм и 40-мм пушки, которые значительно повысили эффективность противовоздушной обороны.

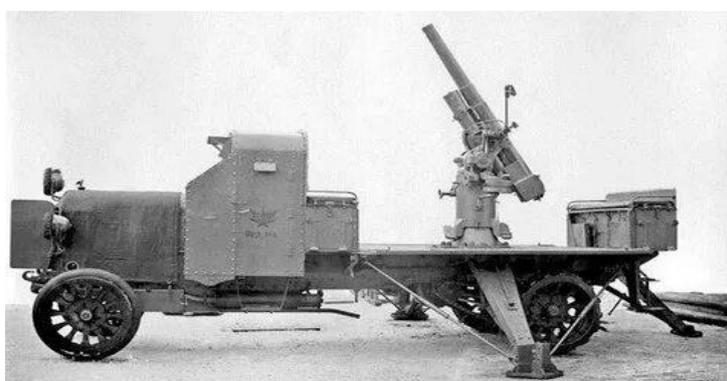


Рис. 2 Пушка Лендера на бронированном шасси Руссо-Балт 1915 г.

Кроме того, в ходе войны также начали использовать зенитные пулеметы, которые обеспечивали более плотный огонь по воздушным целям.

Эти системы позволяли создавать завесу огня, что затрудняло пилотам выполнение атакующих маневров.

Появление специализированных зенитных орудий не только изменило подход к противовоздушной обороне, но и оказало значительное влияние на общую стратегию ведения войны. С увеличением числа самолетов на фронте, необходимость в защите от воздушных атак стала неотъемлемой частью военной тактики.

Командиры начали осознавать, что контроль за воздухом стал столь же важным, как и контроль за землей. Разработка зенитной артиллерии привела к появлению новых тактических решений. В частности, зенитные орудия стали интегрироваться в общую систему противовоздушной обороны, что позволяло

создавать многоуровневую защиту. Это включало не только артиллерийские установки, использование зенитных пулеметов, а также более поздние системы, такие как зенитные ракеты. В результате, противник сталкивался с многообразием средств поражения, что усложняло его действия в воздухе.

Кроме того, зенитная артиллерия способствовала развитию новых технологий и методов ведения боя. Появление специализированных расчетов, обученных для работы с зенитными орудиями, требовало внедрения новых стандартов подготовки личного состава. Это, в свою очередь, способствовало повышению общей боеспособности армий и их способности адаптироваться к меняющимся условиям войны. Важным аспектом этого процесса стало взаимодействие между различными родами войск. Зенитная артиллерия, интегрированная в общую структуру вооруженных сил, требовала координации действий с пехотой, танками и авиацией. Это взаимодействие способствовало созданию более комплексных и эффективных стратегий, направленных на защиту от воздушных угроз и обеспечение безопасности наземных операций.

Важным шагом в развитии зенитной артиллерии стало внедрение автоматизированных систем, которые значительно упростили процесс наведения и стрельбы. Эти технологии позволили сократить время реакции на угрозы и повысить общую эффективность противовоздушной обороны.

Применение воздушных шаров, дирижаблей и аэростатов сыграли важную роль в Первой мировой войне, став одним из первых средств для ведения воздушной разведки и наблюдения. Их использование началось в начале конфликта и продолжалось на протяжении всей войны, когда обе стороны стремились получить преимущество на поле боя.

Основное назначение воздушных шаров и дирижаблей заключалось в разведке. Они позволяли наблюдателям находиться на высоте, откуда открывался широкий обзор местности и позиций противника. С помощью биноклей и других оптических приборов наблюдатели могли фиксировать перемещения войск, артиллерийские позиции и другие важные объекты. Это давало командирам возможность более эффективно планировать свои действия и корректировать огонь артиллерии.



Рис. 3 Дирижабль русской армии

Также воздушные шары использовались для связи. Они могли быть оснащены радиостанциями, что позволяло передавать информацию с передовой на командные пункты. Это значительно ускорило процесс обмена данными и улучшало координацию действий войск.

При этом воздушные шары не были беззащитными. Существовали специальные подразделения, которые занимались их охраной, а также разрабатывали методы борьбы с ними. В ответ на угрозу, противник использовал зенитные орудия и даже специальные самолеты, оснащенные пулеметами, для их уничтожения.

Несмотря на свои уязвимости, воздушные шары оставили заметный след в истории военного дела. Их применение в Первой мировой войне стало предшественником более современных методов воздушной разведки и наблюдения, таких как использование самолетов и беспилотных летательных аппаратов.

Развитие авиации в Первой мировой войне стало одним из самых значительных и революционных аспектов этого конфликта. Хотя самолеты использовались в ограниченных масштабах еще до начала войны, именно в этот период авиация начала активно развиваться и играть важную роль в военных действиях. На начальных этапах войны самолеты использовались преимущественно для разведки. Они позволяли получать информацию о передвижениях противника и оценивать обстановку на фронте.

Однако вскоре стало очевидно, что авиация может выполнять и другие задачи. Появились первые боевые самолеты, которые начали использоваться для атаки на вражеские позиции и поддержку наземных войск.

К 1915 году в воздухе начали происходить первые воздушные бои.

Пилоты, вооруженные пулеметами, стали сражаться друг с другом, что привело к появлению новых тактик и стратегий. В это время также началось развитие специализированных истребителей, которые были предназначены для перехвата вражеских самолетов.



Рис. 4 Ведение воздушного боя

С течением времени авиация продолжала эволюционировать. Появились бомбардировщики, которые могли наносить удары по наземным целям, а также транспортные самолеты, используемые для доставки грузов и войск. Бомбардировочные рейды стали не только средством разрушения инфраструктуры противника, но и мощным психологическим оружием, способным подорвать моральное состояние и вызвать панику среди гражданского населения.



Рис. 5 Тяжёлый бомбардировщик Илья Муромец. Россия 1914 г.

Внедрение новых технологий, таких как радиосвязь, позволило улучшить координацию действий между авиацией и наземными войсками.

Авиация, которая изначально воспринималась как вспомогательный инструмент, быстро превратилась в ключевой элемент военных операций. Это изменение в восприятии авиации стало возможным благодаря успешным примерам использования самолетов в боевых действиях, что продемонстрировало их стратегическую ценность.

С ростом значимости авиации возникла необходимость в создании более эффективных систем управления и координации действий.

Командование стало осознавать, что для достижения успеха в воздушных боях необходимо не только наличие современных самолетов, но и хорошо подготовленные пилоты, способные действовать в условиях высокой напряженности и неопределенности. Это привело к созданию специализированных учебных центров, где будущие летчики обучались не только пилотированию, но и тактике воздушного боя, а также взаимодействию с наземными войсками.

К 1918 году, когда война подходила к концу, авиация уже не была просто дополнением к традиционным видам вооруженных сил.

Насчитывавшая к началу войны несколько сот тихоходных и невооруженных самолетов, превратилась в грозное оружие. Воздушные флоты к концу мировой войны насчитывали уже 10 тыс. самолетов в строю и значительно большее количество в школах и в резерве. Авиация стала самостоятельной и важной частью военной машины, способной решать широкий спектр задач. Появление новых технологий, таких как улучшенные двигатели и конструкции самолетов, позволило значительно увеличить дальность полета и грузоподъемность, что открывало новые горизонты для применения авиации в военных действиях.

С начала с 1915 г. впервые применялось химическое оружие: отравляющие вещества удушающего, а затем и нарывного действия. Первоначально отравляющие вещества выпускались из баллонов в виде волны, затем они стали применяться в артиллерийских снарядах и минах, но распространение их с самолетов в минувшую войну еще не имело места.

Не менее важным стало развитие химического оружия. Использование ядовитых газов, таких как хлор и зарин, стало шокирующим новшеством, которое навсегда изменило облик войны.

Химическое оружие, применяемое в массовых масштабах, вызвало не только физические страдания, но и психологические травмы. [4]. Оно стало символом бесчеловечности войны, заставив мировое сообщество задуматься о моральных аспектах ведения боевых действий. Использование ядовитых газов привело к необходимости разработки новых средств защиты, таких как противогазы, и изменило подход к медицинскому обеспечению раненых.



Рис 6. Британские солдаты в противогазах 1916 г.

Танки, впервые использованные в бою в 1916 году, стали символом технологического прогресса. Эти бронированные машины изменили представление о мобильности на поле боя, позволяя преодолевать окопы и баррикады, которые ранее считались непреодолимыми. Танки открыли новую эру в механизированной войне и положили начало развитию бронетехники в будущем. Несмотря на крупные конструктивные недостатки первых танков и сравнительно небольшое их количество, танки быстро завоевали видное место в арсенале военной техники.

Военно-морской флот и его оружие также сыграло огромную роль в ходе войны. При этом центр тяжести главным образом лежал в наличии и применении крупнейших единиц-линкоров, также чрезвычайно повысилась значимость крейсеров, эскадренных миноносцев и подводных лодок.

Одновременно появлялась и возрастала роль применения другого нового средства войны – морской авиации.

В период Первой мировой войны подводные лодки были самым молодым видом боевых судов для всех воюющих флотов [5].

Подводный флот стал важным элементом военно-морских операций и оказал значительное влияние на ход конфликта.

В отличие от предыдущих войн, когда подводные лодки использовались в основном для разведки, в годы Первой мировой войны они стали основным средством ведения войны на море.

Наиболее активно подводные лодки использовались Германией, которая разработала тактику неограниченной подводной войны. Немецкие подводные лодки (U-боты) атаковали не только военные, но и торговые суда противника, что привело к значительным потерям в гражданском судоходстве.

Одним из самых известных инцидентов стало потопление лайнера «Лузитания» в 1915 году, что вызвало международный резонанс и усилило антинемецкие настроения в США. С другой стороны, Великобритания также активно развивала свой подводный флот, хотя и в меньших масштабах. Британские подводные лодки использовались для защиты торговых путей и атаки на немецкие корабли. Однако, в начале войны британский флот не был готов к эффективной борьбе с подводными угрозами, что привело к значительным потерям. К концу войны подводные лодки стали более совершенными, и их роль в военно-морских операциях возросла.

Разработка новых технологий, таких как гидрофоны и торпеды, сделала подводные лодки более смертоносными и эффективными. В результате, подводный флот стал неотъемлемой частью военно-морской стратегии, и его влияние ощущалось не только на море, но и на политической арене, способствуя изменению баланса сил в мире.

Подводный флот в Первой мировой войне продемонстрировал свою значимость и изменил представления о ведении морской войны. Подводные лодки стали символом новой эры в военно-морских конфликтах, где традиционные методы ведения боя уступили место более скрытным и неожиданным тактикам. Их способность атаковать внезапно и из укрытия, действовать в большом районе

плавания, вдалеке от своих баз сделала подводные лодки грозным оружием, нарушивших привычные схемы морских операций.

С течением времени, подводные лодки начали использоваться не только для атаки, но и для выполнения разведывательных задач, что позволяло собирать информацию о перемещениях противника и его ресурсах. Это расширение функций подводного флота способствовало более комплексному подходу к ведению войны на море, где каждая операция могла иметь далеко идущие последствия.



Рис. 7. Российская подводная лодка «Аллигатор». 1916 г.

Кроме того, подводные лодки стали важным элементом в стратегии экономической войны. Блокада торговых путей противника с помощью подводных атак на гражданские суда привела к экономическим трудностям и истощению ресурсов стран-соперников. Это создало новые вызовы для военно-морских стратегов, которые должны были адаптироваться к изменяющимся условиям и разрабатывать новые методы защиты торговых маршрутов.

В ответ на угрозу со стороны подводных лодок, страны начали активно развивать противолодочные средства. Появление новых технологий, таких как глубинные бомбы и противолодочных кораблей, стало важным шагом в борьбе с подводными угрозами. Эти новые технологии позволили значительно повысить эффективность противолодочной борьбы и снизить потери среди торговых и военных судов. Глубинные бомбы, сбрасываемые с кораблей или самолетов, стали основным средством для уничтожения подводных лодок, что изменило тактику их применения и сделало их более уязвимыми.

Развитие авиации также сыграло ключевую роль в противолодочной стратегии. Появление патрульных самолетов, способных обнаруживать

подводные лодки с воздуха, дало возможность значительно расширить зону контроля над морскими путями. Авиаторы могли быстро реагировать на угрозы и обеспечивать защиту торговых конвоев, что в свою очередь способствовало улучшению безопасности морских перевозок.

С течением войны, обе стороны начали осознавать, что подводные лодки не только угрожают военно-морским операциям, но и могут оказывать влияние на экономику стран. Это осознание привело к тому, что подводные операции стали рассматриваться не только как военные действия, но и как элементы экономической стратегии. Блокада торговых путей и атаки на гражданские суда стали важными инструментами в борьбе за ресурсы и влияние.

Война 1914-1918 гг. внесла крупнейшие изменения в практику инженерных сооружений. Старые крепости с поясами отдельных фортов не выдерживали боевого испытания; возникли новые формы фортификации, характеризующиеся непрерывностью укрепленных фронтов, расчленением укреплений в глубину и тщательной их маскировкой.

Таким образом, Первая мировая война стала ареной для экспериментов с новыми тактическими и стратегическими концепциями.

Командиры начали осознавать важность координации между различными родами войск, что привело к более комплексным операциям, включающим артиллерию, пехоту, авиацию и бронетехнику. Тактика «всеобъемлющей войны» стала нормой, где успех зависел от способности объединить усилия различных подразделений и использовать их сильные стороны.

Одним из ярчайших примеров реализации этих способностей стал Брусиловский прорыв, осуществленный русскими войсками в 1916 году.

Это наступление, получившее имя своего командующего, генерала Алексея Брусилова, стало ключевым событием в истории сражений и вскрытия обороны противника, оказав значительное влияние на ход войны [6].

До Брусиловского прорыва тактика ведения боевых действий на Восточном фронте, как и на Западном, в основном сводилась к лобовым атакам, сопровождавшимся массированной артиллерийской подготовкой. Эти атаки, как правило, приводили к огромным потерям и незначительному продвижению. Брусилов же предложил принципиально иной подход, основанный на новаторских идеях.

Брусилловский прорыв, стал настоящим триумфом русской армии. В течение первых дней операции русские войска смогли прорвать фронт на значительных участках и добиться значительных успехов, захватив множество населенных пунктов и стратегически важных позиций противника. В результате этого наступления русская армия смогла не только ослабить вражеские силы, но и восстановить моральный дух своих солдат, который был подорван предыдущими неудачами на фронте.

Также стоит отметить, что война способствовала развитию логистики и снабжения. Масштабные операции требовали эффективного управления ресурсами, что привело к внедрению новых методов транспортировки и хранения боеприпасов, продовольствия и медицинских материалов. Это стало основой для будущих военных операций и стратегий. Логистика, ранее рассматриваемая как вспомогательная функция, приобрела статус ключевого элемента военного планирования. Эффективное снабжение войск стало определяющим фактором в успехе операций, что привело к созданию специализированных подразделений, отвечающих за транспортировку и распределение ресурсов.

Важным аспектом, который следует отметить, является влияние Первой мировой войны на развитие медицинских технологий и санитарного обслуживания. Массовые потери и новые виды ранений, вызванные современным оружием, потребовали пересмотра подходов к медицинской помощи. Внедрение новых методов эвакуации раненых, создание полевых госпиталей и использование санитарных автомобилей стали стандартом. Это не только спасло множество жизней, но и заложило основы для дальнейшего развития медицины в условиях войны.



Рис. 8. Тяжелое время 1918 года. Художник Джеймс Дитц.

В психологическом аспекте Первая мировая война оказала значительное влияние на общественное сознание и восприятие войны в целом.

Ужасы окопной войны, массовые потери и применение химического оружия привели к росту антивоенных настроений и критике войны. Общество стало более осведомленным о последствиях войны, что в свою очередь способствовало формированию новых идеологий и движений, направленных на мирное разрешение конфликтов.

### **Заключение**

Масштаб Первой мировой войны и ее материальных потребностей настолько превзошел самые щедрые расчеты мирного времени, что прежние методы обеспечения армий оказались совершенно недостаточными. В частности, имевшиеся военные заводы не могли справиться с задачей снабжения фронта вооружением; все страны вынуждены были значительную часть гражданской промышленности переключить на военные производства.

Накопленные в мирное время запасы вооружения были израсходованы в течении первых же месяцев войны; развертывание же военных производств вследствие неподготовленности промышленности растянулось на длительный период времени. Известно, какие колоссальные расходы были связаны с мировой войной. Но все-таки цифры этих расходов поразительны, особенно если сравнить их с расходами прежних войн в конце XIX и в начале XX вв. Если взять суммарную стоимость войны по подсчету Г. Фиска – 80 680 млн. долл. 1913 г., – то получается, что война стоила больше, чем все народное имущество Англии, Австралии и Новой Зеландии в 1914 г., вместе взятых.

Такие расходы не могли покрываться «нормальными» источниками государственных доходов – налогами. Даже в Англии, которая сумела большую долю расходов на войну, чем другие страны, покрыть налогами, они покрывали по самым щедрым подсчетам только 28,6% этих расходов. Главными способами покрытия расходов на войну оказались кредиты (внутренние и внешние) и бумажноденежная эмиссия, т. е. инфляция.

К примеру, снабжение воюющих стран сыграло большую роль в превращении США в страну-кредитора. Англия, например, продала для финансирования войны около 5 млрд. долл. своих заграничных инвестиций в

ценных бумагах, Франция – около 1 млрд. Кроме того для тех же целей американское правительство предоставляло европейским союзническим державам огромные займы. С 24 апреля 1917 г. по 15 марта 1919 г. оно дало союзникам на 9,42 млрд. долл. кредитов. Эти кредиты расходовались главным образом на закупку вооружения и сырья в США, способствуя росту американской промышленности. [7, с. 62].

Первая мировая война стала трагическим испытанием для Российской империи, выявив как героизм и стойкость русских солдат, так и серьезные недостатки в организации, вооружении и тактике. Изучение опыта этой войны, несмотря на его трагический исход, позволяет выявить определенные принципы, которые, в той или иной степени, находят отражение в современных военных действиях, в частности, в ходе Специальной военной операции (СВО).

В отличие от Первой мировой войны, где основными средствами ведения боя были пехота и артиллерия, современные военные действия характеризуются широким использованием высоких технологий, ускоренным техническим развитием всех видов вооружений, коренным улучшением их тактикотехнических характеристик, направленных на повышение точности поражения целей, разрушительных возможностей и скорости доставки боевых средств [8, с. 101].

Беспилотные летательные аппараты (БПЛА), системы управления боем и спутниковая разведка значительно изменили подход к планированию операций. Эти технологии сегодня позволяют более точно оценивать обстановку на поле боя, что, в свою очередь, способствует более эффективному применению сил и средств. Важным аспектом, который также имеет свои корни в опыте Первой мировой войны, является психологический фактор. Стратегия истощения, помимо физического изматывания противника, включает в себя и психологическое давление.

В СВО наблюдается использование информационных операций, направленных на подрыв морального духа противника. Это напоминает методы, применяемые в прошлом, когда пропаганда и моральное воздействие играли важную роль в ведении войны. В Первой мировой войне пропаганда использовалась для поддержания морального духа собственных войск и населения, а также для деморализации противника. Современные

информационные технологии позволяют значительно расширить возможности в этой области, создавая более сложные и многоуровневые стратегии воздействия на общественное мнение.

Французский военный эксперт, полковник ВВС, недавно заявил о заметном превосходстве России в современной военной области, охватывающее не только техническое оснащение, но и тактику, а также стратегическое планирование.

По его мнению, Россия демонстрирует глубокое понимание военной истории, адаптируя и развивая проверенные временем подходы. В частности, эксперт отмечает использование методологии, напоминающей успешные действия генерала Брусилова в период Первой мировой войны. Эта стратегия, основанная на последовательном продвижении и достижении поставленных целей, позволяет российским войскам эффективно решать задачи в рамках Специальной военной операции (СВО) [9].

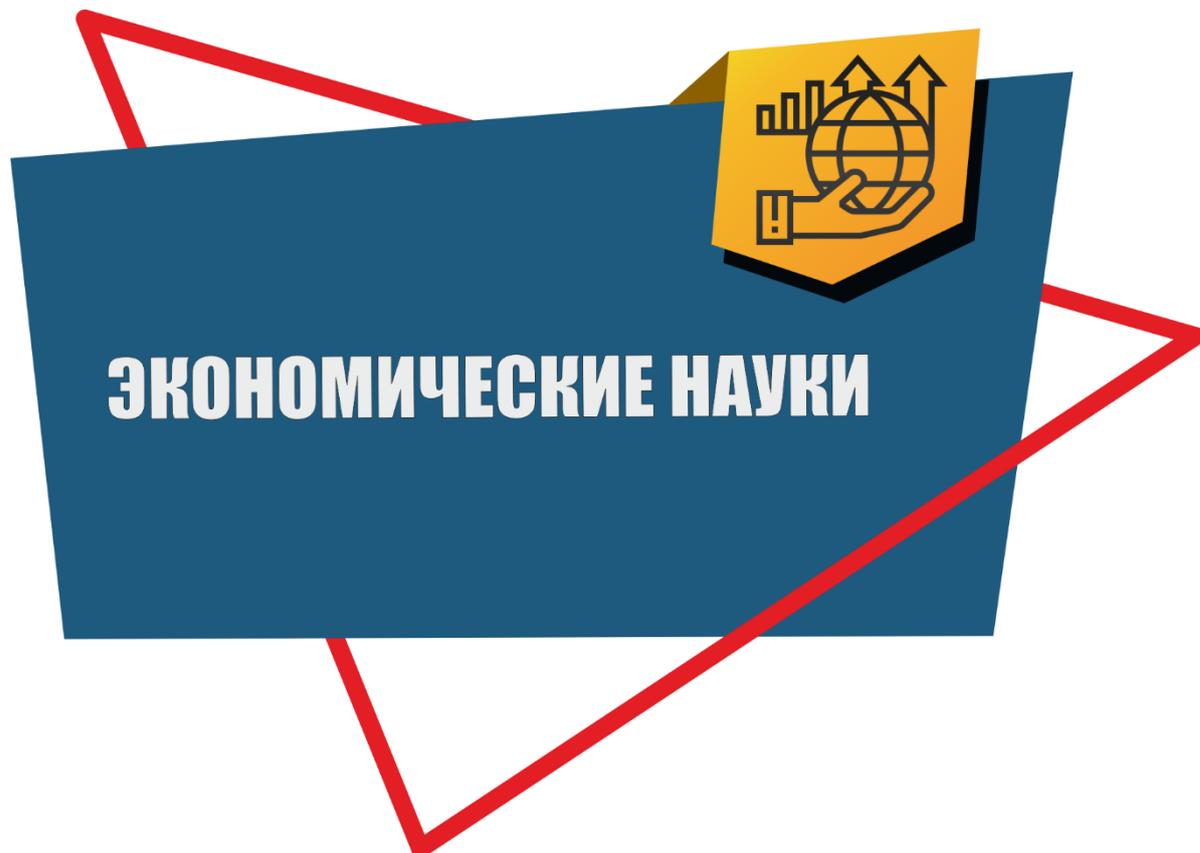
Российская армия сегодня активно использует опыт предыдущих конфликтов, что позволяет избежать ошибок, допущенных в прошлом. Это включает в себя как анализ успешных операций, так и изучение неудач, что способствует более глубокому пониманию динамики современных боевых действий. В этом контексте особое внимание уделяется взаимодействию различных родов войск, вопросов материально-технического обеспечения, что обеспечивает максимальную эффективность в выполнении поставленных задач. Министерство обороны ВС РФ активно развивает свои учебные программы и методы подготовки личного состава, что позволяет создавать высококвалифицированные кадры, способные адаптироваться к быстро меняющимся условиям на поле боя. Это, в свою очередь, способствует повышению морального духа и боеспособности войск, что является ключевым фактором в современных военных конфликтах. Таким образом Россия не только сохраняет свои традиции, но и активно внедряет инновации, что позволяет ей оставаться на переднем крае военной науки и практики.

А сегодня, в условиях быстро меняющегося глобального ландшафта, где технологии и тактика постоянно эволюционируют, способность адаптироваться и внедрять новшества становится решающим фактором для успешного ведения боевых действий и достижения победы.

**Список использованной литературы:**

1. Орлов, А. С., Георгиев, В. А., Георгиева, Н. Г., Сивохина, Т. А. История России [Текст] / А. С. Орлов, В. А. Георгиев, Н. Г. Георгиева, Т. А. Сивохина – Москва: Проспект, 2010 – 672 с.
2. Сенин, А. С. Генерал С. А. Ронжин и его очерк о российских железных дорогах в Первую мировую войну. [Текст] / А. С. Сенин – 4 (38). – Москва: Изд-во Ипполитова, 2013 – 88-125 с.
3. Парижская пушка / [Электронный ресурс] // Военное обозрение : [сайт]. – URL: <https://topwar.ru/106757-parizhskaya-pushka.html> (дата обращения: 28.03.2025).
4. Первая мировая война 1914-1918 г / [Электронный ресурс] // Большая Российская энциклопедия: [сайт]. – URL: <https://bigenc.ru/> (дата обращения: 28.03.2025).
5. Власов П. Российский флот: подводные лодки Балтики / Власов П. [Электронный ресурс] // Герои и оружие прошлого: [сайт]. – URL: [https://dzen.ru/id/5df249cdc31e4900b1b8683b?share\\_to=link](https://dzen.ru/id/5df249cdc31e4900b1b8683b?share_to=link) (дата обращения: 28.03.2025).
6. Денисов А. Брусиловский прорыв / Денисов А. [Электронный ресурс] // Военное обозрение: [сайт]. – URL: <https://topwar.ru/> (дата обращения: 28.03.2025).
7. Сборник Института мирового хозяйства и мировой политики Коммунистической академии Мировая война в цифрах [Текст] / – Москва: Государственное военное издание, 1934 – 132 с.
8. Михайлов, В. В. Перспективные направления развития форм военных действий / В. В. Михайлов, Е. В. Корсунь, П. В. Жуков // Фундаментальные и прикладные аспекты развития современной науки: сборник научных статей по материалам XIV Международной научно-практической конференции, Уфа, 23 февраля 2024 года. – Уфа: Научно-издательский центр "Вестник науки", 2024. – С. 100-107. – EDN JSDBKT.
9. РЕН ТВ. Полковник ВВС Франции заявил о превосходстве РФ в военной технике и стратегии / [Электронный ресурс] // РЕН ТВ: [сайт]. – URL: <https://ren.tv/news/v-mire/1319895-frantsuzskii-voennyi-ekspert-otmetil-prevoskhodstvo-rf-v-voennoi-tekhnikе> (дата обращения: 28.03.2025).

© Михайлов В.В., Жуков П.В., 2025



УДК 338.48

## **ГЛАВА 8**

### **ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ СРЕДСТВ РАЗМЕЩЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ ГЛЭМПИНГОВ В РФ**

**Вишневская Е.В.**

доцент кафедры международного туризма и гостиничного бизнеса

**Слинкова О.К.**

профессор кафедры международного туризма и гостиничного бизнеса

**Богомазова И.В.**

зав. кафедрой международного туризма и гостиничного бизнеса

НИУ «БелГУ», г. Белгород, РФ

**Аннотация.** В статье проведен анализ динамики развития глэмпингов в РФ, рассмотрены виды, особенности и перспективы данного вида средств размещения. Глэмпинги активно внедряют в свою деятельность экологически чистые методы, например, использование возобновляемых источников энергии, сокращение отходов и включение экологически чистых строительных материалов в строительство. Ключевыми факторами, стимулирующими рост рынка глэмпинга, являются рост популярности экотуризма и склонность потребителей к приключенческим путешествиям, а также растущая популярность оздоровительного туризма из-за увеличения числа путешественников.

**Ключевые слова.** Средство размещения, глэмпинг, туризм, экологичность

## **TRENDS IN THE DEVELOPMENT OF SPECIALIZED TOOLS PLACEMENT ON THE EXAMPLE OF GLAMPING IN THE RUSSIAN FEDERATION**

**Vishnevskaya E.V.**

associate professor, department of international tourism and hospitality

**Slinkova O.K.**

professor, department of international tourism and hospitality

**I.V. Bogomazova**

head department of international tourism and hospitality

Belgorod State National Research University

Belgorod, Russia

**Annotation.** The article analyzed the dynamics of glamping development in the Russian Federation, considered the types, features and prospects of this type of

accommodation facilities. Glam-pings are actively introducing environmentally friendly methods into their activities, for example, the use of renewable energy sources, reduction of costs and the inclusion of environmentally friendly building materials in construction. The key factors driving the growth of the glamping market are the increasing popularity of ecotourism and the propensity of consumers for adventure travel, as well as the increasing popularity of health tourism due to the increasing number of travelers.

**Keywords.** Accommodation, glamping, tourism, sustainability

Многообразие видов специализированных средств размещения, их особенности и различия по многим параметрам (вместимости, расположению, ассортименту услуг и т.д.) не позволяет выработать единую концепцию развития. Поэтому мы выбрали один из наиболее востребованных в настоящее время видов специализированных средств размещения – «глэмпинг».

Сегодня меняется структура туристических продуктов. Классический формат «аэропорт – отель – пляж» уходит на второй план и уступает место различным вариантам отдыха: от активного отдыха на природе до гастрономических и экотуров. Популярность в России набирает новый формат жилья для туристов – глэмпинги.

Термин «глэмпинг» появился в 2005 году и сегодня является одним из самых актуальных туристических трендов – наряду с другими популярными гибридами, такими как «bleisure», «стейкэйшн», «воркейшн», «экотуризм» и так далее. Востребованность глэмпингов как специализированного средства размещения связана с трендом на получение новых, необычных впечатлений, комфортабельностью и возможностью уединиться на природе [4].

Глэмпинг – это разновидность кемпинга, где путешественники могут наслаждаться роскошными условиями, отдыхая в малоизвестных местах и кемпингах. Само слово «глэмпинг» сочетает в себе гламурность и кемпинг, воплощая более современную форму традиционного кемпинга [2].

Популярность глэмпинга связана с желанием современных путешественников погрузиться в природу. Глэмпинг является отличной альтернативой для тех, кто хочет удалиться от городской суеты и насладиться отдыхом на открытом воздухе. Спрос на устойчивые и экологически чистые путешествия растет, что приводит к всплеску популярности высококлассных

кемпингов. Глэмпинг, как правило, предлагает красивые виды местности и роскошную обстановку внутри, все это способствует росту популярности данного средства размещения.

Одним из недостатков глэмпинга является его капиталоемкость, особенно по сравнению с традиционным кемпингом. Инфраструктура, удобства и обустройство номеров требуют значительных инвестиций. Кроме того, на финансовые показатели деятельности глэмпингов часто влияют сезонные изменения и погодные условия – многие объекты закрыты в зимние месяцы, что ограничивает круглогодичный доход [9].

Размер мирового рынка глэмпингов оценивается специалистами в 2 млрд. дол. в 2022 году, и, по оценкам, он вырастет на 8,1% в период с 2023 по 2032 год. Большую роль в популяризации глэмпингов играют платформы социальных сетей, так как путешественники часто демонстрируют свой туристический опыт, что повышает спрос на необычные места размещения [3].

Ограничения на поездки, введенные в период пандемии, серьезно сократили туристические мероприятия, в том числе число бронирований средств размещения и глэмпингов. Многие глэмпинги были вынуждены закрыться или работать с пониженной загруженностью.

Тренд на устойчивость и экологичность, который характеризует в последние десятилетия сферу туризма, проявляется и в индустрии глэмпинга. Многие глэмпинги активно внедряют в свою деятельность экологически чистые методы, например, использование возобновляемых источников энергии, сокращение отходов и включение экологически чистых строительных материалов в строительство.

Распространены несколько видов глэмпингов:

- палатка – дом из экологичных материалов, разной вместимости;
- A-Frame (А-фрейм) – домики треугольной формы, их ещё называют дом-шалаш или дом буквой «А», рассчитаны до 4 человек;
- юрта – простая конструкция, состоящая из каркаса (из реек и брусьев) и натянутой циновки (защищает от ветра и дождя);
- капсула – деревянные овальные домики с панорамным видом, внутри, как правило, умещается двуспальная кровать, раздвижной диван, тумбы для вещей,

посуда, кондиционер, электричество;

- дом на дереве – экодомики располагают среди деревьев на высоте 4 метра, в них проведены все коммуникации: есть свет и вода;

- вагончики, преимущество заключается в мобильности: могут перемещаться и устанавливаться за короткое время в любом месте. После монтажа в них есть удобная постель, шкафчик для одежды, кухонная зона;

- морской контейнер – современный тип глэмпинга, где тару для перевозки морских грузов адаптировали для повседневной жизни со всеми удобствами – от света и воды до отопления.

Увеличение числа мест, где гости могут остановиться и отдохнуть с комфортом, способствует и увеличению спроса на внутренний туризм. Так, в прошлом году турпоток вырос на 20%, а выручка предприятий туристической индустрии – в 1,5 раза. Этих результатов удалось достичь благодаря мерам поддержки со стороны государства, в том числе реализации национального проекта «Туризм и индустрия гостеприимства». Особую роль сыграли субсидии, которые выделяет Министерство экономического развития, и льготное кредитование инфраструктурных объектов [12].

По данным ассоциации, в России на сегодняшний день действуют более 550 проектов в этой сфере (рис. 1). Причем более половины из них, 66%, ориентированы на всесезонный отдых. Больше всех проектов реализовала Московская область. Здесь для туристов работают уже 56 глэмпингов. Второе место занимает Татарстан, который реализовал уже 42 объекта. Третья позиция – у Краснодарского края, где гости могут выбрать глэмпинг среди 41 варианта. И, учитывая растущую популярность такого вида отдыха, это количество будет расти. В планах на этот год появление до 700 таких объектов по всей стране [1].

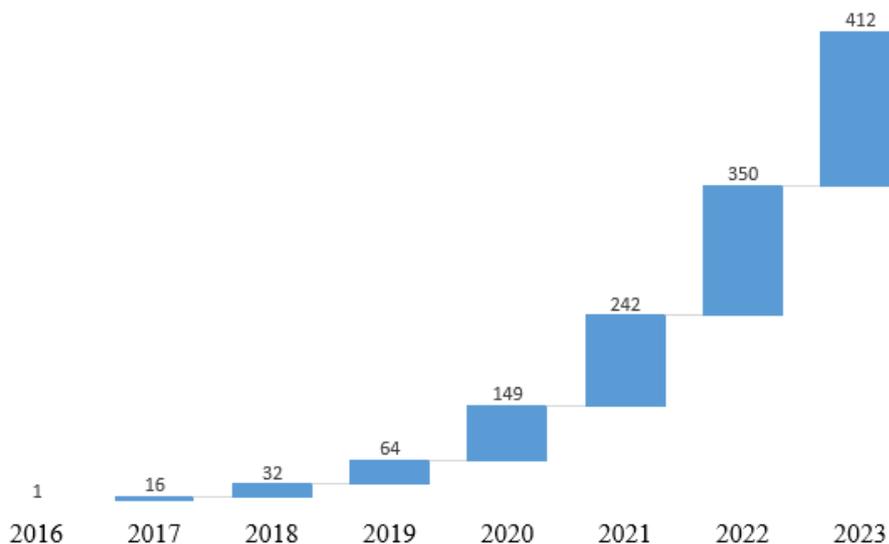


Рис. 1. Динамика развития глэмпингов в России

В 2025 году планируется ввести в эксплуатацию 14 тысяч номеров в российских модульных отелях.

Прогноз развития рынка глэмпингов по типам представлен на рисунке 2.

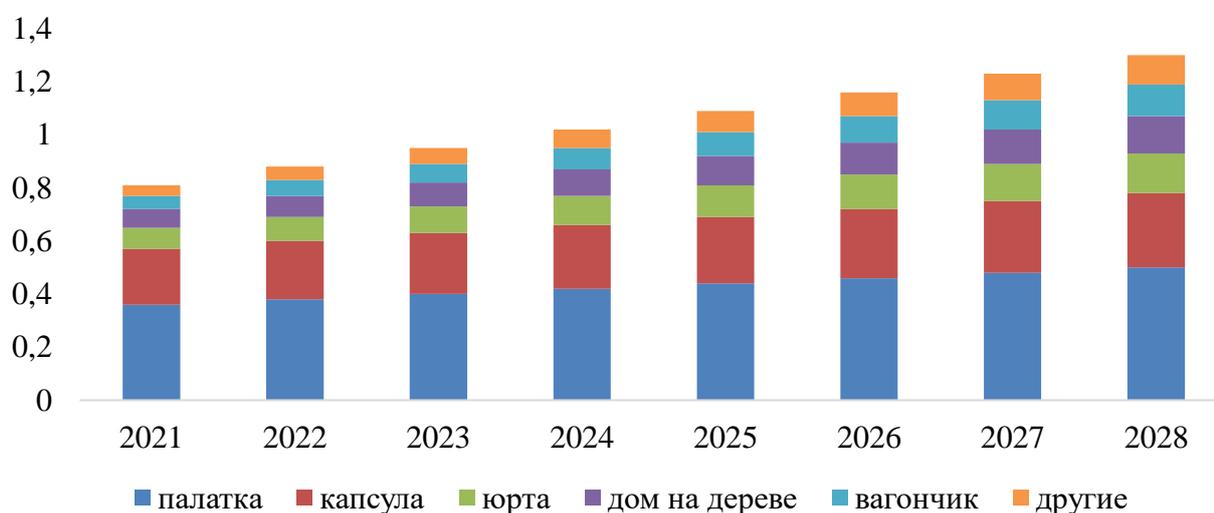


Рис. 2. Прогноз развития рынка глэмпингов по типам, млрд. долл. 2021-2028 гг.

Преимущества глэмпингов отражены на рисунке 3.

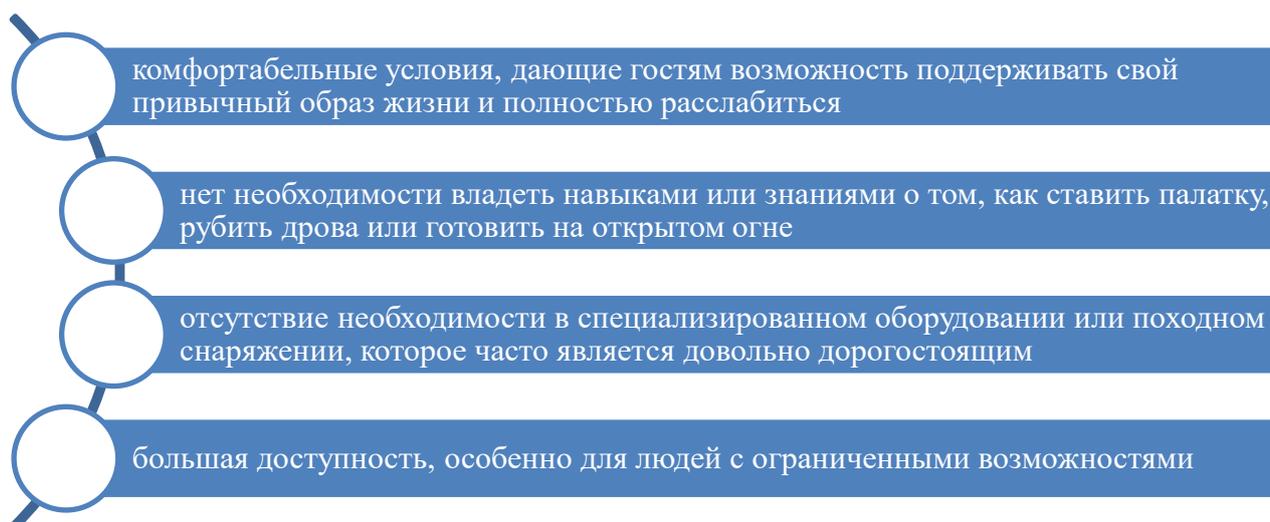


Рис. 3. Преимущества глэмпингов

Глэмпинг предоставляет путешественникам отличное сочетание – приключенческий отдых на природе с множеством доступных эксклюзивных развлечений, но в комфортных условиях со всеми необходимыми мерами безопасности [8].

Исследователи выделяют 4 основные типа объектов в зависимости от внешнего устройства: дом, геокупол, палатка и другое [11]. Каждый из перечисленных типов включает подтипы, которые представлены на рисунке 4.



Рис. 4. Типы жилых модулей глэмпингов

Ключевыми факторами, стимулирующими рост рынка глэмпинга, являются рост популярности экотуризма и склонность потребителей к приключенческим путешествиям, а также растущая популярность оздоровительного туризма из-за увеличения числа путешественников.

Анализ исследований рынка глэмпингов показывает, что сегмент «палатка» доминирует, доля рынка – около 0,88 млрд долл. в 2022 году. Данный тип глэмпингов обеспечивает более высокий уровень укрытия и изоляции по сравнению с традиционными палатками, что делает его пригодным для круглогодичного проживания. Возможность проживать вне зависимости от сезона привлекает гостей в непиковые месяцы, увеличивая потенциал доходов для операторов глэмпинга. Кроме того, тип глэмпингов «палатка» может широко варьироваться по размеру и дизайну, привлекая широкий спектр путешественников, от пар, ищущих романтическое убежище, до семей, ищущих просторные номера.

Тип глэмпингов «палатка» представляют собой самый большой сегмент на рынке, находящий отклик у широкого круга клиентов благодаря идеальному сочетанию комфорта и погружения в природу. Эти сооружения, часто спроектированные с использованием экологически чистых материалов и современных удобств, создают домашнюю атмосферу в окружении природы. Их популярность проистекает из их универсальности, привлекательной как для искателей приключений, так и для тех, кто ищет спокойное уединение. Этот сегмент привлекает разнообразную клиентуру, включая семьи, пары и одиноких путешественников, которые ценят баланс деревенского шарма и современной роскоши. Рост в этом сегменте также обусловлен растущим числом сайтов, инвестирующих в высококачественные и долговечные домики, которые предлагают круглогодичное размещение, тем самым расширяя свою привлекательность.

Напротив, тентовый сегмент, хоть и не самый большой, но имеет значительную привлекательность на рынке. Они варьируются от простых, элегантно оформленных палаток до роскошных номеров в стиле сафари, предлагающих аутентичный кемпинг с дополнительным комфортом. Палаточный глэмпинг идеально подходит для тех, кто ищет более тесную связь с природой,

привлекает путешественников, которые хотят насладиться традиционными элементами кемпинга, не отказываясь при этом от современных удобств.

Кроме того, юрты заняли уникальную нишу на рынке, предлагая сочетание традиционного дизайна и современных удобств. Их круглая форма и просторные интерьеры создают неповторимые впечатления, привлекая тех, кто ищет нетрадиционный отдых. Юрты особенно популярны среди любителей культуры и искателей приключений.

Глэмпинг типа «домик на дереве» привлекает сегмент рынка, ищущий очаровательный и причудливый опыт. Эти номера, часто расположенные высоко на деревьях, предлагают уникальный вид на окружающий ландшафт и чувство приключений, привлекая семьи и пары, ищущие незабываемый отдых.

Возрастная сегментация клиентов глэмпингов представлена на рисунке 5.

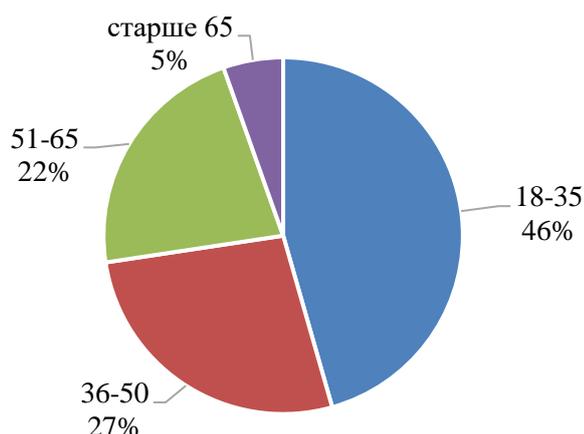


Рис. 5. Возрастная сегментация клиентов глэмпингов

Гости глэмпингов в возрасте 18-35 лет составили более 45% доли рынка глэмпинга в 2022 году, что говорит о том, что это занятие стало популярным среди молодого поколения. Вторая по численности возрастная группа – 33-50 лет, на неё приходится 27% респондентов. Данная возрастная группа с большей вероятностью будет искать опытные и приключенческие путешествия, оценивая подлинность и значимый опыт по сравнению с традиционной роскошью. Глэмпинг позволяет им отдохнуть на открытом воздухе, будь то в уединенном лесу, на живописном склоне холма или рядом с нетронутым пляжем, не жертвуя комфортом или безопасностью.

Глэмпинги как средство размещения во время отдыха предпочитают выбирать семейные пары с детьми (рис. 6). Результаты исследований показывают, что также глэмпинги пользуются популярностью у туристов, которые совершают поездку вдвоем (20%).

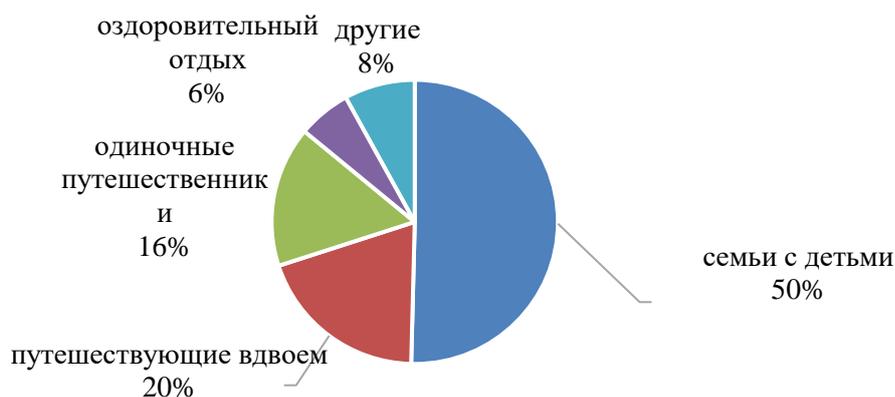


Рис. 6. Сегментация клиентов глэмпингов, 2022 г.

В отличие от традиционного кемпинга, глэмпинг предлагает такие удобства, как удобные кровати, ванные комнаты и полностью оборудованные кухни, которые необходимы для семей с детьми. Этот дополнительный комфорт и удобство делают отдых на свежем воздухе более доступными и приятными для родителей и их детей. Таким образом, данный фактор способствует росту рынка [10].

Формат глэмпинга, то есть «гламурного кемпинга», в России становится все более популярным. Люди, уставшие от шума и суеты, ищут тишины и уединения вдали от большого города. Однако отдых в палатке всегда связан с элементарными бытовыми неудобствами – отсутствием индивидуального душа и туалета, интернета, вкусной готовой еды. На смену традиционным кемпингам приходит глэмпинг – жизнь на лоне дикой природы, но в условиях отельной роскоши [7].

Программа госсубсидирования и невысокие первоначальные инвестиции привели к росту предложения глэмпингов в России за год в 2,5 раза. Но стимулировать интерес путешественников к формату становится сложнее: его аудитория остается ограниченной, а спрос сезонным. Это сдерживает рост цен и снижает инвестиционную привлекательность [6].

Количество глэмпингов в России за год выросло в два с половиной раза, до 4 тыс. открытых к бронированию объектов по итогам октября, 2024 г. В «Островке» зафиксировали рост предложения на платформе за год на 82% (более 330 объектов). В OneTwoTrip отметили увеличение числа подключенных глэмпингов за год на 75%.

В основном молодое поколение является основным целевым рынком для глэмпинга. В 2019 году 60% любителей глэмпинга в Северной Америке – это миллениалы или представители поколения Z. Миллениалы в частности составляют 48% путешественников, которые любят гламур. Ожидается, что в течение следующих восьми лет, с 2022 по 2030 год, среднегодовой темп роста индустрии глэмпинга составит 10,9%.

Доля рынка глэмпингов в Северной Америке в 2023 году составила 43,4%. Высокий доход на душу населения в регионе улучшает доступность глэмпинга для большей части населения, тем самым стимулируя рост рынка. Кроме того, введение планов путешествий, предлагающих глэмпинг в необычных живописных местах по всему североамериканскому континенту, будет стимулировать рост рынка. Склонность потребителей в регионе к роскошным впечатлениям с намеком на естественный отдых играет положительную роль в развитии рынка. Растущее присутствие контента в социальных сетях с обзорами этих мест для привлечения большего количества потребителей будет способствовать росту рынка.

В 2021 году крупнейшим рынком глэмпинга в мире стала Европа, на долю которой приходится 35,11% рынка. Франция является ключевой страной в Европе в этой отрасли, продвигая глэмпинг с 8000 кемпингами. Во Франции насчитывается 8000 кемпингов, что делает её одной из главных стран, продвигающих глэмпинг в Европе. Однако во Франции доходы от традиционных кемпингов сократились: за последние два десятилетия закрылось более 1000 традиционных кемпингов. Растущая популярность глэмпинга связана с увеличением числа поездок на выходные. В 2019 году 1,5 миллиона жителей Ирландии отправились в поездку на выходные, что на 15% больше, чем в предыдущем году.

Помимо США, Великобритании и Франции, лидерами по развитию глэмпинга являются Канада, Испания, Россия, Япония, Германия, Китай и Австралия. Индустрия автодомов растет в Канаде: только в 2019 году было произведено 416

миллионов автодомов, но люди также начинают рассматривать глэмпинг как альтернативу автодомам и традиционному кемпингу.

Драйверами рынка глэмпингов на современном этапе развития средств размещения, по нашему мнению, является растущее влияние социальных сетей – социальные сети стали неотъемлемой частью жизни каждого человека в современном мире. Растущее присутствие блогеров в сфере красоты, образа жизни и путешествий изменило маркетинговый ландшафт, поскольку все больше компаний нацелены на аудиторию, сотрудничая с этими инфлюенсерами. Точно так же туристические компании, предлагающие услуги глэмпинга, или правительства, стремящиеся улучшить свой туризм с помощью глэмпинга, приглашают этих влиятельных лиц в эти глэмпинги для проживания, прося их рассмотреть и продать места. Эти инициативы направлены на повышение осведомленности о глэмпинге и трансляцию предложений и пакетов через инфлюенсеров. Наряду с рекламой глэмпинга через инфлюенсеров, для привлечения потребителей используется таргетированная реклама. Таким образом, растущее влияние социальных сетей, улучшающее видимость глэмпинга, будет стимулировать рост рынка.

Ограничивает рост рынка глэмпингов высокая стоимость глэмпинга – глэмпинг по своей сути является роскошным опытом, что делает его дорогостоящим для большинства путешественников. Кроме того, молодые путешественники, которые ездят на рынке кемпингов, испытывают нехватку денег в молодые годы. Кроме того, большинство отдыхающих предпочитают традиционный способ кемпинга, чтобы познакомиться с нетронутой и аутентичной природой. Некоторые предпочитают обучение, отсутствие роскоши и признательность за повседневный комфорт роскошному глэмпингу. Поэтому высокая стоимость глэмпинга будет ограничивать рост рынка.

Растущая диверсификация туристического портфеля за счет глэмпинга обусловлена растущим располагаемым доходом потребителей, который повысил их готовность тратить деньги на отдых. Кроме того, ограничения на передвижение и собрания во время пандемии оказали положительное влияние, поскольку люди стали больше осознавать необходимость проводить больше времени с семьей, друзьями, путешествовать и наслаждаться качественным временем. Помня об

этих изменениях, существующие туристические агенты или компании расширили свои портфели продуктов, включив в них глэмпинг. Кроме того, поиск новых мест, необычных и вдали от городов, чтобы предложить тихие, уединенные и роскошные впечатления, позволяет компаниям привлекать новых клиентов с помощью своих уникальных предложений. Таким образом, внедрение глэмпингов существующими туристическими и туристическими компаниями для привлечения потребителей откроет выгодные возможности для роста мирового рынка глэмпингов.

В Крыму появляется всё больше вариантов отдыха в необычных природных локациях. Это дома-шалы, эко-купола, шатры-палатки и сафари-тенты, расположенные в живописных местах: под средневековым городом-крепостью, на берегу моря и в можжевелевой роще.

В Крыму на сегодняшний день реализовано 27 глэмпинг-проектов. Республика на четвертом месте после Московской области (48 проектов), Краснодарского края (38 проектов) и Ленинградской области (36 проектов). Весной президент поручил правительству РФ выделить в 2023–2024 годах не менее 8 млрд руб. на создание модульных отелей. Тогда же сообщалось, что еще 5,1 млрд рублей правительство потратит на создание туристической инфраструктуры на особо охраняемых природных территориях [5].

Например, глэмпинг Extreme Крым – на стартовом этапе объект насчитывал 7 отдельно стоящих модульных строений – юнитов, а в 2022 году благодаря поддержке, расширился до 30 комфортабельных юнитов четырёх разных типов. Об этом сообщили в пресс-службе Министерства курортов и туризма Крыма.

Также построены новые модули «Оленевка Вилладж» - 50 модулей по 50 номеров на 100 человек. В 2022 году общее финансирование модульных гостиниц составило 304,5 млн руб. Благодаря чему создано 11 новых комплексов модульных некапитальных средств размещения на 249 номеров (942 койко-места) с привлечением порядка 100 рабочих мест. При этом средства выделялись на условия софинансирования с бизнесом.

В Севастополе за счёт бюджетных средств глэмпинг обустроила агрофирма «Золотая балка». Однако ряд проектов не выглядят хорошо проработанными. За счёт федерального гранта строится глэмпинг в оползнеопасной зоне в районе пляжа «Дельфин» в бухте Ласпи.

### Список использованной литературы

1. Ассоциация по поддержке развития URL: Глэмпингов <https://glamping-association.ru/agr> (дата обращения 11.03.2025)
2. Бондарева М. М. Тенденции развития глэмпингов в России / М. М. Бондарева // Студенческий научный форум: сборник статей XIV Международной научно-практической конференции. В 2 ч., Пенза, 27 ноября 2024 года. Пенза: Наука и Просвещение (ИП Гуляев Г.Ю.), 2024. С. 54-56.
3. Витрищак А.В., Арсений Р.М. Проблемы регулирования деятельности глэмпингов в Российской Федерации // Потенциал индустрии туризма и гостеприимства: традиции, инновации, перспективы: Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Москва, 04 декабря 2023 года. М.: ИД Университетская книга, 2024. С. 23-27.
4. Добренский Д.О. Глэмпинг новый вид экологического туризма // Проблемы и перспективы современного туризма: Сборник тезисов по материалам XV Международной научно-практической студенческой конференции, Тула, 07 декабря 2023 года. Тула: Тульский государственный университет, 2023. С. 49-51.
5. Ибрагимов Э.Э., Верна В.В., Скараник С.С. Перспективы развития глэмпинга как современного направления в экологическом туризме Республики Крым // Геополитика и экогеодинамика регионов. 2024. Т. 20, № 1. С. 55-67.
6. Ивакин В. Н. Влияние господдержки на строительство глэмпингов // Технологические инновации и научные открытия: Сборник трудов по материалам XVIII Международного конкурса научно-исследовательских работ, Уфа, 21 июля 2024 года. Уфа: Общество с ограниченной ответственностью "Научно-издательский центр "Вестник науки", 2024. С. 111-115.
7. Калинина К.А., Карасев И.Е. Глэмпинги как современный тренд туристской сферы (на примере Омской области) // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России: Материалы XX Всероссийской (национальной) научно-технической конференции, Екатеринбург, 01–14 апреля 2024 года. Екатеринбург: Уральский государственный лесотехнический университет, 2024. С. 153-156.
8. Кобец М. В. Глэмпинг как новая форма туризма для миллениалов // Russian Economic Bulletin. 2024. Т. 7, № 5. С. 251-257.
9. Муртазина А. В. Проблемы проектирования и функционирования объектов глэмпинга // Гуманитарное знание и современные технологии: стратегии, практики, перспективы: 7-й молодежный конвент УрФУ: материалы международной конференции, Екатеринбург, 23-25 марта 2023 года. Екатеринбург: Уральский государственный педагогический университет, 2023. С. 359-361.
10. Парфенова И.А., Спирина Е.Ю. Глэмпинг как способ организации ландшафта объектов экотуризма в Крыму // Южный урбанистический форум: наука и практика: Сборник научных трудов, Севастополь, 22–24 апреля 2024 года. Севастополь: Севастопольский государственный университет, 2024. С. 272-276.

11. Шилкина Т.Е., Смирнова И.П. Глэмпинг-бум в России: почему этот вид отдыха стал популярным // Транспорт. Горизонты развития: Труды 4-го Международного научно-промышленного форума, Нижний Новгород-Новосибирск-Владивосток-Самара, 23–26 апреля 2024 года. Нижний Новгород: Волжский государственный университет водного транспорта, 2024. С. 225.

12. Шилко Е.О., Генералова Е.М. Особенности формирования объектов экологического туризма в России на примере глэмпингов // Новые идеи нового века: материалы международной научной конференции ФАД ТОГУ. 2024. Т. 2. С. 283-287.

©Вишневская Е.В., Слинкова О.К., Богомазова И.В., 2025

УДК 338.48

## ГЛАВА 9

# ВОПРОСЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТУРИСТИЧЕСКИХ ТРОП И ИХ КЛЮЧЕВАЯ РОЛЬ В ИНФРАСТРУКТУРЕ АКТИВНОГО ТУРИЗМА (НА ПРИМЕРЕ ОПЫТА РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН)

**Галимова Л.И.,**

кандидат экономических наук, доцент  
Казанский (Приволжский) федеральный университет  
Г. Казань, РФ

**Аннотация.** В последние годы активный туризм становится все более популярным среди путешественников, стремящихся к новым впечатлениям и взаимодействию с природой. Важным аспектом этого направления является создание и обустройство туристических троп, которые способствуют безопасному и комфортному передвижению по природным ландшафтам.

В статье рассматриваются ключевые вопросы, связанные с содержанием понятийного аппарата, с регламентацией туристской деятельности на разных категориях земли, а также делается акцент на технологию проектирования, строительства и дальнейшей совместной организационной работы с органами государственной власти, частным бизнесом и местным населением на примере «Волжской тропы», расположенная на территории Республики Татарстан.

Также подчеркивается роль туристических троп в развитии активного туризма, их влияние на привлечение туристов, поддержку местной экономики и сохранение природного наследия. Обустройство троп способствует не только увеличению потока туристов, но и формированию ответственного отношения к окружающей среде. Актуальность темы создания и обустройства туристических троп и их роли в развитии активного туризма обусловлена несколькими факторами. Во-первых, с ростом интереса к активному отдыху и экотуризму увеличивается потребность в безопасных и удобных маршрутах, которые позволяют путешественникам наслаждаться природой и открывать новые горизонты. Во-вторых, правильно спроектированные тропы способствуют не только привлечению туристов, но и поддержанию местной экономики, создавая рабочие места и способствуя развитию инфраструктуры.

Целью исследования является изучение вопросов создания и обустройства туристических троп и их роли в развитии активного туризма, а также выявление проблем по определению статуса туристической тропы. Методологическую основу исследования составляют логический и системный анализ работ, посвященные вопросам организации туристических маршрутов и троп, а также анализ статистических данных. Сделана попытка изложить результаты анализа

административной практики и интерпретировать нормативные документы государственных ведомств.

Таким образом, комплексный подход к созданию туристических троп является ключом к устойчивому развитию активного туризма, что делает данную тему особенно актуальной в современных условиях.

**Ключевые слова.** Туристическая тропа, экологическая тропа, туристский маршрут, Волжская тропа,

Вопрос о том, что представляет собой туристская тропа, становится всё более актуальным и остро обсуждается на многочисленных конференциях, посвящённых развитию активного туризма и охраны окружающей среды. Отсутствие чёткого законодательного определения и размытость понятийного аппарата приводят к длительным дискуссиям и разногласиям среди участников проектов, связанных с созданием и развитием туристических маршрутов.

Ситуация осложняется тем, что разные нормативные документы предлагают различные, а порой и противоречивые, трактовки ключевых терминов, таких как «туристско-рекреационная тропа» и «экологическая тропа». Рассмотрим существующие определения. ГОСТ Р 56642-2021 «Туристские услуги. Экологический туризм. Общие требования» в пункте 3.3 определяет туристско-рекреационную тропу (экологическую тропу) как «естественным или искусственным образом сформированную полосу движения на местности, используемую для организации движения посетителей по туристско-рекреационному маршруту».[2] Такое определение, по сути, сводит понятие тропы к простой полосе движения, не отражая её функциональных особенностей и целей создания. Этот подход заметно упрощает сложную реальность, игнорируя различия между тропами, созданными для разных целей и в разных условиях.

Федеральный закон № 132 от 21.11.1996 г. «Об основах туристской деятельности в РФ» также предлагает своё определение, но, как и ГОСТ, не даёт исчерпывающего представления о сущности туристической тропы.[5]

Рассмотрим Распоряжение Минприроды России № 37-Р от 22.12.2020 г., где экологическая тропа определяется как «обустроенный маршрут, создаваемый с целью экологического просвещения населения». Это определение сужает понятие экологической тропы, ограничивая её рамками особо охраняемых природных территорий (ООПТ) местного, регионального или федерального значения.[4]

Однако, многие тропы проходят через территории, не имеющие статуса ООПТ, например, через земли сельских поселений или земли лесного фонда. Называть такие тропы исключительно «экологическими» было бы некорректно, так как это вводит в заблуждение и не отражает всей полноты их функционального предназначения. Необходимо более глубоко проанализировать и понятие «туристический маршрут», так как часто в обращении туроператоры используют не понятие тропа, а понятие туристический маршрут, подразумевая тропу.

Федеральный закон № 132 от 21.11.1996 г. определяет «Туристический маршрут» как «путь следования туристов, включающий в себя посещение и (или) использование туристских ресурсов». Данное определение, хотя и более широкое, чем определение тропы, всё же недостаточно конкретно для того, чтобы охватить все нюансы, связанные с созданием и функционированием туристических троп.[5]

Национальный стандарт Р50681-2010 «Туристские услуги. Проектирование туристских услуг» также предлагает свою трактовку, однако, без детального ознакомления с текстом стандарта невозможно оценить его соответствие современным требованиям и потребностям.[1]

Проблема усугубляется тем, что термин «туристская тропа» не имеет однозначной интерпретации. Под этим термином могут пониматься как длинные маршруты, пересекающие значительные территории, так и более короткие, локальные тропы, имеющие региональное значение. Отсутствие чёткого определения приводит к путанице и затрудняет разработку единых стандартов проектирования, строительства и эксплуатации таких троп.

Необходимость унификации подходов к проектированию, строительству, содержанию и использованию туристических троп является крайне актуальной задачей. Для этого требуется разработка чёткого законодательного определения «туристской тропы», которое бы учитывало особенности различных типов троп, их географическое расположение, функциональное назначение и экологические характеристики окружающих территорий.

Только комплексный подход, учитывающий все эти факторы, позволит создать эффективную систему управления туристскими тропами и обеспечить их устойчивое развитие. Кроме того, необходимо разработать единые стандарты, регламентирующие все аспекты жизнедеятельности туристских троп, от

проектирования и строительства до эксплуатации и мониторинга состояния окружающей среды. Это позволит избежать дублирования усилий, снизить стоимость строительства и обеспечить высокое качество предоставляемых туристических услуг. Включение вопроса о туристических троп в государственные программы развития туризма также будет способствовать решению этой важной проблемы.

Проведя анализ правовой базы, пришли к выводу, что прилагательное «экологическая» может быть добавлена к слову тропа, только в том случае, если проходит в границах особо охраняемых природных территории. Если тропа проходит по другим категориям земли, таким как сельхоз угодия, лесной фонд, населенный пункт она автоматически теряет статус «экологическая». В самом понятии тропа также есть несоответствие, включив в содержание понятия словосочетание «полоса движения», тропа автоматически приравнивается к статусу автомобильной дороги и попадает под нормативные требования строительства дороги. Получается требования, объем документов и процедура согласования будут одинаковыми как при строительстве дороги в урбанизированной территории, например в Москве, так и при проектировании тропы в лесном фонде.

Определив тропу, как полосу движения, происходит привязка к проезжей части, создаётся ситуация, при которой на тропу в некоторых случаях, не имеющего никакого покрытия инфраструктуры, можно распространить требования и правила, касающиеся дорог, применение регулирования автомобильных дорог для туристических троп избыточно, начиная от требования по разработке проектов планировки и проектов межевания территории и заканчивая требованиями параметров дорог.

Сооружения, которые сейчас создаются при строительстве туристических троп (мостики, настилы) являются объектами не капитального строительства и в случае признания туристской тропы полосой движения невозможно будет обеспечить строительство таких объектов. Как части туристических троп, так как полоса движения не подразумевает такое строительство.[14] Признание туристической тропы полосой движения не позволит привлечь финансирование

для создания туристических троп в отсутствие объекта правообладания и позволит обеспечить управление туристскими тропами, как полосами движения.

А туристический маршрут понимается как некий виртуальный путь следования туристов, и он может проходить, не привязываясь к категории земли.[17] Возникает вопрос как называть участки пути вне особо охраняемых территорий «маршрут» или «тропа»?

Если мы хотим сберечь природу, необходимо на уровне законодательства развести эти понятия.

В Советский период существовала целая система туристических троп всесоюзного и местного значения. Маршруты проходили практически во всех уголках страны: Крым, Алтай, Тянь-Шань, Хибины и многие другие регионы вплоть до Камчатки. К концу 1980-х годов было создано более 350 всесоюзных туристических троп и примерно 6000 троп местного значения. Тропы различались по типу прохождения: пешеходный, водный, лыжный, смешанный. В начальных и конечных точках троп работали туристические базы, оснащенные двух, трехместными домиками, столовой, душевыми, банями и спортивными площадками. Ежегодно по туристическим тропам проходило 80 млн туристов как самостоятельные участники походов и 20 млн туристов принимали участие в туре выходного дня. В том числе были созданы клубы и пункты проката.

Соответственно, можно говорить о наследии советских времён и необходимости возрождения туристических троп.

Согласно исследованию «Тропы России: потенциал развития пешеходных путешествий, выявлено, что в 2024 году было организовано 1754 тропы, из них 1032 тропы протяженностью 5-20 км., 315 троп длиной 20-40 км., 205 троп имеют протяженность 40-100 км, 134 тропы протяженностью 100-200 км. и 68 троп длиной более 200км. (рисунок 1). Это свидетельствует о растущем интересе к активному отдыху и экотуризму, а также о развитии инфраструктуры для туристов.

Рассматривая их географическое положение, мы видим, что 34% экологических троп проходят по землям ООПТ федерального значения, 23% проходят по землям ООПТ регионального значения, 17% туристических троп проложены через земли лесного фонда, 10% троп захватывают земли населенных

пунктов. Тропы проложенные вне территории ООПТ нельзя называть экологическими. Поэтому вопрос стоит о проектировании туристических троп.

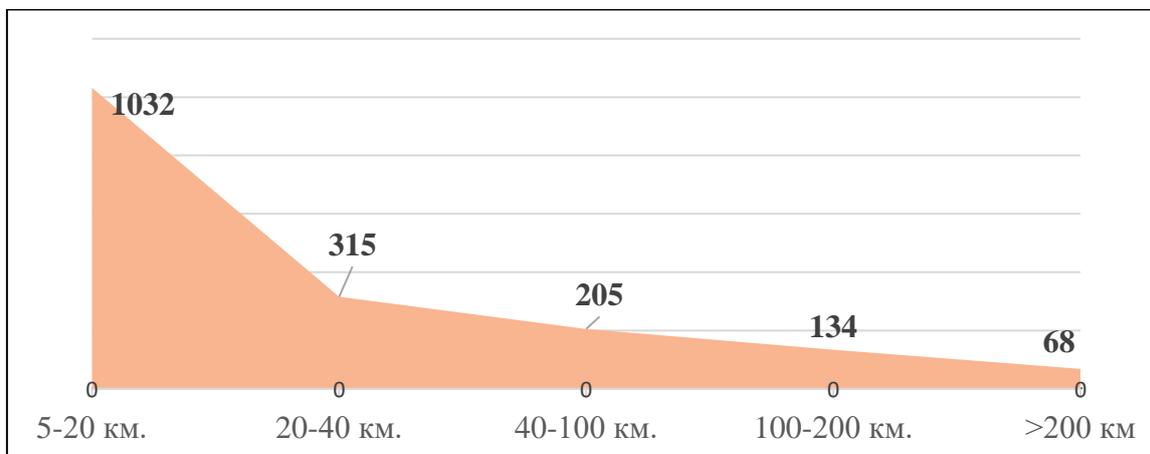


Рисунок 1. Количество туристических троп на территории Российской Федерации, шт., 2024 г. Составлено автором на основе данных [17]

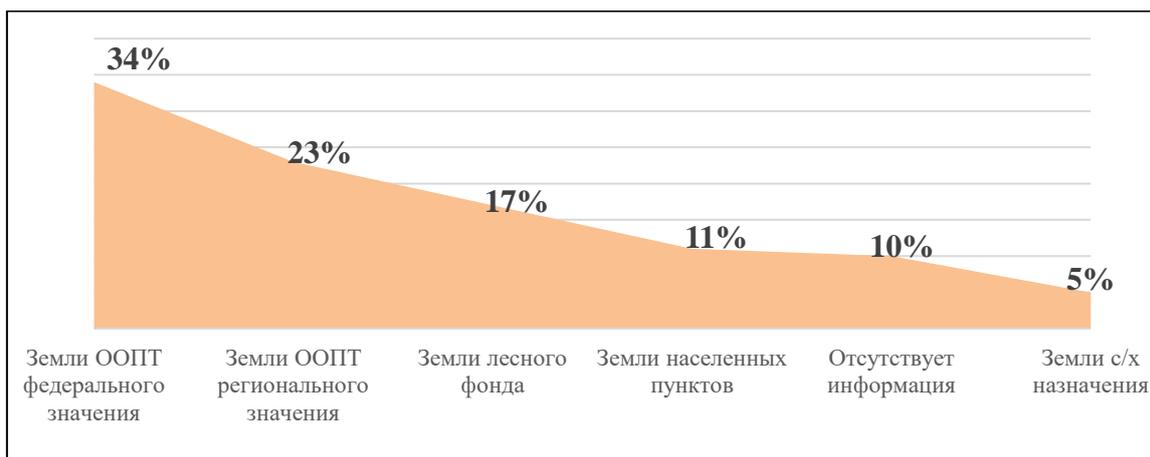


Рисунок 2. Категории земель, по которым проходят туристические тропы, %, 2024г. Составлено автором на основе данных [17]

Больше всего троп выявлено в Приволжском федеральном (более 400) и Сибирском федеральном (свыше 350) округах. Меньше всего — в Северо-Кавказском федеральном (55) и Уральском федеральном (больше 50) округах. В основе развития активного туризма в России, лежит развитая сеть туристических троп, представляющих собой важнейший элемент инфраструктуры. Активный туризм в России многолик и охватывает такие популярные направления, как пеший туризм и велотуризм.

Предоставленные статистические данные Агентства стратегических инициатив, позволяют оценить масштабы явления. На сегодняшний день в России

функционирует 148 уполномоченных маршрутно-квалификационных комиссий, которые играют ключевую роль в организации и контроле за безопасностью походов. Эти комиссии зафиксировали, что значительная часть населения России увлекается пешим туризмом: 22% россиян совершают походы хотя бы раз в сезон. Более того, пешие походы являются предпочтительным видом активного отдыха для 32% населения.[17]

Важно отметить, что 152 тыс. человек ежегодно регистрируются в МЧС, отправляясь в походы в составе организованных групп, что свидетельствует о стремлении к безопасности и ответственности среди туристов. Параллельно с пешим туризмом активно развивается велотуризм. Подавляющее большинство россиян – 86% - умеют ездить на велосипеде, и значительная часть из них (57%) использует велосипед для активного отдыха и путешествий. Однако, некоторые факторы сдерживают развитие велотуризма: 56% россиян указывают на отсутствие надлежащих условий для комфортной езды на велосипеде в местах их проживания. Несмотря на это, велотуризм активно развивается, о чем свидетельствует наличие более 200 тыс. человек, активно участвующих в работе российских велообществ.

Это говорит о формировании активного и организованного велотуристического сообщества, которое способствует развитию инфраструктуры и популяризации этого вида спорта. Кроме того, важную роль в развитии активного туризма играют туристические клубы и центры ГТО. В России функционируют 128 студенческих турклубов, объединенных в систему федерации спортивного туризма России. Программа ГТО (Готов к труду и обороне) также способствует популяризации активного образа жизни. Более 21 млн. человек стали участниками комплекса ГТО. Однако, многие не знают, что можно также пройти испытания, включающие туристический поход с проверкой навыков. Это указывает на необходимость усиления практической составляющей подготовки в рамках программы ГТО, увеличение площадок для сдачи этого норматива.[13]

Из выше сказанного вытекает проблема, что понятие «туристическая тропа» часто смешивают с понятием «маршрут». Отсутствие правовой базы влечет за собой невозможность осуществить финансовые мероприятия по обустройству троп и их дальнейшей эксплуатации.

Надо отметить и негативное антропогенное воздействие на флору и фауну вдоль популярных троп, ненормированная нагрузка и отсутствие логистики, позволяет туристам хаотично перемещаться по территории, создавая стихийный поток, что влечет за собой вытаптывание и уничтожение зеленого покрова.[11] Ярким примером служит Севастопольская тропа, на рисунке 3 видны стихийные перемещения и насколько угнетён ландшафт Балаклавы, где начинается сама тропа. За многие годы отдыхающие натоптали множество тропинок, поэтому тропа — это путь, по которому люди будут идти.



Рисунок 3. Начало Севастопольской тропы. Район Балаклавы [14]

В рамках развития активного туризма органами государственной власти, разрабатываются концепции и программы, которые будут увязывать и кемпинги, и тропу, и все финансовые инструменты и проведут к положительному социально-экономическому эффекту, а также принесут прибыль в регионы, в бизнес, местному населению.

Со слов директора департамента реализации проектов в сфере туристской деятельности Минэкономразвития России Владимира Мирославовича Трач первым этапом решения проблемы, является путь создания туристических троп, и он начинается с внесения изменений в действующий федеральный закон.[122] У федеральных органов государственной власти есть некая тревожность в части отсутствия регламентов создания туристических троп. Необходимо описать

инструменты для определения параметров процесса утверждения тропы, процесса выкупа этих троп, есть ли необходимость вносить тропу в градостроительную документацию.

На данный момент согласован и утвержден пункт, где разрешено представлять тропы без земельного участка, т.е. без сервитута, описан механизм, который предполагает безальтернативную возможность частных землевладельцев установления тропы, решен вопрос о разрешении прохождения тропы по лесам, которые относятся к категории защитных и эксплуатационных лесов.[7] На данный момент остаётся открытым вопрос с Минсельхозом, который ограничивает использование земель сельхозназначения под тропы, объясняя это тем, что сельхозугодия и другие земельные участки, теряют свой физический потенциал.[8]

Законопроектом предусмотрено наличие на тропах санитарных объектов и иных объектов инфраструктуры некапитального типа, таких как глэмпинги или пункты проката, а также разработан макет паспорта тропы, который будет создан инициатором (хранителем) тропы. В паспорт включаются все параметры, вплоть до того, по каким категориям земельных участков проходит тропа, по каким регионам, какой смысл закладывается в эту тропу и какие правила установлены в пути следования, кто отвечает за безопасность тропы.[12]

Одним из ключевых моментов развития троп, является не только создание тропы, но и ее содержание. На моменте организации тропы государство выделяет федеральные деньги, но основной проблемой остается сохранение и восстановление объектов инфраструктуры, которые за несколько сезонов исчерпают свои ресурсы и требуют замены. Если на начальном этапе государство выделяет федеральные деньги, ООПТ их осваивает, а далее возникает вопрос, как передать тропу на содержание и получение прибыли частному бизнесу.

Республика Татарстан предстаёт ярким примером успешной реализации инновационного туристического проекта – «Волжская тропа». Эта амбициозная инициатива, реализованная на базе департамента дирекции по природным территориям Института развития городов Республики Татарстан, представляет собой 350-километровую пешеходную тропу, протянувшуюся вдоль правого берега великой русской реки Волги. Маршрут охватывает значительную часть

территории Татарстана, начинаясь на границе с Ульяновской областью и заканчиваясь на границе с Чувашской Республикой [16].



Рисунок 4. Карта – схема Волжской тропы [16]

Успех проекта впечатляет: если в 2023 году «Волжскую тропу» посетило 5000 туристов, то уже в 2024 году число выросло до внушительных 25 000. Это говорит о несомненном интересе к новому виду отдыха и эффективности проделанной работы. За созданием и развитием «Волжской тропы» стоит многочисленный и высокопрофессиональный консорциум. В него входят архитекторы, проектировщики, представители различных государственных ведомств и муниципальных образований, а также местные краеведы, чьи знания и опыт играют неоценимую роль в сохранении исторического и культурного наследия региона, непосредственно связанного с тропой. Их вклад не ограничивается лишь технической стороной проекта. Краеведы выступают в роли хранителей тропы, делаясь с туристами уникальными историями и легендами, связанными с этим регионом, придавая путешествию особый колорит и глубину.

«Волжская тропа» – это не просто пеший маршрут, а полноценный, самостоятельный туристический продукт, призванный развивать в Татарстане новое перспективное направление – активный пешеходный туризм. Идея создания именно «Волжской тропы» принадлежит Тимуру Ценчуку, автору тропы, который увидел в этом проекте огромный потенциал для привлечения туристов и развития региона.

Миссия проекта – формирование новых моделей поведения, побуждающих людей к активному образу жизни и близкому знакомству с природой. Дирекция департамента по природным территориям института развития городов Республики Татарстан, которая стала куратором проекта, ставит перед собой задачу обеспечить высококачественный отдых на природе как для жителей Татарстана, так и для гостей республики, создавая для этого необходимую инфраструктуру и объекты отдыха. Особое внимание уделяется развитию экотуризма и стимулированию активного образа жизни среди населения. Дальнейшие планы еще более масштабны. В перспективе проект предполагает создание протяженной тропы вдоль всего течения Волги, общей протяженностью 3500 километров, объединяющей 15 субъектов Российской Федерации. Это грандиозный замысел, который потребует значительных усилий и координации на федеральном уровне.[16]

Перед реализацией проекта был проведен тщательный анализ территории. В течение двух лет (2021-2022гг.) будущий маршрут исследовали опытные профессиональные путешественники. Среди них были заслуженный путешественник России Александр Советов, известный кинорежиссер, писатель и путешественник-кругосветчик Валерий Шанин создатель популярного портала о путешествиях [Trekkingmania.ru](http://Trekkingmania.ru), а также Роберт Валеев, инициатор проекта «Трекингмания».[15] Опыт и профессионализм этих экспертов сыграли важнейшую роль в оптимизации маршрута и обеспечении его безопасности и комфорта для туристов. Их знания позволили учесть все особенности местности, обеспечить безопасность маршрута и предусмотреть все необходимые удобства для путешественников разного уровня подготовки.

Тропу также тестировали в рамках своей деятельности туристические группы Good Friends, Kazantracks [15]. В 2022 году на территории республики было организовано три экспедиции, по результатам которых откорректирован трек тропы и спроектировано 7 маршрутов: «Закаты над Волгой», «Путешествия во времени», «Беззаботные субботы», «Вязовские горы», «Пешком до Мальдив», «Хайкинг в Антоновских оврагах», «Сюбура»[16].

На сегодняшний день работает мобильное приложение, в котором загружен трек тропы, точность трека составляет 2-3 сантиметра погрешности,

соответственно, можно спокойно и комфортно по нему пройти. Также тропа оснащена внутренней информационной системой, где загружены все данные по кадастрам, участкам, ограничениям и прочее. Это удобно для размещения инфраструктуры и для совместной работы с муниципалитетами и ответственными органами, с которыми необходимо согласовывать ряд вопросов.

Волжская Тропа предполагает разные сценарии ее прохождения, как подготовленными выносливыми путешественниками на длинные дистанции, так и простыми жителями и гостями Татарстана любого возраста и физической подготовки.[14]

Тропа разделена на четыре участка: Казанский, Верхнеуслонский, Горно-Волжский и Камско-Устьинский. Каждый из них предназначен для определенной категории туристов и предлагает уникальный опыт. Казанский участок, расположен при Казанской агломерации и ориентирован на семейный отдых. Он идеально подходит для молодых родителей с детьми, предпочитающих активное времяпрепровождение на природе. Хорошо разработанные, относительно простые маршруты для пеших прогулок и велосипедных поездок позволят семьям насладиться красотой окружающей природы, не испытывая чрезмерной физической нагрузки. Безопасность и доступность для детей – безусловный приоритет данного участка, тропа проходит по благоустроенным лесным участкам. Переход в Верхнеуслонский участок осуществляется по водному пути, на котором организовано паромное сообщение и есть возможность организации перевозки маломерными судами.

Верхнеуслонский и Камско-Устьинский участки, предлагают похожие возможности для отдыха, но с несколько повышенной сложностью. Они рассчитаны на начинающих туристов, которые стремятся к активному отдыху, но не готовы к экстремальным условиям или серьезным физическим нагрузкам. Три ознакомительных маршрута, проходящих в основном по лесной местности, представляют собой, хорошо обозначенные тропы с возможностью выбора уровня сложности.

В противовес относительно доступным первым трем участкам, Горно-Волжский участок представляет собой совершенно иную категорию. Он предназначен исключительно для опытных туристов, практикующих скандинавскую

ходьбу и хайкинг. Тропа проходит по пересеченной местности, требующих хорошей физической подготовки.

Динамика турпотока за период с 2022 по 2026 годы свидетельствует о растущей популярности тропы. Наблюдается постепенный рост числа туристов из регионов России и даже появление иностранных гостей. В период 2022-2024 годов основную массу туристов составляли жители Татарстана (70%), проживающие в казанской агломерации, а также жители пригородных регионов (20%) и других регионов России (10%). Однако, к 2025-2026 годам прогнозируют иное распределение: доля жителей Татарстана уменьшится до 45%, зато увеличится количество туристов из приграничных муниципальных районов (30%), других регионов России (20%) и, что особенно примечательно, планируется привлечение иностранных туристов (до 5%) [16]. Это говорит об успешной реализации стратегии развития туризма и повышении привлекательности тропы для широкой аудитории.

Что касается благоустройства, тропа оснащена необходимыми элементами инфраструктуры. Навесы вдоль маршрута обеспечивают защиту от непогоды во время дневных переходов. Для ночлега предусмотрены специально оборудованные зоны для костров и установки палаток. Это свидетельствует о заботе об удобстве и безопасности туристов. Важную роль в развитии инфраструктуры тропы сыграли местные предприниматели. Им были предоставлены земельные участки для создания объектов туристической инфраструктуры: глэмпингов, кемпингов, банных комплексов и пунктов проката. Отсутствие строгих ограничений в ведении бизнеса, при условии выполнения обязательных требований к наличию объектов инфраструктуры, стимулировало развитие сервисной зоны и создание комфортных условий для отдыхающих.

Многие городские жители боятся самостоятельно сделать первый шаг по тропе, туроператор «Ума Тур», помогает убрать этот барьер, предлагая организованный трекинг с сопровождением инструктора – экскурсовода.[16]

Это является залогом успешного развития тропы в будущем и повышения ее привлекательности для все большего числа туристов.

#### Вывод

Современный природный туризм, формируется на фундаменте хорошо оборудованных туристических троп. Эти тропы, различающиеся по протяженности,

являются своеобразными артериями, обеспечивающими доступность природных богатств для широких масс. Они пронизывают ландшафт, делая его доступным для путешественников самых разных категорий. От любителей пеших прогулок и паломников до экстремалов, спортсменов, ценителей гастрономического туризма, последователей оздоровительных практик и тех, кто просто ищет отдыха и развлечений – все они пользуются этой разветвленной сетью маршрутов. В некоторых странах сеть туристических троп охватывает всю страну, образуя единую систему перемещения, в других же она представляет собой более плотную, разветвленную сеть, покрывающую отдельные регионы или даже локальные природные зоны.

Однако, ситуация в Российской Федерации существенно отличается от мировой практики. На сегодняшний день в России отсутствует общепринятая, унифицированная система классификации туристических троп на национальном и региональном уровнях [9]. Нет и единого государственного реестра, который бы регистрировал и систематизировал информацию о существующих тропах, их состоянии и доступности. Это существенно затрудняет планирование, развитие и мониторинг сети туристических маршрутов. Ситуация усугубляется несовершенством законодательной базы. В частности, закон «Об основах туристской деятельности в Российской Федерации» не содержит четкого определения понятия «туристическая тропа», смешивая его с понятием «маршрут». Такая неясность терминологии создает значительные барьеры для получения финансирования на обустройство и содержание туристических троп, ограничивая возможности государственных и частных инвестиций в этот сектор.[14]

Кроме того, отсутствие универсальных механизмов оформления прав на землю, необходимую для создания и обслуживания туристических троп, также серьезно сдерживает их развитие. Сложности с землевладением и получением разрешений на прокладку и эксплуатацию троп приводят к замедлению развития новых туристических направлений. Все это в совокупности приводит к недостаточному уровню вовлечения российского населения, включая молодежь, в программы активного туризма внутри страны. Многие предпочитают зарубежные поездки, в то время как Россия обладает огромным потенциалом для развития внутреннего туризма.

Для решения данной проблемы и стимулирования развития активного туризма необходимо принять ряд мер. В первую очередь, нужно создать национальную систему туристических троп с четкой классификацией и единым реестром. Это позволит систематизировать информацию, повысить прозрачность и эффективность управления сетью троп. Кроме того, необходимо разработать и внедрить универсальные механизмы оформления прав на землю, упрощая процедуры получения необходимых разрешений. Это снизит бюрократические барьеры и поспособствует привлечению инвестиций в развитие инфраструктуры туризма.

Параллельно следует улучшить законодательную базу, четко определив понятия «туристическая тропа» и «маршрут», указав требования к их оборудованию и содержанию. Это позволит более эффективно распределять финансовые ресурсы и контролировать качество предоставляемых услуг. Важно также уделить внимание развитию сопутствующей инфраструктуры: строительству стоянок, туристических приютов, информационных центров и других объектов, необходимых для комфортного и безопасного отдыха туристов.

Создание национальной сети туристических троп со всей необходимой инфраструктурой позволит не только повысить уровень развития внутреннего туризма, но и создать новые возможности для малого и среднего бизнеса.[13] Развитие средств размещения, пунктов питания, проката снаряжения и других сопутствующих услуг приведет к росту занятости и улучшению экономической ситуации в регионах. В целом, инвестиции в развитие активного туризма являются инвестициями в здоровье нации, в сохранении природы в экономическое процветание страны. Анализ исследований АСИ совместно с Группой компаний Б1 при поддержке Русского географического общества подтверждает актуальность этой проблемы и важность немедленного принятия эффективных мер по ее решению. Это ключ к созданию конкурентного и привлекательного туристического продукта, способного привлекать как российских, так и зарубежных туристов.

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

1. Национальный стандарт Р50681-2010 «Туристские услуги. Проектирование туристских услуг» (утв. и введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 30 ноября 2010 г. N 580-ст). [https://tour-vestnik.ru/d/gost\\_r\\_50681-](https://tour-vestnik.ru/d/gost_r_50681-)

2010\_turistskiye\_uslugi\_proyektirovaniye\_turistskikh\_uslug.pdf (дата обращения: 10.01.2025).

2. Национальный стандарт РФ ГОСТ Р 56642-2021 "Туристские услуги. Экологический туризм. Общие требования" (утв. и введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 29 декабря 2021 г. N 1879-ст). [Электронный ресурс]. URL: [https://rosgosstands.ru/file/gost/03/200/gost\\_r\\_56642-2021.pdf](https://rosgosstands.ru/file/gost/03/200/gost_r_56642-2021.pdf) (дата обращения: 10.01.2025).

3. Приказ П/0412 «Об утверждении классификатора видов разрешенного использования земельных участков» от 10 ноября 2020 года. [Электронный ресурс]. URL: [https://iossro37.ru/upload/medialibrary/c72/crq3lu85d9wwtak0s736auaa2eel3nhs/Prikaz-Rosreestra-ot-10.11.2020-N-P\\_0412-\\_red.-ot-23.06.2022.pdf](https://iossro37.ru/upload/medialibrary/c72/crq3lu85d9wwtak0s736auaa2eel3nhs/Prikaz-Rosreestra-ot-10.11.2020-N-P_0412-_red.-ot-23.06.2022.pdf) (дата обращения: 10.01.2025).

4. Распоряжение Минприроды России от 22 декабря 2020 г. N 37-р «Об утверждении методических рекомендаций по организации эколого-просветительской деятельности федеральными государственными бюджетными учреждениями, осуществляющими управление особо охраняемыми природными территориями федерального значения, находящимися в ведении» [Электронный ресурс]. URL: <https://rulings.ru/acts/Rasporyazhenie-Minprirody-Rossii-ot-22.12.2020-N-37-r/> (дата обращения: 10.01.2025).

5. Федеральный закон N 132-ФЗ «Об основах туристской деятельности в Российской Федерации» от 24.11.1996 N 132-ФЗ (ред. от 30.11.2024), (ред. от 02.07.2024). [Электронный ресурс]. URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_12462/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_12462/) (дата обращения: 10.01.2025).

6. Баглаев С. А., Горошко Ю. Д., Павлова О. В. Создание туристских троп в Приморском крае // Вестник ИШ ДВФУ. 2024. №3 (60). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sozdanie-turistskih-trop-v-primorskom-krae> (дата обращения: 12.04.2025).

7. Герасименко М. Ю., Васильев Д. А. Возможности и ограничения в видах рекреационного использования лесов // Физиотерапия, бальнеология и реабилитация. 2019. №3. [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vozmozhnosti-i-ogranicheniya-v-vidah-rekreatsionnogo-ispolzovaniya-lesov> (дата обращения: 12.04.2025).

8. Галимова Л.И. Основы земельного законодательства для ведения туристической деятельности на сельских территориях // Russian Economic Bulletin / Российский экономический Вестник. 2025. Т.8 №1. С.321-328

9. Моргунов А. К., Муратов С. Ф., Яганова Ж. А., Бобкова Т. С., Национальные тропы России. К вопросу о градостроительных аспектах развития внутреннего туризма // Наука, образование и экспериментальное проектирование. 2020. №1. [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/natsionalnye>

tropy-rossii-k-voprosu-o-gradostroitelnyh-aspektah-razvitiya-vnutrennego-turizma (дата обращения: 12.04.2025).

10. Сукнев А. Я., Рыгзынов Т. Ш. Создание и обустройство экологических троп как необходимое условие развития организованного экологического туризма на Байкальской природной территории // Сервис в России и за рубежом. 2018. №4 (82). [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sozdanie-i-obustroystvo-ekologicheskikh-trop-kak-neobhodimoe-uslovie-razvitiya-organizovannogo-ekologicheskogo-turizma-na-baykalskoy> (дата обращения: 12.04.2025).

11. Янутш О. А. «Тропа» Как культурная единица и элемент культурного ландшафта (на примере Республики Алтай) // Общество. Среда. Развитие (Terra Humana). 2024. №4 (73). [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tropa-kak-kulturnaya-edinitsa-i-element-kulturnogo-landshafta-na-primere-respubliki-altay> (дата обращения: 12.04.2025).

12. В помощь проектировщикам и создателям туристских троп – подробное руководство Агентства стратегических инициатив // сайт Туристского информационного центра Алтайского края [Электронный ресурс]. URL: <https://visitaltai.info/news/v-pomoshch-proektirovshchikam-i-sozdatelyam-turistskikh-trop-podrobnoe-rukovodstvo-agentstva-strateg/> (дата обращения: 12.04.2025).

13. Всероссийский проект «ТропаМИРоссии» // Официальный сайт Ассоциации стратегических инициатив [Электронный ресурс]. URL: <https://asi.ru/leaders/initiatives/tourism/trails/> (дата обращения: 12.04.2025).

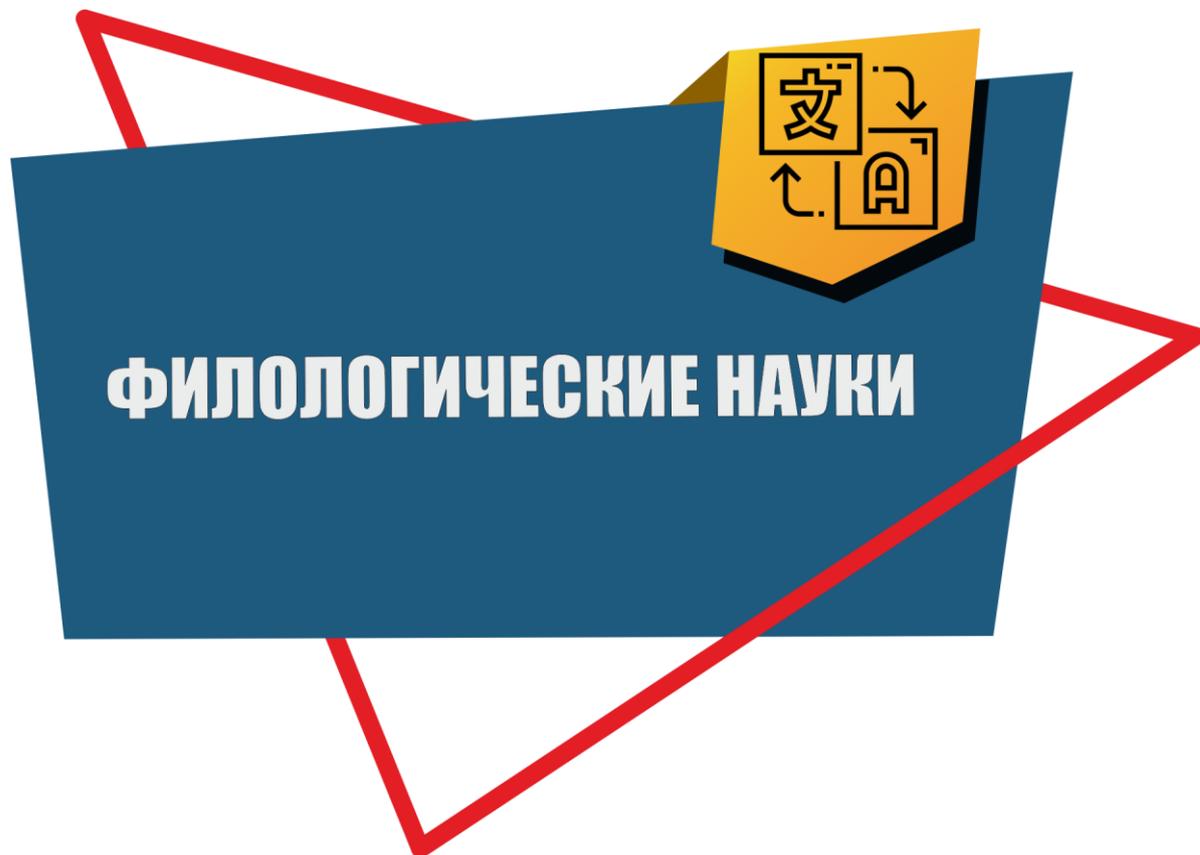
14. Зачем России национальная сеть туристических троп. РБК // [Электронный ресурс]. URL: <https://trends.rbc.ru/trends/green/cmrm/6538bda99a7947c388cbd487?from=copy> (дата обращения: 12.04.2025).

15. Информационный портал про активный отдых, туризм и путешествия Trekkingmania // Роберт Валеев // [Электронный ресурс]. URL: [https://trekkingmania.ru/volzhsкая\\_tropa\\_tatarstan/](https://trekkingmania.ru/volzhsкая_tropa_tatarstan/)

16. Официальный сайт «Волжская тропа» [Электронный ресурс]. URL: <https://ecotourism.tatar/volgaatrail#2> (дата обращения: 12.04.2025).

17. Тропы России: потенциал развития пешеходных путешествий // Агентство стратегических инициатив. Москва. 2024г. 28с. [Электронный ресурс]. URL: [https://files-ice.asi.ru/iblock/19d/19d6b217dbfffc1c665560519570de/Brochure\\_Tourizm\\_2024\\_v11.pdf](https://files-ice.asi.ru/iblock/19d/19d6b217dbfffc1c665560519570de/Brochure_Tourizm_2024_v11.pdf) (дата обращения: 12.04.2025).

© Галимова Л.И., 2025



УДК 81-2

## ГЛАВА 10

# МЕДИАТЕКСТ КАК ИНСТРУМЕНТ ВЛИЯНИЯ НА ЗАПАДНОЕ ОБЩЕСТВЕННОЕ СОЗНАНИЕ

**Котова Е.Г.**

канд. пед. наук, доцент  
ГГТУ, г. Орехово-Зуево, РФ

**Аннотация:** В данной статье рассматривается медиатекст в качестве мощного инструмента влияния на общественное сознание западноевропейского и американского читателя. В условиях нестабильности политической обстановки средства массовой информации играют ключевую роль в формировании общественных установок и социальных норм. Особое внимание уделяется методам преобразования содержательной стороны информации, обращению к эмоциям адресата, а также лингвистическим средствам воздействия.

**Ключевые слова:** средства массовой информации, англоязычные медиатексты, русская угроза, влияние на сознание, западное общество

## MEDIA TEXT AS AN INSTRUMENT OF INFLUENCE ON WESTERN PUBLIC CONSCIOUSNESS

**Kotova E.G.**

PhD in Pedagogics, Associate Professor  
GGTU, Orekhovo-Zuyevo, RF

**Abstract:** This article examines media text as a powerful tool for influencing the public consciousness of Western European and American readers. In an unstable political environment, the media play a key role in shaping public attitudes and social norms. Special attention is paid to methods of transforming the content of information, addressing the recipient's emotions, as well as linguistic means of influence.

**Keywords:** mass media, English-language media texts, Russian threat, influence on consciousness, Western society

Современный медийный дискурс, отражая текущую политическую ситуацию, в полной мере демонстрирует палитру предпочтений в социуме. Медиатекст как единица информационного пространства, обладает воздействующей силой на мировосприятие индивида в рамках его способности адекватно оценивать

происходящее. Транслируя правдивые или наоборот, создавая искаженные стереотипные образы, средства массовой информации могут положительно или соответственно отрицательно влиять на формирование жизненных ориентиров и создание системы ценностей не только отдельно взятого человека, но и нередко нации в целом. В данной статье будут рассмотрены особенности создания негативного образа России и русской культуры в современном англоязычном медийном дискурсе на материале британской и американской прессы. Проведённый анализ позволил выявить основные способы создания «русской угрозы», функциональной спецификой которых является манипуляция и прагматическое воздействие на читателя.

Материалом для исследования послужили газетные статьи ведущих британских и американских изданий, таких как *The Times*, *The Guardian*, *The Daily Telegraph*, *The Daily Express*, *The New York Times* и др.

Медиатекст понимается как динамическая сложная единица высшего порядка, посредством которой осуществляется речевое общение в сфере массовых коммуникаций [9, с.6]. Данный СМИ-продукт отличает использование гибридных форм текста и различных технологий: визуальных, текстовых, графических.

В современном мире расстановка политических сил характеризуется отсутствием сбалансированности, чему в полной мере способствуют средства массовой информации, выказывая предвзятое отношение к контенту. Например, в политических конфликтах англоязычные СМИ, как правило, представляют только одну сторону, а происходящие события искажаются в угоду медиамагнатам или политике государства.

Медийный текст как инструмент влияния на адресата медиасообщения оказывает прямое воздействие на систему его ценностных ориентаций. Например, в средствах массовой информации западных стран получил широкое распространение стереотипный образ ислама, настолько игнорирующий рамки объективности, что можно говорить об искаженном образе ислама как об элементе европейской культуры [1, с.3].

В настоящее время ведётся открытое манипулирование массовым сознанием людей относительно «русской угрозы», осуществляется планомерная

работа по навязыванию западному обществу мнений, искажающих представление о России, российской армии, русском менталитете и культурных ценностях русского народа. Настоящему забвению подвергаются целые пласты истории, отрицается роль русского народа в деле освобождения Европы от немецких захватчиков, нивелируется количество жертв фашизма. Российское общество подвергается сильнейшему давлению и испытанию на прочность. Русофобия превратилась в устойчивое явление жизни коллективного Запада, ярким примером которой стала так называемая «отмена русской культуры» ('cancel culture'). «Отказ» от России не только в культурно-гуманитарном, но и финансово-техническом плане видится Западу основным рычагом давления на Москву в российско-украинском конфликте [4, с.45].

Формирование в сознании части мировой общественности негативного образа русских и неблагоприятного имиджа России осуществляется по следующим направлениям:

1. Дискредитация политики государства.

Образ страны - знаковая модель, опосредующая представления о национальной общности и её членах через доступные обыденному сознанию понятия и суждения [10, с.152]. Во всех без исключения британских средствах массовой информации Россия отождествляется с государством-террористом, а проводимая специальная военная операция преподносится как угроза правам и свободам граждан Европы и Украины, а порой и всему человечеству в целом. СВО называется не иначе как 'invasion' (вторжение), 'brutal campaign to subdue Ukraine' (жестокая кампания по подчинению Украины), 'a war of aggression and territorial conquest' (агрессивная война и захват территорий), 'Moscow's war' (война Москвы).

Подтвердим сказанное примерами заголовков ведущих англоязычных газет и журналов.

The Week (24.02.2022) - 'Ukraine's foreign minister says Russia launched 'war of aggression,' demands 'devastating' sanctions' [24]. (Министр иностранных дел Украины заявил, что Россия развязала "агрессивную войну" и требует принятия "разрушительных" санкций).

The Guardian (18.07.2022) - 'Moscow's war in Ukraine could take years, Stoltenberg says –as it happened' [19]. (Столтенберг говорит, что война Москвы на Украине может занять годы).

2. Умышленные действия, направленные на подрыв авторитета, имиджа и доверия к главе государства, министрам, членам правительства и видным политическим деятелям.

Заголовки передовых изданий западных газет пестрят такими именами, как Путин, Лавров, Медведев, Кадыров и др., текст таких статей, как правило, сопровождается язвительными карикатурами или фотографиями, очень часто неудачного ракурса. Цель подобного видится в том, чтобы с первых строк вызвать у читателя чувство неприязни, отвращения, негодования, в лучшем случае непонимания и возмущения. Использование экспрессивных и стилистически окрашенных языковых средств позволяет автору статьи реализовать свои намерения относительно предполагаемой реакции читателя. По количеству упоминаний, как нетрудно догадаться, лидирует президент Российской Федерации Владимир Путин в назначенной ему роли диктатора.

Так, The Independent в статье от 24.02.2022 открыто называет президента РФ Гитлером. 'Stop Russian Hitler!' Ukrainians gather in New York's Times Square to protest invasion' [23]. ('Остановите русского Гитлера!' Украинцы собрались на Таймс-сквер в Нью-Йорке в знак протеста против вторжения).

Для большей наглядности пройдемся по заголовкам газет The Times, The Daily Telegraph, Daily Express, датированных 14 марта 2025 года. В тот день наш президент разъяснил мировой общественности позицию России по предложенному американской стороной 30 - дневному перемирию с Украиной.

'Putin backs ceasefire in Ukraine but on *his* terms' (Путин поддерживает прекращение огня на Украине, но на *своих* условиях).

'Peace on *my* terms, warns Putin' (Мир на *моих* условиях, предупреждает Путин).

'Putin: I will agree truce but only on *my* terms' (Путин: Я соглашусь на перемирие, но *только на своих* условиях).

Как видно из приведённых примеров заголовков передовых статей, помещаемых на первой полосе газет и отображающих наиболее важный, по

мнению редакции, материал публикации на момент выхода, для формирования «нужной» ответной реакции читателей, на лицо намеренное использование местоимений «я», «мои», «свои», «его». Выбор глагола 'предупреждает' также не носит случайный характер. Вместо нейтральных 'say', 'notice', 'remark' выбран глагол с негативной коннотацией 'warn'. Если сопроводить подобный заголовок некой устрашающей карикатурой лидера России, то достижение нужного эффекта будет почти стопроцентным.

Для того, чтобы увидеть, как на самом деле Владимир Путин ответил на предложение перемирия, которое согласовали Украина и США на переговорах в Джидде, приведём заголовки некоторых российских газет, датированных тем же числом.

«Комсомольская правда» - «Россия согласна на перемирие, но есть нюансы»: Путин назвал условия прекращения огня на Украине» [7].

«Известия» - «Путин с пониманием воспринял призыв Трампа о гуманности к военным ВСУ» [5].

«Независимая газета» - «Перемирие в Украине Россию устраивает, но есть нюансы» [3].

Иными словами, вся британская медиамашина пыталась представить ответ Путина как решительный отказ от мира и желание продолжить воевать ('Putin wants to *continue this war*, he wants to *kill Ukrainians*' (Путин хочет *продолжать эту войну*, он хочет *убивать украинцев*); 'He tells Ukrainians trapped in Kursk: *Surrender or die*' ( Он говорит украинцам, оказавшимся в ловушке в Курске: "*Сдавайтесь или умрите*"). Таким образом, читателю навязывается идея о том, что Путин практически отверг американо-украинское предложение о безоговорочном прекращении огня. По факту мы имеем дело с очень тонкой манипуляцией общественным мнением.

Министр иностранных дел России Сергей Лавров в западных СМИ традиционно обвиняется в распространении дезинформации. Так, The Guardian в статье 'Ukraine war briefing: Lavrov accused of 'trying to rebuild the Russian empire' [27] (Военный брифинг на Украине: Лаврова обвинили в попытке *восстановить Российскую империю*) от 6 декабря 2024 года публикует следующее: 'The US secretary of state, Antony Blinken, delivered his speech where he called Lavrov "very

*adept at drowning listeners in a tsunami of misinformation*” (Госсекретарь США Энтони Блинкен выступил с речью, в которой назвал Лаврова “очень искусным в том, чтобы утопить слушателей в цунами дезинформации”).

Всё та же The Guardian позиционирует заместителя председателя Совета Безопасности Российской Федерации Дмитрия Медведева как одного из самых ярких сторонников войны (*‘one of Russia’s most vocal pro-war figures’*) [15] , с энтузиазмом изображающего из себя некоего мачо и принимающего активное участие в риторике геноцида, которые, как утверждает газета, стали основной «валютой» политического дискурса в Москве военного времени. (*‘Now, he is an enthusiastic participant in the macho posturing and genocidal rhetoric that have become the main currency of political discourse in wartime Moscow’*) [17].

В зарубежных СМИ главу Чеченской республики Рамзама Кадырова называют не иначе как Рэмбо Путина (*‘Putin’s Rambo’*). The Times пишет о нём как о печально известном полевом командире, обвиняя в многочисленных нарушениях прав человека (*‘Notorious Chechen warlord accused of multiple human rights abuses’* [20]). The New York Times особо подчёркивает его авторитарность и агрессивное отношение к украинцам. *‘Ramzan Kadyrov, the authoritarian leader of Chechnya, has taken an aggressive stance toward Ukraine since Russia invaded the country in February 2022’* [18]. (Рамзан Кадыров, авторитарный лидер Чечни, занял агрессивную позицию по отношению к Украине с тех пор, как Россия вторглась в страну в феврале 2022 года). Благодаря чётко подобранной в одном предложении негативной лексики *‘authoritarian leader’*, *‘aggressive stance’*, *‘invaded’*, известный российский государственный, политический и военный деятель предстаёт перед зарубежным читателем в образе жестокого и авторитарного руководителя Чечни. Данная отрицательная оценка, как и в предыдущих случаях, достигается за счёт использования лексики с негативной коннотацией, а также включения в тексты шаблонной информации критического характера [11, с.2821].

3. Отрицательный образ Вооруженных сил России в целом и русского солдата в частности.

Медиатексты, в которых упоминаются названия населённых пунктов террористических атак на мирное население, как например, город Буча, вносят свой вклад в создание отрицательного образа российского солдата.

'Bucha. Once a quiet dormitory town near Kyiv, it is now synonymous with the *mass killing of civilians in the increasingly brutal war in Ukraine*' [25]. (Буча. Когда-то тихий спальный городок под Киевом, теперь он стал синонимом *массового убийства мирных жителей в ходе все более жестокой войны на Украине*). Или: 'Investigation reveals *potential war crime in Bucha involving Russian forces*' (Расследование выявило *потенциальное военное преступление в Буче с участием российских войск*) [13].

Известно, что 3 апреля 2022 года западные и украинские СМИ бездоказательно приписали трагедию в Буче ВС России. На страницах западных СМИ появлялись фотоматериалы с лежащими на улицах города трупами, а подписи к ним гласили, что к расстрелу мирного населения причастна российская армия. Фейковая информация была быстро подхвачена прессой и блогерами, из массовых публикаций читатели западных СМИ узнали то, о чём они должны были узнать – зверства российских солдат. Так спланированная и продуманная акция украинских силовиков и их западных кураторов стала не только одним из элементов информационной войны, но и хорошим поводом для наращивания милитаризации Незалежной [6].

Неудивительно, что именно американское издание The New York Times, отличающееся безудержной русофобией, получило Пулитцеровскую премию за статьи о Буче в номинации «За международный репортаж», а премию за военные фотографии досталась журналистам одного из крупнейших международных агентств информации и новостей Associated Press со штаб-квартирой европейского отделения, находящегося в Лондоне.

В англоязычных СМИ чеченские солдаты традиционно имеют дурную репутацию жестоких воинов ('a reputation for cruelty'). Так, британская ежедневная газета, таблоид The Daily Mail, основной аудиторией которой являются представители среднего и рабочего класса, 17 марта 2025 года опубликовала статью с пугающим читателей заголовком: 'Chechen special forces '*hunters*' are unleashed in Ukraine *to detain or kill* Kyiv officials - and are given '*decks of cards*' with photographs of their targets' [14]. ("*Охотников*" из чеченского спецназа направляют на Украину *для задержания или убийства* киевских чиновников - им раздают стопки фотографий их мишеней). Содержание статьи полностью отражает её

заголовок. Основной посыл читателям заключается в следующем: за президентом Украины Владимиром Зеленским охотится российский спецназ ('target number one' for Russian assassins), а его семья является второй целью в "списке на уничтожение" ('his family is 'the number two goal' for Putin's hitmen'), составленном Москвой для высокопоставленных украинских правительственных чиновников. Формирование негативного имиджа ВС России и, в частности, чеченского спецназа в глазах мирового сообщества достигается за счёт выразительных средств языка, например, метонимии и метафоры (target number one, the number two goal, Putin's hitmen). Одна из возможных целей применения подобных тропов в медиатексте — идентификация проблемы и утверждение её понимания в сознании читателя, усиление смыслового содержания и желание вызвать эмоциональную реакцию на прочитанное.

4. Русофобия, существующая на двух уровнях: общественных страхов и государственной политической линии [2].

Особенно в свете бурных событий и процессов нынешнего времени, русофобия выступает как категорическое неприятие русской культуры, образа жизни, стиля мышления и вообще жизненной парадигмы российского этноса. В сложившихся обстоятельствах русофобия является удобным, хотя и недолговечным инструментом отвлечения массового сознания европейского плебса от его реальных, повседневных проблем [2]. The New York Times публикует 30 октября 2024 года статью с говорящим заголовком 'Ukrainians Tell of *Brutal Russian Repression in Occupied Territories*' [26]. (Украинцы рассказывают о жестоких российских репрессиях на оккупированных территориях), в которой утверждается, что Москва использует различные тактики, включая *пытки и принуждение* к получению российского гражданства, чтобы попытаться уничтожить украинскую идентичность.

Очередная статья того же издательства 'Are We Getting Invaded?' U.S. Boats Faced *Russian Aggression Near Alaska*' [12]. (Нас что, атакуют? Американские катера столкнулись с *российской агрессией* вблизи Аляски), информирующая читателя о том, как русские играют своими военными мускулами и проверяют боеготовность американских судов в Арктике ('they were testing us — flexing their military muscle').

Ещё одна статья The Guardian от 09.05.2023 под заголовком 'US and UK tell Russia to stop using hunger as leverage in Ukraine conflict' [28]. (США и Великобритания призывают Россию *прекратить использовать голод в качестве рычага давления* в конфликте на Украине), в которой министр иностранных дел Великобритании и госсекретарь США призвали Россию не использовать глобальный голод в качестве инструмента войны.

The Seattle Times 3 ноября 2022 года публикует статью 'Russians try to subdue Ukrainian towns by seizing mayors' [22]. (Россияне пытаются *подчинить себе украинские города, захватывая мэров*). Статья о судьбе бывшего мэра Мелитополя Ивана Федорова, рассказавшего по телефону Associated Press, что "*травля и угрозы не прекращались ни на минуту. Они (прим. автора русские) пытались заставить меня продолжать руководить городом под российским флагом, но я отказался. Они не били меня, но днём и ночью дикие крики из соседней камеры говорили мне о том, что меня ждет*". (The bullying and threats did not stop for a minute. They tried to force me to continue leading the city under the Russian flag, but I refused," Fedorov told The Associated Press by phone last month in Kyiv. "They didn't beat me, but *day and night, wild screams from the next cell would tell me what was waiting for me* [22]). Его слова тут же комментируют украинские и западные историки, которые приходят к единому мнению, что подобная тактика используется врагом, когда силы вторжения не в состоянии подчинить себе население.

Примечательно, что задолго до начала спецоперации на Украине американский журнал The Nation 17 июля 2020 года опубликовал статью под заголовком 'With Fear and Favor: The Russophobia of 'The New York Times' [29]. (Со страхом и благосклонностью: русофобия "Нью-Йорк Таймс") о русофобской истерии издательства The New York Times, один из девизов которого звучит как 'Without fear or favor' (Без страха и благосклонности, т.е. беспристрастно), впервые озвученный его основателем Адольфом Оксом более ста лет назад. Игнорируя весь прошлый опыт, журналисты, политики и эксперты по внешней политике в хорошо известной манере англосаксов 'highly likely' в очередной раз предположили, что заявления о российских наградах за убийство американских военнослужащих правдивы. Иными словами, бездоказательно утверждается, что

Россия щедро платила за убийство американских солдат в Афганистане. Особо подчёркивается, что статьи The New York Times были основаны на анонимных заявлениях неких сотрудников разведки о допросах захваченных боевиков движения «Талибан» или преступников в Афганистане.

#### 5. Дискредитация российских средств массовой информации.

Одна из самых влиятельных британских газет The Guardian в плане определения и формирования общемировых взглядов на различные события, называет СМИ России «послушными Владимиру Путину» ('Vladimir Putin and his obedient media networks') [21] активно поддерживая домыслы небезызвестного своей русофобской риторикой политического экономиста Чикагского университета Скотта Гелбаха (Scott Gehlbach) о том, что Путин пытается завладеть всеми средствами массовой информации, которые он контролирует, при чём часто полагаясь на подставных лиц и оказывая экономическое давление на редакторов и журналистов, чтобы держать их в узде. (... 'he does control, he has often relied on surrogates and economic pressure to keep editors and journalists in line') [16, с.78]. К сожалению, западный читатель принимает подобные утверждения за чистую монету, памятуя о советском прошлом России.

В заключении отметим, что в настоящее время англоязычные СМИ используют достаточно эффективные методы нанесения ущерба имиджу России [8]. Медийные тексты «перенасыщены» военной лексикой, а также лексическими единицами с денотативным и коннотативным значением разрушений, человеческих страданий и потерь для формирования у западного читателя мнения о России как о могущественной империи, ведущей военные действия против слабого, но демократического государства, вставшего на защиту европейских ценностей ценой жизни собственного народа. Тщательный подбор выразительных средств языка, используемых для описания происходящих событий, ставит своей целью демонстрацию агрессивного настроения России, её желания достичь своих захватнических целей любым путём, не считаясь с интересами украинского общества. Намеренное распространение дезинформации в традиционных СМИ в форме фейков вводит в заблуждение западных читателей, искажает реальные события, снижает значимость правдивых новостей. Однако, как известно, главная черта образа России — соответствие его содержания действительности, что наша

страна неоднократно доказывала и неустанно доказывает мирными инициативами, братским сотрудничеством, безвозмездной помощью, открытостью, сердечной теплотой и гостеприимством русского народа.

### Список использованной литературы

1. Аль-Биляль А. Стереотипный образ ислама в англо-американской политологии и западных средствах массовой информации: автореферат дис. ... кандидата политических наук: 23.00.01 / Рос. ун-т дружбы народов (РУДН). Москва, 2006. 29 с.
2. Володин А., Филатов С. Русофобия: корни и крона // Международная жизнь. М., 2023, № 4 [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://interaffairs.ru/jauthor/material/2810>
3. Перемирие в Украине Россию устраивает, но есть нюансы [Электронный ресурс] - Режим доступа: [https://www.ng.ru/world/2025-03-13/6\\_9212\\_armistice2.html](https://www.ng.ru/world/2025-03-13/6_9212_armistice2.html) (дата обращения: 16.03.2025)
4. Попова Е. А. «Культура отмены» как проявление западной русофобии // Вестник Финансового университета. 2022. 12(6). С. 40-45
5. Путин с пониманием воспринял призыв Трампа о гуманности к военным ВСУ [Электронный ресурс] - Режим доступа: [https://iz.ru/1854298/2025-03-14/putin-s-ponimaniem-vosprinial-prizyv-trampa-o-gumannosti-k-voennym-vsuvsu?main\\_click](https://iz.ru/1854298/2025-03-14/putin-s-ponimaniem-vosprinial-prizyv-trampa-o-gumannosti-k-voennym-vsuvsu?main_click) (дата обращения: 16.03.2025)
6. Расстрел на улицах: Что на самом деле произошло в Буче [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://life.ru/p/1484302> (дата обращения: 15.03.2025)
7. Россия согласна на перемирие, но есть нюансы: Путин назвал условия прекращения огня на Украине [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://www.kp.ru/daily/27672/5061254/> (дата обращения: 16.03.2025)
8. Салиева Л.К., Арутюнова-Ястребкова Э.А., Цеппи А. «Отмена русской/российской культуры»: культура отмены или антибрендинг России? [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/otmena-russkoy-rossiyskoy-kultury-kultura-otmeny-ili-antibrending-rossii>
9. Современный медиатекст: учебное пособие / отв. ред. Н.А. Кузьмина. Омск, 2011. 414 с.
10. Соловьёва А.С. Негативный образ России (на примере американского издания The New York Times). Политическая лингвистика. 2011, 4(38). С. 152-156
11. Филиппова С. В., Филиппова В. В. Медиаобраз Рамзана Кадырова в британских СМИ (на материале статей The Independent). // Филологические науки. Вопросы теории и практики. 2021. Том 14. Выпуск 9. С. 2818-2822
12. Are We Getting Invaded?' U.S. Boats Faced Russian Aggression Near Alaska [Электронный ресурс] - Режим доступа:

<https://www.nytimes.com/2020/11/12/us/russia-military-alaska-arctic-fishing.html> (дата обращения: 18.03.2025)

13. Bucha: Potential war crime involving Russian forces revealed by New York Times investigation | CNN [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://edition.cnn.com/2022/05/20/europe/bucha-ukraine-reported-killings-intl/index.html> (дата обращения: 18.03.2025)

14. Chechen special forces 'hunters' unleashed in Ukraine to detain - or kill - Kyiv officials [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://www.dailymail.co.uk/news/article-10551327/Chechen-special-forces-hunters-unleashed-Ukraine-detain-kill-Kyiv-officials.html> (дата обращения: 17.03.2025)

15. Dmitry Medvedev says editors of the Times are 'legitimate military targets' [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://www.theguardian.com/world/2024/dec/18/dmitry-medvedev-says-editors-of-the-times-are-legitimate-military-targets> (дата обращения: 19.03.2025)

16. Gehlbach, S. Reflections on Putin and the Media. pp.77-87 [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://web.stanford.edu/class/comm1a/readings/gehlbach-reflections.pdf> (дата обращения: 19.03.2025)

17. 'I hate them': Dmitry Medvedev's journey from liberal to anti-western hawk [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://www.theguardian.com/world/2022/aug/01/dmitry-medvedev-journey-liberal-anti-west-hawk-russia> (дата обращения: 19.03.2025)

18. Inside the Chechen Units Helping to Fight Russia's War [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://www.nytimes.com/2024/06/16/world/europe/chechnya-russia-ukraine-war.html> (дата обращения: 17.03.2025)

19. Moscow's war in Ukraine could take years, Stoltenberg says –as it happened [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://www.theguardian.com/world/live/2022/jun/18/russia-ukraine-war-heavy-fighting-continues-in-donbas-russia-renews-push-south-of-izium-uk-says-live> (дата обращения: 18.03.2025)

20. Notorious Chechen warlord Ramzam Kadyrov rises up the ranks [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://www.thetimes.com/world/russia-ukraine-war/article/notorious-chechen-warlord-ramzam-kadyrov-rises-up-the-ranks-5qhm0t8l7?region=global> (дата обращения: 17.03.2025)

21. Putin's portrayal of response to uprising as a Kremlin win is proving a hard sell [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://web.archive.org/web/20230628151437/https://www.theguardian.com/world/2023/jun/27/putins-portrayal-of-response-to-uprising-as-a-kremlin-win-is-proving-a-hard-sell> (дата обращения: 19.03.2025)

22. Russians try to subdue Ukrainian towns by seizing mayors [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://www.seattletimes.com/business/russians-try-to-subdue-ukrainian-towns-by-seizing-mayors> (дата обращения: 18.03.2025)

23. 'Stop Russian Hitler!' Ukraine supporters gather in New York's Times Square to protest invasion [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://www.independent.co.uk/news/world/americas/ukraine-russia-new-york-times-square-b2022653.html>. (дата обращения: 18.03.2025)
24. Ukraine's foreign minister says Russia launched 'war of aggression,' demands 'devastating' sanctions | The Week [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://theweek.com/russo-ukrainian-war/1010548/ukraines-foreign-minister-says-russia-launched-war-of-aggression> (дата обращения: 18.03.2025)
25. Ukraine: Escaping Bucha | UN News [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://news.un.org/en/story/2022/04/1116312> (дата обращения: 15.03.2025)
26. Ukrainians Tell of Brutal Russian Repression in Occupied Territories' [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://www.nytimes.com/2024/10/30/world/europe/russia-ukraine-war-torture-abuse.html> (дата обращения: 18.03.2025)
27. Ukraine war briefing: Lavrov accused of 'trying to rebuild the Russian empire' [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://www.theguardian.com/world/2024/dec/06/ukraine-war-briefing-lavrov-accused-of-trying-to-rebuild-the-russian-empire> (дата обращения: 18.03.2025)
28. US and UK tell Russia to stop using hunger as leverage in Ukraine conflict – as it happened [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://www.theguardian.com/world/live/2023/may/09/russia-ukraine-war-live-15-missiles-shot-down-over-kyiv-as-victory-day-begins-in-russia> (дата обращения: 18.03.2025)
29. With Fear and Favor: The Russophobia of 'The New York Times' [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://www.thenation.com/article/world/new-york-times-russia/>(дата обращения: 18.03.2025)

© Котова Е.Г., 2025

УДК.812.113

## ГЛАВА 11

### ФАБУЛЬНЫЕ ЛИНИИ В ПОЭМЕ “ЛЕЙЛИ И МЕДЖНУН”

**Сатторов У.Ф.**

доктор филологических наук.

Ташкентский университет прикладных наук. (Узбекистан)

**Аннотация.** При общности сюжета поэмы “Лейли и Меджнун”, написанные разными поэтами, во многом отличаются. Так, картина первой встречи Лейли и Меджнуна в устном народном творчестве и в арабских источниках дана по-разному. Джигит из племени умави влюбляется в одну из дочерей своего дядя. Посвящает ей стихи. Но подчинясь господствовавшим устоям, стремясь сохранить вою любовь в тайне, юноша пишет стихи подпсевдонимом Меджнун. В одном из рассказов о зарождении любви Лейли и Меджнуна говорится, что это чувство возникло ещё в детстве, когда они пасли вместе верблюжат. В исследовании проанализированы предания и легенды по содержанию поэм.

**Ключевые слова.** Фабульные линии, придания, легенды, фольклорные мотивы разных авторов поэм.

## STORYLINES IN THE POEM "LEILI AND MAJNUN"

**Sattorov U.F.**

Doctor of Philology.

Tashkent University of Applied Sciences. (Uzbekistan)

**Abstract.** Despite the common plot of the poem "Leili and Majnun", written by different poets, they differ in many ways. Thus, the picture of the first meeting of Leili and Majnun in oral folklore and in Arabic sources is given differently. A jigit from the Umawi tribe falls in love with one of the daughters of his uncle. He dedicates poems to her. But submitting to the prevailing principles, trying to keep his love a secret, the young man writes poems under the pseudonym Majnun. In one of the stories about the birth of love between Leili and Majnun, it is said that this feeling arose in childhood, when they herded camels together. The study analyzes legends and traditions on the content of the poems.

**Keywords.** Plot lines, legends, folklore motifs of different authors of poems.

**Актуальность проблемы.** Идя по пути Низами, Физули встречу героев изображает также в школе, здесь они влюбляются друг в друга. Вместе посещая школу, они заняты не столько уроками, сколько своими чувствами. Меджнун

намеренно пишет с ошибками и дает проверять текст Лейли. Так они сближаются, и любовь их растет. Как видно из сравниваемых отрывков, у Физули шире и глубже показано душевное состояние страстно влюбленного Медждуна[1;5;6;]. В том числе, в поэме Алишера Навоий в сопоставительном – типологическом направлении встречаются фабульные мотивы, придания и легенды.

**Основная часть работы.** Излагается авторами сюжет поэмы «Лейли и Меджнун» в следующих модификациях:

1) Самостоятельный человек по имени Саид из племени Омир, чтобы дать хорошее воспитание своему сыну Кайсу, исправляет его в школу. Здесь мальчик увлекся ученицей, прекрасной Лейли. Девочка также симпатизирует ему. Но Кайс не в состоянии быть верным и преданным. В этом образе Шахин изобличает эгоизм и легкомыслие аристократической молодежи[17;18;20;21].

Итак, изображение встречи и взаимного увлечения героев в приведенных выше отрывках поэмы, на первый взгляд, сходное с аналогичными произведениями других авторов, по сути отличается многими существенными деталями.

Рассмотрены эпизод выдачи Лейли за муж, который во многом определяет сюжетную и фабульную линию произведения. В поэме Низами родители насильно выдают замуж Лейли за ненавистного ей Ибн Салама. Лейли горько сетует на свою судьбу:

*Сидя за пологом, тяжело вздыхало она,  
С отцом была учтивая,  
Когда же отце умалился[1;16].*

Но девушка, верная Меджнуну, не позволяет джигиту приблизиться к себе. Когда уязвленный жених протягивает руки, пытаясь овладеть ею. Лейли гневно отталкивает его. Она клянется, что если он вновь попытается приблизиться к ней, то покончить или с ним, или с собой. Клятва девушки, ее отвага и решимость пугают жениха. Отныне он, не смея приблизиться к Лейли, живет воспоминаниями о ней. Навеки разлученный с Лейли, лишенный теперь какой бы то ни было надежды, страдая безмерно, живет, «сотни раз умирая, сотни раз оживая». Не выдержав этих мук, потеряв здоровье, он умирает[14;15;22].

2) Эпизод выдачи Лейли замуж в поэме Джами, внешне схожий с соответствующим эпизодом у Низами, более динамичен и иначе мотивирован.

Если последнего жених Лейли, состоятельный Ибн Салам – выходец из племени Бани Асад, то у Джами ее женихом является красавец из знатного рода племени сакиф. Джами более подробно обрисовывает внешность статного, красивого джигита[8;4;12;].

3) Маленький эпизод, кажущийся сходным с подобным же эпизодом в поэме Низами, у Абдурахмана Джами своеобразен и убедителен. «У Джами события очень естественны. Отображенные поэтом общественные причины, межплеменные распри и раздоры, которые и разлучили Лейли с Меджнуном, свидетельствуют о том, что поэт связал тему с проблемами эпохи».

4) Не только Абдурахман Джами и Абдулло Хотифи, но поэты последующих эпох (Хилоли, Физули, Навои, Андалиб) каждый по своему изображали сцену, когда гордая Лейли отвергает постылого жениха, за которого ее насильно, за большой калым, выдают замуж. Другие авторы поэм воспевают чистую любовь молодых, их преданность и отвагу, обличают тиранию, духовное убожество притеснителей, воплощающих темные силы феодальной эпохи. Они воспевают возвышенную и преданную любовь Лейли как прекрасный идеал[6;7;].

5) В поэме : «Меджнун и Лейли» Амира Хосрава, написанной после Низами Ганджеви, эпизод выдачи Лейли замуж вообще отсутствует. Поэтому у него нет и образа Ибн Салама. Вместе тем у Амира Хосрава появился новый эпизод: Меджнуна пытаются насильно женить на девушке Хадиче – дочери Науфала. Он же в свадебную ночь входит к девушке и горько плачет, тоскуя по Лейли. Затем бежит в горы Нажд.

Если у Низами и его последователей героиня, отвергнув нелюбимого ею жениха, словом и делом доказывает свою любовь к Меджнуну, то в поэме Амира Хосрава Меджнун, которого женят насильно, уходит от Хадичи в горы. Амир Хосрав с большой художественной силой раскрывает душевное состояние героя, его волнения. Как верно отметил Е.Э. Бертельс, «здесь хорошо дано описание грусти Меджнуна на свадебном пиру». Поэтому трудно согласиться со следующими словами Г.Арасли. «Подобно тому, как в «Меджнун и Лейли» Хосрава Дехлави характеры и психология героев выражены слабо, - сюжет здесь тоже бессвязен и неестествен»[15;16;19;21].

На наш взгляд, нуждаются также в уточнении слова Е.Э. Бертельса о том, что «Амир Хосрав шел только по пути поэмы Низами», что «введение брака Меджнуна с Хадичой затемняет линию поведения Меджнуна». Героя заставили жениться родители. В поэме Амира Хосрава Науфал, сочувствующий Меджнуну, перестал по его просьбе сражаться с отцом Лейли. Науфал сообщил отцу Меджнуна о том, что готов выдать за его сына свою единственную дочь-прекрасную Хадичу. Отец, сообщает об этом Меджнуна погибнут. Почитающий родителей Меджнун вынужден выполнить их волю. Так поэт, верный царившим обычаям, показывает, что его положительный герой неукоснительно следует родительской воле, хотя терзается, страдает на свадьбе, поводит ночь без сна и утром уходит в горы.

По мнению иранского литературоведа Вахида Дастгирди, «Хамса» Хосрава Дехлави не что иное, как совершенная без надобности перерифмовка стихов Низами. Утверждение это далеко от истины.

Влияние поэмы «Лейли и Меджнун» Низами Ганджеви на одноименное произведение Амира Хосрава несомненно, но это не дает основания отрицать оригинальность его произведения. Поэма Амира Хосрава отличается от произведения Низами отдельными сюжетными линиями, композицией, стилем и характером образов. Мы уже указали на оригинальность эпизода женитьбы Меджнуна на Хадиче. Кроме него, у Амира Хосрава приводятся гадание астролога о будущем Кайса; обращение его отца к главе племени Науфала после того, как отец Лейли отказался выдать ее за Меджнуна к вороне, собирающейся выклеивать ему глаза; обморок Лейли в степи в кругу подруг после ложной вести о смерти Меджнуна; смерть героини, и последовавшее за ней безумие Меджнуна, гибель его, захоронение их в одной эпизоде, введенные в поэму, придали могиле – все эти эпизоды, введенные в поэму, придали оригинальность. А отсутствие у Хосрава Дехлави таких эпизодов, как паломничество Меджнуна в Мекку, см отца, насильственная выдача Лейли замуж за Ибн Салама- все это также говорит о самобытности поэмы Амира Хосрава. Жизненность отдельных ситуаций, введенных поэтом в сюжетную канаву поэмы, способствовали усилению связности повествования, глубокому раскрытию характеров героев[2;3;4;9;10;11].

Поэма Амира Хосрава отличается от произведения Низами системой художественных и языковых средств, простотой языка. Поэма Хосрава яркое, самобытное произведение, не уступающее творению Низами, что отмечает в своих работах Е.Э. Бертельс. Анализируя поэмы Амира Хосрава, говоря о ее достоинствах ученый преувеличивает, однако, ее отрицательные стороны.

Сюжет поэмы «Лейли и Меджнун» привлекал многих поэтов написав ответ Низами посвятил начало своеобразному творческому состязанию – назира и оказал влияние на появление свыше сотни одноименных поэм «Лейли и Меджнун» на языках разных народов.

Ярко и убедительно отразил Алишер Навои низменные коллизии другой пары влюбленных дочери Науфала, дальнейшая судьба которой неизвестна. В поэме же Алишера Навои у девушки есть возлюбленный. С волнением рассказывает она Меджнуну о своей любви.

В эпоху феодализма трагическая участь влюбленных, подобных Лейли и Меджнуну, не была исключением. Идею эту усиливает и такая, например, деталь, как совет, который дают Лейли подруги: скрыть свое чувство от людей:

*Не плачь, надежной душу оживи.*

*Кто не погибал от огня любви*

*Ты, поручив нам Кайса.*

*Сама скорей отправляйся в племя.*

*Как бы люди не проведали об этом, стыдно будет[1;12].*

Своеобразие поэмы «Лейли и Меджнун» Алишера Навои проявляется и в других эпизодах, например, в предсмертном завещании Лейли матери. Однако отдельные литературоведы, например, Е.Э. Бертельс считает, что «поэма Алишера Навои, скорее всего, синтез сюжетных данных поэм Низами и Джами». Сравнивая поэму А. Навои с одноименным произведением Абдурахмана Джами неточно толкует отдельные события. Описываемые А. Навои. Исследователь пишет: «Узнав о том, что у дочери Науфала есть возлюбленный, Меджнун уходит, накинув на себя овечью шкуру. Он встречается с Лейли. Затем Лейли выдают за Ибн Салама, который, хотя и в преклонных годах, но является главой племени Бани Асад. Лейли решает убить его».

В поэме же Алишера Навои паломничеству героя уделяется значительное внимание. Великий поэт мастерски рисует Мекку, с огромной глубиной передает переживания Меджнуна, потрясенного увиденным:

*Когда Меджнун увидел величественную Мекку,*

*Душа его затрепетала.*

*Приникнув лицом к камням святым ее,*

*Он слезы градом лил.*

*Лицом о двери бился он,*

*Сжимая скобу двери*

*И из души его тянулись стоны*

*И дым от них творил вокруг печаль.*

*И дымом этим одеяние небес.*

*Он почерпнуть заставил, как чапан Каабы,*

*И, словно в черное одетой человек.*

*Он сам стонами одел Каабу в траур[1;22].*

Меджнун говорит, что избирает только Лейли, желает жить тлько ее любовью:

*Мне люди скажут: “Вновь счастливым будь,*

*Забудь свою любовь, Лейли забудь...”*

*БЕСЧЕСТНЫЕ СЛОВА! Позор и стыд!*

*Но пусть и тех людей господь простит*

*О, в кубок просьбы горестной моей*

*Поболее вина любви налей!*

*Два раза кряду предложи вина.*

*Напоюсь любовным зельем допьяна.*

*Великий бог! Мне жилы разорви,*

*Наполни страстью их взамен крови!*

*Души моей, аллах, меня лиши,*

*Дай мне любовь к Лейли!*

*Больному сердцу моему вели:*

*Да будет сердце домом для Лейли!*

Меджнун безумно любит Лейли, беспредельно предан ей. Это глубокое чувство юноши не может ослабить даже релгиозной трепет перед Меккой и Мадиной[14;15].

Алишер Навои, изображая паломничество в Мекку в том же плане, что и Низами, расширил и углубил этот эпизод. поэт больше внимания уделяет описание величественной Мекки, душевным переживаниям Меджнуна, раскрывая этим безмерную преданность героя возлюбленной и более выпукло показывая его преклонение перед святыми Каабы.

В пустыне от накалившийся песка и воздуха, от палящего солнца Меджнуну приходится трудно:

*От пылающих песков, от твердых камней,*

*На ногах раны появились*

*Идя вперед, измучился, обессилел...*

*Лепешкой для него был круг луны,*

*Водой было кровь печени его...*

*Змей и муравьи были спутниками его,*

*Дикий осел и олененок сопровождали,*

Вынеся такие муки, Меджнун прибывает в Мекку. Совершая хадж, он однажды вместо сдлово «лаббай» («вот я прибыл к тебе»), нечаянно произносит «Лейли». Затем с ее именем на устах изливает свою скорбь, восхваляет ее красоту, достоинства. Кланяется в вечной преданности ей:

*Лейли – светоч жизни,*

*Она – прекрасный плод сада счастья...*

*Если даже весь мир объединится*

*И потребует отречься отлюбимой,*

*Я не нарушу клятву верности,*

*Даже на миг ее не забуду[1;15;16].*

По дороге в Мекку джигит из племени Бани-Сакиф, увидев Лейли, влюбляется в нее и просит у отца девушки согласия на то, чтобы жениться на ней. Описывая эти события, Джамии творчески использовал **предания и легенды**[18;19].

У Физули эпизод путешествия Меджнуна в Мекку дан в начале поэмы, затем автор возвращается к предшествующим событиям – описывает, как отец Кайса сватает своего сына за Лейли и получает отказ от отца девушки. Все это вызывает новые страдания влюбленного. Переживающие родители решают везти его в Мекку. Отец объясняет Меджнуну, что усердие молитвы принесут ему исцеление. Возвращая отцу, Меджнун отвечает:

*Ты в душу мне вложи печаль от боли и любви,  
Пусть ими полон будет каждый миг!  
Любовь восторг души моей умножит,  
С восторгом вдохновение прибудет.  
И души сделай мне, подверженной печалям.  
Какие только существуют на земле.  
Ты разум меня лишил  
И лишь с любовью застав меня дружить,  
Пусть только страсть Лейли ко мне пылает ярче,*

Привидение выше отрывки показывают, что эпизоды полонничества в Мекку в поэмах разных авторов во многом схожи, они отличаются в основном в художественном отношении.

В поэме Андалиба отец отправляет Меджнуна в Мекку. На это Меджнун отвечает газелью:

*О, аллах, умножь боль и печали,  
Испытанные мной из-за Лейли  
Или обреки меня на бедствия и страдания  
Слезы мои кровью печени окрасив.  
Принеси меня в жертву Лейли, о аллах!  
Для судьбы ливень страсти умножай, о аллах!*

Расстроенный таким ответом отец Меджнуна продолжает наставлять сына; внушает ему, что в Мекке ему нужно усердно молиться и тогда бог избавит его от безумия. Однако Меджнун думает только о своей возлюбленной. Андалиба сумел, используя особенности жанра, разнообразные художественные средства, раскрыть глубокую поэтичность любви героя к Лейли, что и придает своеобразие его поэме.

Таким образом, можно заключить, что хотя паломничество Меджнуна в Мекку изображается по-разному в поэмах, их объединяет идейная общность – осуждение фанатизма суеверий обычаев, воздвигающих препятствие на пути героя, любящего Лейли. Из представленных в поэме картин хаджа можно судить о смысле паломничества, по самой сути своей враждебного поэтической любви, проявлению светлых человеческих чувств вообще. В глубину души Меджнун все это понимает.

Беспредельная любовь, Лейли и Меджнуна друг к другу преодолевает все преграды и трудности. Этому уделяют значительное внимание все авторы. Так Навои раскрывает ярко и убедительно стойкость и мужество нежно мог сложить трудности и страданий. Завещание, которое Лейли оставляет своей матери, относит отвратительную суть нравственных устоев феодального общества, в условиях которого невозможно достижение молодыми подлинного счастья, осуществление их чаяний и желаний.

Лейли поэтическая литература, одаренная большим умом, глубоко страдает от того, что ее любовь вызывает всеобщее осуждение, граничащее с ненавистью. И все же отражающая от всего этого, терпящая муки разлуки Лейли не теряет надежду! Она желает и после смерти быть похоронной рядом с ним, дабы “душа ее снилась с его душой”, так пишет она в завещании. Но какой бы стойкой была Лейли в борьбе с силами зла, ни думала бы о совместной счастливой жизни с Меджнуном, презираемые ею деспоты и мракобесы преследуют ее, обращают в мираж светлые мечты. Ни у кого она не находит сочувствия, поддержки в трудную минуту. Отчаявшаяся Лейли заболела и легла. Но даже на смертном положении она по-прежнему думает о любимом, просит, умоляет ронить их рядом. И она достигает своей цели.

Предсмертный монолог Лейли элегичен выражает Глубину и трагизм ее судьбы. В поэме А.Навои мастерски использует метафоры, гиперболы, аллегории, сравнения. Монолог завещание Лейли производит сильно впечатление.

Лейли не примеряется с подлостью и предательством. Зная, что осуждено умереть, она убеждена, что соединяется с любимым после смерти, он придет разделить ее судьбу. И действительно, как только Лейли покидает этот мир.

Меджнун верный своей любимой, словно по ее зову покидая могилу отца и матери, является к Лейли. Увидев ее бездыханное тело, он умирает.

Некоторые литературоведы считают, что Меджнун приходит к Лейли до ее смерти. “У Алишера Навои, когда Лейли обращается к матери с завещанием, врывается Меджнун. Они обмениваются взглядами и умирают. Мать Лейли предаётся стенаниям. Вошедшие родственники видят влюбленных мертвыми”. Волнующее завещание Лейли, отчаяние Меджнуна, но заставшего возлюбленную в живых, его смерть над ее изголовьем – все это свидетельствует об их самозабвенной любви.

Следует отметить, что не только Навои, но и все поэты, обратившиеся к теме любви Лейли и Меджнуна, с большой художественной силой раскрывают чистую и искреннюю любовь героев, их беспредельную преданность друг другу. Лейли и Меджнун не могут жить друг без друга и смерть одного приводит к смерти – таков финал каждой поэмы.

Низами в своей поэме “Лейли и Меджнун” показывает, горюет Меджнун, узнав о смерти Лейли. Его сердце обливается кровью, слезы застилают глаза. На могиле возлюбленной он изливает свою душу:

*Эй, чистый цветок погубленный,  
 Девушка, мир покинувшая, не увидев его  
 Где теперь стан твой стройный?  
 В каком тюльпановом цветнике пируешь ты?  
 Каково-то тебе от выпивающихся колючек?*

Героиня поэмы Низами – прелестная девушка с возвышенными помыслами, любящая людей мечтающая и о несчастном счастье, но загубленная обществом, умирающая в расцвете нет радости жизни.

Смерть Лейли для страдающего, измученного Меджнуна означает конец и его жизни. В феодальном обществе, где царят произвол, религиозное мракобесие и фанатизм, Меджнун не может жить в соответствии с принципами любви, добра, справедливости, он не силах больше противостоять жестокости, лжи и гнету, и бежит от людей в горы и пустыни. Его собеседниками и друзьями стали хищные звери, которые дали ему приют и заигу, полюбили его. Этим поэт прямо говорит, что лучше жить в мире животных, чем в феодальном обществе. Среди животных

Меджнун ни на мгновение не забывал свою возлюбленную страдал от того, что она обречена на одиночестве и жил надежной на свидание. Так, если Меджнун сравнивает Лейли с подземным сокровищем, то себя символически сопоставляет со змеей –стражем его.

Подобно песни-элегии Меджнуна в поэме Низами, завещание Лейли в поэме Алишера Навои-удивительно лиричное, проникновение, превосходит по художественной силе все элегии этой темы в поэмах “Лейли и Меджнун” других авторов.

**Заключение.** В сравнительно- типологическом изучении поэмы исследованы восточные мотивы фольклористики в историческом аспекте. Оригинальна картина трагической смерти влюбленных в поэме Хосрава Дехлави “Лейли и Меджнун”. Переживания Лейли, ее верность, преданность Меджнуну усиливается в следующем эпизоде: однажды грустная Лейли, чувствуя тяжесть на душе, выходит погулять с подругами в сад. Она рассказывает о своем горе цветам и травам. И вдруг слышит песню Меджнуна, которую запел человек, захотевший испытать ее. Лейли просит рассказать о Меджнуне певца, который говорит ей в ответ: “ Не видать тебе его, он покинул этот мир”. Это известие лишает ее чувств. Затем Амир Хосрав рисует картину осени. В саду онадают пожелтевшие листья, вместе соловьев летают вороны, цветы увяли, вода стала прозрачной, то и дело поднимается ветер. Лейли заносит в ее комнату. Придя в себя, она с оречью думает о своем положении, тревожится за Меджнуна. Она чувствует, что ей уже не выздороветь. Сказав матери последнее прощание, девушка оставляет завещание, согласно которому Меджнун должен придти, увидя ее мертвую, тоже умереть и быть похоронным вместе с ней.

### **Литература**

- 1.Алишер Навои. Асарлар. Ўн беш томлик, саккизинчи том. Тошкент, 1965. 7-бет
- 2.Арсли Г.Шаркда «Лейли и Меджнун» асарлари. Низами 1 китоб. Баку. 1940.. Его же: Низамида халқ сўзлари, халқ ифода ва ғарб масалалаи. Азербайжан Фанлар академияси хабарлари: 1942.№8; Его же: Низами Гянджави. Баку. 1947.
- 3.Алиев Г.А. Легенда о Хосраве и Ширин в литературах народов Востока. М.1960;
- 4.Абдулло Хотифи. Лайли ва Мажнун. Душанбе. 1962, 99 сах.
- 5.Бертельс Е.Э. Низами М. 1956;

- 6.Бертельс Е.Э. Избр.труды Низами и Физули.М.1962;
- 7.Бертельс Е.Э. Избр. Труды. Навои и Джами. М.: 1965. С.435.
- 8.Брагинский И.С. Проблемы Востоковедения. М.1974;
- 9.Бақоев М. Хусрав Дехлави ва достони у «Дуваларони ва Хизрхон» Сталинобод.1958:
  - 10.Валихўжаев Б. Хамсачилик традициясининг баъзи бир хусусиятлари ҳақида мулоҳазалар. Алишер навоий номидаги Самарқанд давлат университети асарлари, янги серия, №11. Самарқанд. 1961.
  - 11.Зоҳидов В. Дунё адабиётининг нуруний сиймоси. Тошкент.1948;
  - 12.Крымский А.Низами и его изучение. Низами. Баку.1947;
  - 13.Каримов Ғ.К. Ўзбек адабиёти тарихи. Учинчи китоб. (XIX асирнинг иккинчи ярмидан XX аср бошларигача). Университетларнинг филология факультетлари ҳамда педагогика институтларининг тил ва адабиёт факультетлари учун дарслик. Тошкент. 1966.
  - 14.Мустафаев Дж. Философские и этические воззрения Низами. Баку.1962.
  - 15.Мегеррамов Т.А. Поэма «Меджнун и Лейли» Амира Хусрава Дехлеви. Дисс.канд.филол.наук. Баку. 1964;
  - 16.Нарзуллаева С. К вопросу о сравнительном изучении поэм “Меджнун и Лейли” Амира Хусрава Дехлави и Алишера Навои. В сб.
  - 17.Сатторов У.Ф. О гениальности творчества Алишера Навои. // Вопросы науки и образования.№3 (188), 2025. С.100-103.
  - 18.Сатторов У.Ф. Нравственные мотивы в содержании афоризмов Алишера Навои. // Вопросы науки и образования.№3 (188), 2025. С.103-106.
  19. Сатторов У.Ф. Влияние на воспитание афоризмов и цитат из произведений Алишера Навои. // Вопросы науки и образования.№3 (188), 2025. С.106-109.
  - 20.Эргашев И.Ю. О творчестве Алишера Навои зарубежных исследователей. // Вопросы науки и образования.№3 (188), 2025. С.112-115.
  - 21.Эргашев И.Ю. Богатое наследие Алишера Навои в мировом значении. // Вопросы науки и образования.№3 (188), 2025. С.115-117.
  - 22.Шомухаммедов Ш., Мусаев Б. Амир Хусрав Дехлавий (ҳаёти ва ижоди) Тошкент. 1971;

©Сатторов У.Ф., 2025

УДК.812.113

## ГЛАВА 12

### СРАВНИТЕЛЬНО-ТИПОЛОГИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ СЮЖЕТА ПОЭМ «ЛЕЙЛИ И МЕДЖНУН» В ЛИТЕРАТУРАХ ВОСТОКА

**Эргашев И.Ю.**

кандидат филологических наук.

Навоийский гос. горный и технологический университет.Навои(Узбекистан)

**Аннотация.** К вопросу об истории создания повести «Меджнун и Лейли» выполнены многие исследовательские работы. Повесть «Меджнун и Лейли», эта замечательная повесть о прекрасной и трагической любви Меджнуна и Лейли возникла в древние времена (VI в.). Это произведение устного народного творчества из арабского фольклора распространилось в персидско- таджикской фольклористике, а затем и в другие районы Ближнего и Среднего Востока, в том числе, в тюркоязычных фольклорных источниках..

**Ключевые слова.** Сюжет «Лейли и Меджнун», восточные фольклорные источники, трагическая любовь «Лейли и Меджнун».

## COMPARATIVE-TYPOLOGICAL STUDY OF THE PLOT OF THE POEMS "LEYLI AND MAJNUN" IN THE LITERATURES OF THE EAST

**Ergashev I.Yu**

Candidate of Philological Sciences.

Navoi State Mining and Technological University. Navoi (Uzbekistan)

**Abstract.** Many research works have been carried out on the issue of the history of the creation of the story "Majnun and Leyli". The story "Majnun and Leyli", this wonderful story about the beautiful and tragic love of Majnun and Leyli arose in ancient times (VI century). This work of oral folklore from Arabic folklore spread in Persian-Tajik folklore studies, and then to other regions of the Near and Middle East, including in Turkic-language folklore sources.

**Keywords.** The plot of "Leyli and Majnun", eastern folklore sources, the tragic love of "Leyli and Majnun".

**Актуальность проблемы.** В вариантах древней легенды и в арабских источниках основанное внимание сосредоточено на образе Меджнуна. Влюбившись в Лейли, он пробуждает и в ней светлое поэтическое чувство к себе.

Поэтому повесть называлась «Меджнун и Лейли». О ней и восторженной любви ее героев в древних источниках содержится довольно много сведений. К их числу относятся «Китаб-уш-шеър ва шуаро» («Книга о стихах и поэтах») Абу Мухаммеда Абдуллах ибн Муслим ибн Кутайба ад-Динаври, «Китаб ал –Агани» («Книга песен») Абу ал-Фардж Али ибн Хусайн ибн Мухаммед ибн Ахмад ал Курайиши ал Исфгани, «Диван Меджнуна» Абу Бекр –ал Валиби. В названных книгах высказываются соображения о времени создания повести, ее различных вариантах, личности Меджнуна. Несомненный интерес представляют исследования А.Тахирджанова, Н.Гуллаева, А.Афзахзаде, посвященные повести «Меджнун и Лейли»[2;3;4;5;6].

Развивая мысли упомянутых выше востоковедов, некоторые исследователи пришли к мнению, что легенда «Меджнун и Лейли» возникли не в Месопотамии и не в VI в., как считают отдельные ученые (Х.Хиджази, Е.Дунаевский, Г.Арасли, Р.Раджабов), в скорее в конце VII - начале VIII в. у арабов. А.Асфазоде пишет, что повест «Меджнун и Лейли» из арабского фольклора перешли в персидско-таджикский, а затем уже распространилась среди древних народов Ближнего и Среднего Востока»[2;3;6;7;8;9].

Таким образом, легенда о любви Лейли и Меджнуна ещё за пять веков до Низами появилась и утвердилась в нескольких вариантах в устном народном творчестве и в письменной литературе. В основе этого сюжета – феодальная действительность западно - европейского средневековья, с которой вступают в конфликт гуманистическая идеология и мораль Возрождения.

**Основная часть.** Руководствуясь классиками народов мира учением о литературе и культуре прошлого литературоведы ещё более углубленно изучают и исследуют поэтов, составляющих славу и гордость народов Востока. О таких выдающихся поэтов, как, Низами Гянджави, Хусрав Дехлави, Абдурахман Джамии, Алишер Навои написан ряд исследований на языках народов мира, на русском и иностранных языках. На основе сравнительного изучения их поэмы созданы работы, посвященные вопросам взаимодействия и взаимосвязей братских литератур.

В литературах народов Востока особое место занимают лиро-эпические поэмы, написанные на сюжет древней легенды о любви Лейли и Меджнуна.

Будучи национальными произведениями, они отобразили общечеловеческие чувства с такой художественной силой, что стали явлениями мировой литературы.

Вопрос о времени создания повести «Меджнун и Лейли» основательно изучен в трудах наших ученых, которые сходятся во мнении, что она была создана арабами в конце VII- начале VIII в. Однако между социальными и идеологическими явлениями жизни тогдашнего Востока и Запада есть немало общего в изучении поэмы в сравнительно -типологического аспекта. В сравнительно -исторического изучения сюжета поэмы не исключено, что через арабские и другие восточные источники сюжет «Лейли и Меджнун» оказал воздействие на сюжет истории «Ромео и Джульетты». В итальянских городах эпохи Возрождения купцы и моряки, возвращавшиеся из дальних плаваний на Востоке, рассказывали наиболее популярные сюжеты восточного и, в первую очередь, арабского фольклора и литературы. Так или иначе, есть немало общего между сюжетом «Лейли и Меджнун» и «Ромео и Джульетта», герои которых, пылкие влюбленные, погибают в жестоком феодальном мире, вызывая страдание к себе[5;6;8;9;10].

В востоковедении дискутировался вопрос: исторические личности Лейли Меджнун, или вымышленные? Абу –ал Фарадж ал Исфагани в своей книге «Аль-Агани, называя Меджнуна Кайс бин Мулавах, доказывает, что Меджнун не является исторической личностью. По словам ибн-аль Калби, повесть о Меджнуне и его стихи относятся к джигиту из племени Марвания бани-Умавия, который, полюбив дочь дяди и намериваясь сохранить в тайне свое увлечение, назвал себя Меджнуном[15;16;17;20;21;22].

Имеются и другие сказания (VIII-IX вв.), отрицающие реальность существования Меджнуна. Но отдельные ученые считают его реальным лицом, влюбленным поэтом, пишущим стихи о своей прекрасной Лейли. К примеру ибн Кутайба ад-Динавры в книге «Китаб-уш шеър ва шуаро», приведя образцы арабских стихов, пишет специальную главу, посвященную Кайсу Омиру. Он подтверждает наличие противоречивых легенд, относящихся к его личности.

Наряду с этим в источниках содержатся материалы, свидетельствующие о том, что Лейли и Меджнун – исторические личности. Например, Насир Хусрав (1004-1089) в «Сафарнаме», повествуя о своем путешествии в 1030 г., отмечает:

« В одном месте среди развалили селений я увидел руины крепости. Члены племени сказали мне: «Это дом Лейли, повесть о ней удивительна».

Согласно антологии «Знаменитые женщины», изданной в Оренбурге, Лейли дочь Махди ибн Саъда из племени Омир-была возлюбленной знаменитого Меджнуна. Вместе тем указывается и на то, что он также был из племени бани-Омир и его настоящее имя –Кайс ибн Мулаввах. Полюбив Лейли, он принял прозвище Меджнун. Жили они во время господства халифа Умави. В «Камус-уль аглям» также указывается, что Лейли была возлюбленной знаменитого бин Омир Меджнуна, высказывается предположение, что есть, наверное, и стихи об их любви, принадлежащие именно Лейли и Меджнуну[14;15;16;17].

Е.Э. Бертельс считает, что Меджнун и Лейли – исторические личности, жившие на Аравийском полуострове. Е.Э. Бертельс стремится представить исторически достоверными личностями не только Меджнуна и Лейли, но также Науфала Зайда, его возлюбленную Зайнаб ибн Салма. Кроме этих модификаций, ещё существуют различные варианты легенды О Лейли и Меджнуне, которые роднит показ горячей, глубокой любви, влечения друг к другу героев, обладающих благородством, высоким чувством человеческого достоинства. Такая любовь преследовалась в феодальном обществе Востока, считалась неслыханным позором и поступком пытающим честь семьи, племени, рода. Поэтому любовь в поэме Лейли и Меджнуна кончается трагически[6;7;9].

Несмотря на незаконченность композиции, фрагментарность, легендам о Меджнуне и Лейли привлекают внимание поэтов разных эпох и народов мира. О несчастных влюбленных напоминает в стихах персидско-таджикских поэтов, затем их прославляют как символ любви и верности в творениях узбекских, азербайджанских и вообще в восточной лирике.

С проникновенным лиризмом пишет о них великий поэт Рудаки ( X в):

*В степи улыбающийся тюльпанам,*

*Схож с линиои Лейли.*

*Если облако плачет в ситиеве,*

*То напоминает глаза Меджнуна.*

И ещё узбекскому поэту Атои принадлежат следующие строки:

*Эй поэт, если в терзания души Лейли*

*То будешь поражен душой Меджнуна[1;11;13;14].*

В разные эпохи разные авторы обращались к поэтическим образам Лейли и Меджнуна. По определению Е.Э. Бертельса, «...нет почти ни одного лирического дивана, где не упоминались бы имена несчастливых влюбленных и наделались бы намеки на их судьбы, которые, как предполагались, должны быть известны всякому читателю поэзии.

Поэт Амир Хусрав Дехлавий, Шахин и другие авторы использовали тему поэмы «Лейли и Меджнун» для выражения своих сокровенных чувств. Шамсиддин Шахин в своих книгах «Книга поэтических мыслей» и своей поэмы «Лейли и Меджнун» пишет.

*Печаль моя на сердце, словно ана,  
Меджнуну и Лейли благодаря, сказал открыто о своей печали.*

Лейли и Меджнун упоминаются и в современной художественной литературе. Если классической поэзии через эти, ставшими традиционными образы выражались страдания влюбленных, горькие и печальные события мрачного времени, то в произведениях современной эпохи, нашего времени, имена Лейли и Меджнуна упоминаются как символ пламенной верной любви, преданности, дружбы, высокого благородства.

Примером может служить написанные узбекскими поэтами Жуманиязом Жаббаровым, Эркином Вахидовым, Абдуллы Ориповым Омоном Мухтаром, Гульчехры Джураевой и др. многие. В них Лейли и Меджнун упоминаются как воплощение любви, верности, благородных помыслов и устремлений в истории наших народов.

В многочисленных вариантах легенды получили реалистическое отображение все перипетии жизни, трагической судьбы влюбленных, гибнущих из-за верности, из-за благородства своих натур. Эти же мотивы и идеи получили отражение в широко распространенном на Востоке своеобразном творческом состязании поэтов – назира.

Увлечение поэтов назира Е.Э. Бертельс объясняет ограниченным выбором темы в классической литературе и ее новизной. Выявляя особенности, художественные приемы воплощения назира в лирических и эпических произведениях, в статье «Навои и литература Востока Е.Э. Бертельс пишет:

«Читатель знаток, беря в руки произведение, написанное на уже давно известную ему тему, получал наслаждение не от того, что перед ним раскрывалась новая, до тех пор неизвестная ему сторона жизни, а оттого, что видел, как ту же самую задачу, решение которой, как известно, решали по новому и, может быть, более изящным и оригинальным способом. Нужно твердо помнить, что и при таком взгляде на литературу ее общественная ценность все же умалывается незначительно, ибо талантливый писатель и в этих трудных, сковывающих полет его мысли условиях, сумеет воздействовать на мысли и чувства читателя и раскрыть перед ним новые, ему дотоле неизвестные стороны человеческой души»[3;4;5;6;8].

Эти слова в полной мере относятся ко всем поэмам “Лейли и Меджнун”, созданным разными поэтами в разное время. Поэма Низами Ганджяви “Лейли и Меджнун” и ее интерпретация в творчестве поэтов последующих эпох. В письменной литературе первым автором, использовавшим тему любви Меджуна и Лейли в цикле произведений из пяти поэм – “Пятерицы”, был великий азербайджанский поэт Низами Ганджяви (1141-1201). Это творение поэта вошло в сокровищницу мировой литературы.

В “Пятерицу” низами отразились его думы и чаяния, философские, общественно политические взгляды. В ней поэт осуждает деспотизм, тиранию, социальную несправедливость. В “пятерицу” входят пять самостоятельных поэм: “Сокровищницу тайн”, “Хусрав и Ширин”, “Семь красавиц”, и “Искандар-наме”. В этих поэмах создана галерея положительных и отрицательных образов, представителей различных социальных слоев. Мастерски используя приемы сатиры, поэт с большой художественной силой изоблачает через отрицательные образы пророки общества. Важное место в его творчестве занимают женские образы. В эпоху феодализма ( XII в) в мусульманской стране, где женщина считалась игрушкой, товаром, которой можно продать и купить великий поэт раскрывает их истинную роль в обществе[2;3;4].

Поэт-гуманист создал яркие образы женщин, проявляющих интерес к науке и культуре, преданных верных подруг, справедливых и любящих матерей. Среди этих женских образов выделяется образ Лейли из поэмы «Лейли и Меджнун», пронизанный верой в торжество идеалов гуманизма, добра и справедливости.

Вдохновенная любовь Лейли и Меджнуна, несмотря на трагический финал, звала к борьбе с деспотизмом и тиранией во всем, что препятствует человеческому счастью.

Поэма «Лейли и Меджнун», оставив неизгладимый след в литературе народов Ближнего и Среднего Востока, стала неотъемлемой частью духовной жизни многих народов, яркой страницей в сокровищнице мировой литературы.

Творчеству Низами и его поэме «Лейли и Меджнун» посвящен ряд исследований отечественных литературоведов.

Идеалы, воспетые Низами в поэме «Лейли и Меджнун» привлекли внимание многих поэтов различных стран и народов. На этот сюжет написаны поэмы на персидско-таджикском, узбекском, азербайджанском, грузинском, хинди, туркменском, афганском, турецком, курдском, армянском и других языках. Те из них, которые богатством содержания привлекли к себе и волновали сердца людей, по существующей традиции удостаивались и внимания искусных каллиграфов, переписывавших и размноживших их. Некоторые экземпляры сохранились до наших дней.

В произведениях отдельных поэтов, в частности в «Мусибат-наме» Фаридиддина Аттара, во второй части «Гулисана» Саади и в третьей части «Бустана» тема «Лейли и Меджнун» нашла воплощение в маленьких рассказах[4;6;7;9].

Как подчеркивал исследователи, после Низами варианты “Лейли и Меджнун” “так широко распространились, что не только почти каждый поэт упоминал их имена как нарицательные, но они вошли в народные поговорки, сказки, песни и можно смело сказать, что среди народов Средней Азии, Азербайджана, Ирана, да пожалуй, всего Ближнего Востока трудно сыскать людей, которые не знали бы хоть в самых общих чертах, горестный рассказ о трагической любви Лейли и Меджнуна”.

Выдающиеся поэты каждой эпохи, используя опыт предшественников создавали поэмы на тот же сюжет, темне менее эти произведения были оригинальны и самостоятельны, каждый автор решал этот сюжет с точки зрения передовых гуманистических идей своего времени.

Е.Э. Бертельс в исследовании «Низами и Физули» приходид к выводу, что после Низами в течении XIII-XIV вв. в персидско-таджикской литературе создано около 20 поэм под названием «Лейли и Меджнун»: на староузбекском языке одна, на азербайджанском языке – 4, на турецком языке-14,одноименная поэма была создана и на курдском языке. Турецкий литературовед О.С. Левенд пишет о 94 поэмах «Лейли и Меджнун» было написано на арабском, армянском, афганском, грузинском языках[6;7].

По сведению Н.Гуллаева поэм «Лейли и Меджнун» было написано на арабском, амянском, афганском, грузинском яыках по одной, на курдском-8, на педжабском -2, на персидско-таджикском языке-19, на тюркских языках-44[16;17;20].

Многие образцы поэм «Лейли и Меджнун» хранятся в фундаментальных библиотеках нашей страны. Только в фонде рукописей Института Востоковедения Республики Узбекистан находятся свыше 40 произведений под названием «Лейли и Меджнун», таких поэтов, как Низами, Амир Хусрав, джами, Навои, Физули, Умур Баки, Нар и др.

Все эти факты свидетельствуют о том, что сюжет поэмы «Лейли и Меджнун», - неиссякаемый источник, вдохновляющий поэтов различных эпох. Успех поэм объясняется тем, что в мрачную эпоху феодализма, когда попиралось малейшее проявление свободы чувств, свободомыслия вообще, в них воспевалась не только любовь, но и звучал призыв к борьбе против тиран и деспотизма.

Следует отметить, что авторы почти всех поэм «Лейли и Меджнун», созданных после Низами Генджави, сохраняют не только сюжетную линию его произведения, но и стихотворный размер. Это наблюдается даже в дастанах «Лейли и Меджнун», бытующих в устном народном творчестве, например, в поэмах, обработанных узбекским народным поэтом Фазылом Юлдашем оглы и азербайджанским народным поэтом Хидиром Ашиком. Вместе с тем каждый автор вносил что-то свое, своеобразное, оригинальное. Чтобы уяснить специфические особенности поэм «Лейли и Меджнун», надо проникнуть в лабораторию каждого автора, изучить его стиль, язык, образную систему, мировоззрение[22].

Вслед за «Хамсой» Низами к теме любви Лейли и Меджнуна обратился Амир Хусрав Дехлавий (1253-1325). Его поэма «Лейли и Меджнун» написана в 1299 г..

обращаясь к сюжету, Амир Хусрав дает высокую оценку творчеству Низами в следующих строках:

*Воды этого моря чисты,  
И восторги кого-то ему не нужны.  
Низами, взявшись страстно за дело,  
Отдал силы души ему.  
Если мне тот же жребий падает.  
Я красавицу создал бы в мыслях своих:  
Ее думы прозрачно, прекрасны, как жемчу.  
И нетленны по времени  
(Лишь она будет царствовать в мире тогда  
Неужели сто слов, словно мед, словно сахар,  
Не вложила б она в свои месневы?[1;14;16].*

Далее Амир Хосрав Дехлави говорит о своем намерении достойно ответить на «Хамсу» великого Низами. В поэме «Ширин и Хусрав» он пишет:

*Он создал из «жемчужни своих «Пять сокровищ»  
И я на этой «Пятерице» свои силы хочу испытать.*

Амир Хусрав Дехлави достиг цели, успешно ответив на первую поэму Низами «Махзун –ул асрор» («Сокровище тайн») поэмой «Матлаул – анвор» («Начало сияния») на «хосрав и Ширин», на «Лейли и МЕджнун»-«Меджнун и Лейли», «Искандар-нама» - «Ойнаи Искандар» («Зеркало Искандера»), на «Хефт пайкер» («Семь красавиц»)- «Хишт Бехишт» («Восем раев»). Он продолжил сложившуюся в литературе Во тока традицию создания пятерицы, в том числе поэм, подобных «Лейли и Меджнун». Он первым достойно ответил на «Хамсу» Низами, развил поставленные им проблемные вопросы[7;8].

Многие поэты, творившие после Амира Хорава Дехлави, также считают Низами своим учителем, наставников. Следующие поэтические строки посвятил Низами великий поэт-гуманист Навои:

*Искуснейший мастер слова,  
Нанизывающий жемчужины слов –Низами.  
Подобно сокровищу укryвшись в той Гандже,  
Прославился создав пять сокровищ (поэм).*

*Разумный прочитав каждое сокровище,  
Найдет неисчислимые жемчужины мысли.  
Сокровище каждое- отданный Родине долг,  
Измруды на шахской короне  
Восхищает созвучие слов и мотивов  
Этой вечной бесценной поэмы.  
Дверь крепости силой своей Низами распахнул,  
Что мне Навои, не под силу[1].*

Восхваливает поэзию Низами и Абдурахман Джами в заключительной части своей поэмы «Лейли и Меджнун»:

*Где эта птица поющая, Низами?  
Чтобы сладостью слов и его наделить.  
Шербет, испив из чаше этой.  
Он сам смысл созвучий обретет  
(Насладчайший смысл).  
Имея даже 100 морей в запасе.  
Вода мутна у дома твоего  
Из золотого ль старого кувшина  
Из глиняной ли чаши – все равно  
Тебе лишь жажду утолить.*

Абдулла Хотифи превозносит Низами в следующих строках:

*Он обладает сокровищницей мысли,  
Он –Гаджеви – сокровищ открыватель,  
Создатель известнейших страниц,  
Владика всех поэтов-Низами!  
Веками восхищаются поэты,  
Что перед ним сотни Хосравов и Дехлави.*

Каждый поэт, обратившийся к сюжету о Лейли и Меджнуне, глубоко изучал легенды и исторические материалы, относящиеся к этой теме и творчески использовал опыт предшественников. Все это помогало находить им собственное оригинальное решение темы, создавая самобытное художественное произведение. И хотя схожи некоторые детали отдельных поэмы, они оригинальны и

все актуальны проблемы в них поэты рассматривают с позиций своего времени, акцентируя внимание на взаимоотношениях представителей разных социальных слоев общества[13;15;16].

**Заключение.** Алишер Навои, изображая паломничество в Мекку в том же плане, что и Низами, расширил и углубил этот эпизод. Поэт больше внимания уделяет описанию величественной Мекки, душевным переживаниям Меджнуна, раскрывая этим безмерную преданность героя возлюбленной и более выпукло показывая его преклонение перед святыней Каабы. Все это придает оригинальность эпизоду. Который следует за картиной. Имеющейся и в поэме Ницями Ганджеви, где описываются молитвы героя в Мекке и отказ отца Лейли сватам Меджнуна.

В поэме же Алишера Навои отец Лейли, узнав о любви героя к дочери, резко упрекает за это отца Меджнуна усиливается, затем от него стонот кандалы расслабляются, и освобожденный юноша уходит в пустыню. Ибн Салам, увидев Лейли за прозрачным пологом, влюбляется в нее. Послав сватов к отцу девушки, он получает согласие. Все это усиливает страдания Лейли. Затем отец Меджнуна уходит в пустыню, находит там сына и отправляет в паломничество.

Каждый поэт, обратившийся к сюжету о Лейли и Меджнуне, глубоко изучал легенды и исторические материалы, относящиеся к этой теме и творчески использовал опыт предшественников. Все это помогало находить им собственное оригинальное решение темы, создавая самобытное художественное произведение. И хотя схожи некоторые детали отдельных поэмов, они оригинальны и все актуальны проблемы в них поэты рассматривают с позиций своего времени, акцентируя внимание на взаимоотношениях представителей разных социальных слоев общества.

### **Литература**

1. Алишер Навои. Асарлар. Ўн беш томлик, саккизинчи том. Тошкент, 1965. 7-бет
2. Арсли Г. Шаркда «Лейли и Меджнун» асарлари. Низами 1 китоб. Баку. 1940.. Его же: Низамида халқ сўзлари, халқ ифода ва ғарб масалалаи. Азербайжан Фанлар академияси хабарлари: 1942. №8; Его же: Низами Гянджави. Баку. 1947.
3. Алиев Г.А. Легенда о Хосраве и Ширин в литературах народов Востока. М. 1960;

4.Абдулло Хотифи. Лайли ва Мажнун. Душанбе. 1962, 99 сах.

5.Бертельс Е.Э. Низами М. 1956;

6.Бертельс Е.Э. Избр.труды Низами и Физули.М.1962;

7.Бертельс Е.Э. Избр. Труды. Навои и Джами. М.: 1965. С.435.

8.Брагинский И.С. Проблемы Востоковедения. М.1974;

9.Бақоев М. Хусрав Дехлави ва достони у «Дуваларони ва Хизрхон» Сталинобод.1958:

10.Валихўжаев Б. Хамсачилик традициясининг баъзи бир хусусиятлари ҳақида мулоҳазалар. Алишер навоий номидаги Самарқанд давлат университети асарлари, янги серия, №11. Самарқанд. 1961.

11.Зоҳидов В. Дунё адабиётининг нуроний сиймоси. Тошкент.1948;

12.Крымский А.Низами и его изучение. Низами. Баку.1947;

13.Каримов Ғ.К. Ўзбек адабиёти тарихи. Учинчи китоб. (XIX асирнинг иккинчи ярмидан XX аср бошларигача). Университетларнинг филология факультетлари ҳамда педагогика институтларининг тил ва адабиёт факультетлари учун дарслик. Тошкент. 1966.

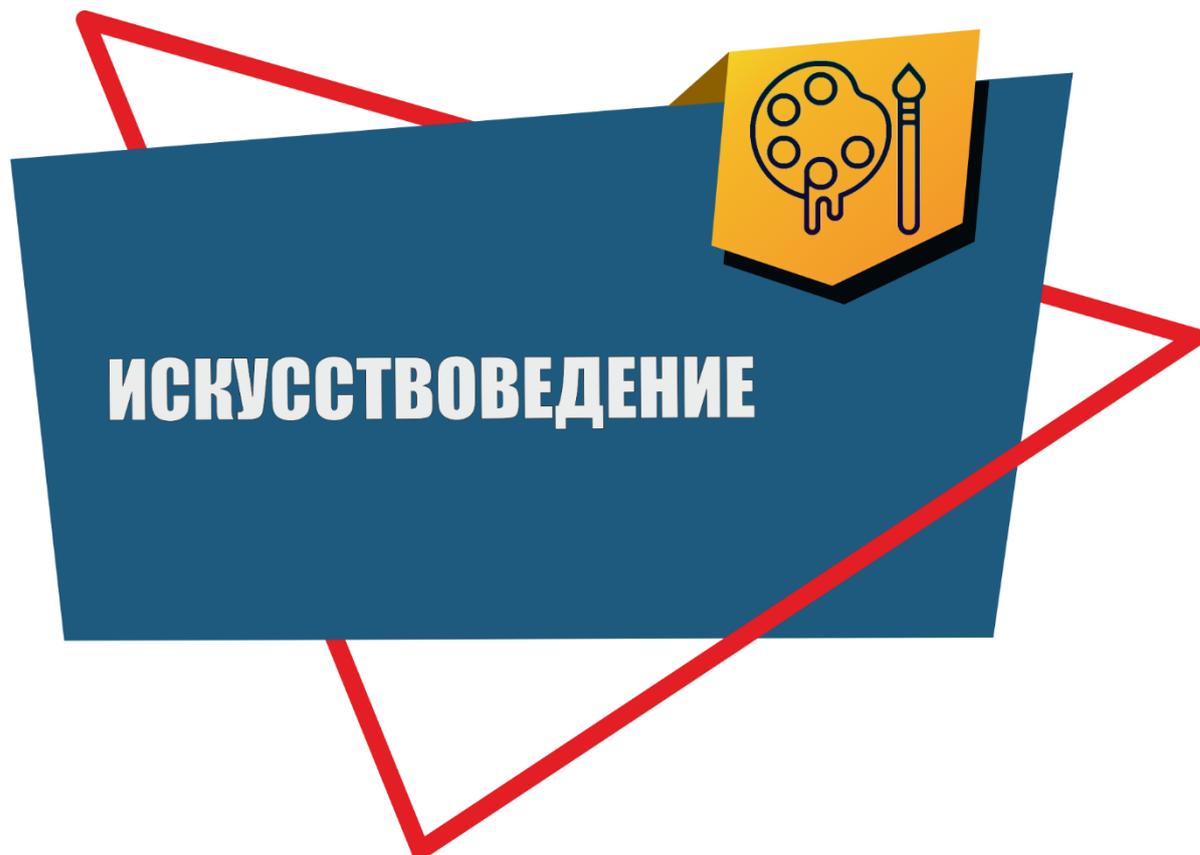
14.Мустафаев Дж. Философские и этические воззрения Низами. Баку.1962.

15.Мегеррамов Т.А. Поэма «Меджнун и Лейли» Амира Хусрава Дехлеви. Дисс.канд.филол.наук. Баку. 1964;

16.Нарзуллаева С. К вопросу о сравнительном изучении поэм “Меджнун и Лейли” Амира Хусрава Дехлави и Алишера Навои. В сб.

17.Шомухаммедов Ш., Мусаев Б. Амир Хусрав Дехлавий (ҳаёти ва ижоди) Тошкент. 1971;

©Эргашев И.Ю., 2025



УДК 7.01

## ГЛАВА 13

# ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ И АЛГОРИТМИЗАЦИЯ НАРРАТИВА В СОЗДАНИИ ЛИТЕРАТУРНЫХ ПРОИЗВЕДЕНИЙ О МАРИНЕТТ МОРТЕМ

**Калеева Ж.Г.**, доцент  
ГАОУВО ЛО ЛГУ им. А.С. Пушкина

**Аннотация:** Эта глава научной монографии посвящена исследованию роли искусственного интеллекта (ИИ) в создании литературных произведений на примере 12 книг, выпущенных в 2025 году, и посвящённых режиссеру и художнице Маринетт Мортем. В работе рассматриваются ключевые аспекты применения ИИ в литературе, включая генерацию сюжетов, диалогов, стилистическое оформление текстов и анализ читательских предпочтений. Особое внимание уделено тому, как ИИ может влиять на традиционные подходы к литературному творчеству, а также возникающим этическим вопросам, связанным с авторскими правами и оригинальностью произведений. Монография также рассматривает будущее профессии писателя в условиях растущей интеграции ИИ в литературный процесс, подчеркивая важность сохранения человеческого вклада в искусство слова.

**Ключевые слова:** искусственный интеллект, литература, генерация текстов, диалоги, стилистика, читательские предпочтения, этические вопросы, авторские права, будущее литературы.

**Введение.** Современные технологии стремительно преобразуют различные сферы жизни, и литература не является исключением. Искусственный интеллект (ИИ) уже стал неотъемлемым элементом многих отраслей, включая музыку, кинематограф и даже литературу. Возможность использования ИИ для создания литературных произведений открывает новые горизонты для писателей и исследователей, позволяя автоматизировать рутинные задачи и сосредоточиться на более творческих аспектах работы. Тем не менее, возникают вопросы о том, насколько глубоко ИИ может проникнуть в сферу литературы и возможно ли полное замещение человеческого творчества машинным.

На примере двенадцати публикаций о Маринетт Мортем, вышедших в 2025 году, представляется возможным проведение комплексного анализа применения искусственного интеллекта (ИИ) в современной литературной практике.

Исследование охватывает такие аспекты, как автоматическая генерация текста и его последующая редакция, создание персонажей и диалогов, адаптация произведений под целевую аудиторию, а также сокращение временных затрат посредством автоматизации рабочих процессов.

Известная фигура фанфикшена, режиссер и художник Маринетт Мортем, вызвала интерес не только среди поклонников, но и среди авторов, применяющих ИИ для создания полноценных художественных произведений. В указанный период было опубликовано десять книг, созданных с использованием ИИ, и две без использования ИИ, что подтверждается соответствующими метаданными внутри самих изданий.

Конкретный пример иллюстрирует следующую ситуацию: после выпуска первой фанфикшн-версии о Маринетт Мортем в жанре "страна русских сказок", сообщество энтузиастов активно развило сюжет в нескольких параллельных линиях, дополнив его новыми деталями и эпизодами. На данный момент существует шесть книг, созданных различными авторами, которые продолжают развивать упомянутый сюжет русских народных сказок. В противоположность этому, другой автор избрал направление изучения феномена шаровой молнии, результатом чего стали две книги на данную тему с тем же главным персонажем. Помимо этого, выделяются уникальные произведения, которые, несмотря на общие принципы использования ИИ, обладают собственной неповторимой спецификой.

Тенденции современности свидетельствуют о постепенном размывании границы между любительским творчеством фанатов и профессиональным литературным процессом. Это явление способствует возникновению новых идей и форматов, способных найти свою аудиторию среди читателей. Таким образом, текущие тенденции указывают на возрастающую роль ИИ в литературной сфере, позволяющую трансформировать процесс создания произведений и открывать новые возможности для авторов и читателей.

### **1. Полное использование ИИ: 6 фанатских книг о Маринетт Мортем.**

Несмотря на значительную долю технического выполнения задач, основная креативная нагрузка ложится на плечи авторов, которые контролируют процесс и обеспечивают соответствие конечного продукта их изначальному замыслу. В 2025

году были опубликованы книги о Маринетт Мортем, созданные с использованием искусственного интеллекта. Все издания объединены общей темой приключений и самопознания, каждая история представляет уникальный взгляд на творческий путь главного героя — Маринетт Мортем.

1. "Режиссёр Маринетт Мортем и Меч Грозы". Автор: Екатерина Ланцева. Аннотация: Студентка режиссуры Маринетт Мортем отправляется в сказочное Старорусское княжество в поисках смысла жизни. Она сталкивается с мифическими существами и проходит уроки, касающиеся веры в добро, внутренней силы, дружбы и любви.

2. "Режиссёр Маринетт Мортем: Как я стала русалкой или сепарация от рыбы-кит". Автор: Александра Кирьянова. Аннотация: Маринетт Мортем оказывается в волшебном подводном мире, полном тайн и чудес. Книга исследует темы дружбы, любви, сепарации от родителей и самостоятельного пути.

3. "Маринетт Мортем: Режиссёр в Стране сказок". Автор: Анастасия Климова. Аннотация: Маринетт Мортем попадает в волшебное Старорусское княжество, где преодолевает испытания вместе с тремя богатырями.

4. "Маринетт Мортем и Дракон Эронар". Автор: Андрей Петров. Аннотация: Маринетт знакомится с драконом Эронаром, который становится её другом и помогает ей преодолеть опасности и спасти мир.

5. "Режиссёр Маринетт Мортем и Рыжик: Тайна волшебного купола". Автор: Ирина Светлова. Аннотация: Маринетт спасает Лисёнка Рыжика, создавая защитный купол против злого колдуна Мороха. Героиня сталкивается с трудностями, но в итоге побеждает зло, осознавая ценность дружбы.

6. "Маринетт Мортем: Сказ о мече и порошке". Автор: Максим Сергеевич Петровский. Аннотация: Роман о любви и приключениях в древнем Пскове, вдохновленный русскими сказаниями и фольклором. Главные герои преодолевают опасности в мире магии и сказок.

В представленных примерах ИИ выполнял следующие **функции**:

1. Генерация идей: Разработка сюжета и описание персонажей на основе пользовательских запросов.

2. Редактирование текста: Улучшение структуры, грамматики и стилистики текста.

3. Адаптация под аудиторию: Подбор рекомендаций по адаптации сюжета для целевой группы читателей.

4. Ускорение процесса: Сокращение времени на создание черновиков.

Этот комплексный подход позволил авторам сочетать творческий подход с эффективностью ИИ для создания оригинальных и качественно проработанных произведений. Несмотря на значительный вклад ИИ в техническую реализацию проектов, ключевая роль в создании художественного произведения принадлежит авторам. Они концептуализируют идеи, разрабатывают персонажей, формируют запросы для ИИ и вносят финальные штрихи, обеспечивая соответствие результата их замыслу.

### **Процесс создания художественного произведения с помощью ИИ**

**Идея и разработка персонажей.** Авторы создают концепцию истории и основных персонажей. Главная героиня, Маринетт Мортем, представлена как талантливый режиссёр, находящий смысл в жизни и ответ на важные жизненные вопросы. Для обогащения сюжета авторы включают вспомогательные персонажи из известных сказок, таких как Змей Горыныч, Баба Яга или Лисёнок Рыжик, чьи имена ассоциируются с конкретными чертами и способностями.

**Формулировка запросов для ИИ.** Авторы составляют запросы для ИИ, чтобы инициировать разработку сюжета и событий. Например:

Описание внешности персонажа: "Создайте описание внешности Маринетт Мортем, учитывая её творческую натуру и склонность к авантюризму. Укажите её каштановые волосы до плеч и стиль одежды."

Характеристика персонажа: "Опишите внутренний мир Маринетт, её стремление к истине, чувство ответственности перед близкими и желание изменить мир к лучшему."

Разработка сценария: "Создайте сценарий, в котором Маринетт отправляется в волшебное Старорусское княжество, где её ждут встречи с мифологическими существами."

Диалоги: "Напишите диалог между Маринетт и Бабой Ягой, где они знакомятся."

1. **Генерация вариантов и обратная связь.** ИИ генерирует варианты описаний внешности, характеристик персонажей и событий на основе

предоставленных запросов. Авторы оценивают предложенные материалы, вносят правки, корректируют или добавляют собственные идеи.

**2. Художественная обработка и структурирование.** После утверждения основных элементов сюжета и характеристик персонажей ИИ помогает оформить текст в соответствии с требованиями художественной литературы. Авторы следят за структурой текста, логичностью изложения, эмоциональной насыщенностью, добавляя детали, делающие историю живой, интересной и запоминающейся.

Основным недостатком таких текстов является отсутствие глубокой эмоциональной связи и человеческого фактора, которые придают произведению уникальность и индивидуальность. ИИ способен генерировать связные и логичные тексты, однако ему сложно передать тонкие нюансы человеческих эмоций, культурных контекстов и личных переживаний, являющихся основой качественного художественного произведения. Линейная логика событий и простота или даже примитивность описания сюжетов и персонажей не удовлетворяют высоким стандартам, установленным мастерами литературы.

Использование ИИ в создании художественных произведений позволяет авторам сосредоточиться на творческих аспектах, делегируя рутинные задачи системе. Это открывает новые возможности для развития литературы, сохраняя при этом центральную роль автора в процессе создания произведений.

## **2. Гибридные нарративы: синтез авторского видения и ИИ-решений на примере книг о Маринетт Мортем**

Два автора, Габриэль Блэкмур и Агнесса Тарасова, использовали ИИ для обработки своих идей и сюжетов, поручив ему доработать структуру текста, которую впоследствии завершили самостоятельно. В результате, готовые тексты содержат значительный объём авторского уникального содержания, однако отдельные фрагменты были обогащены и дополнены ИИ для уточнения и пояснения отдельных аспектов. Несмотря на сохранение авторского контроля над сюжетом и персонажами, структура текста подверглась изменениям в соответствии с предложениями ИИ. Благодаря такому подходу авторы сумели объединить свои творческие замыслы с техническими возможностями ИИ, создав

произведения, которые гармонично сочетают оригинальный стиль и цифровую поддержку.

Краткий **сравнительный анализ двух гибридных книг** о Маринетт Мортем.

### **Габриэль Блэкмур "Режиссёр Маринетт Мортем — Королева Заколдованных Отражений"**

Сюжет: Маринетт Мортем оказывается в зеркальном лабиринте, который отражает её внутренние страхи и сомнения. Ей предстоит пройти через изменения и принять то, что она ранее отвергала, чтобы достичь гармонии.

Особенности: Роман фокусируется на внутреннем путешествии героини, её борьбе с собственными страхами и поиске целостности.

Жанр: Психологическая драма с элементами фэнтези.

### **Агнесса Тарасова "Режиссёр Маринетт Мортем и Демонша Ночи. Бегство из игры и охота на создателя: гения и злодея"**

Сюжет: Маринетт Мортем проходит стажировку в игровой студии Games, работая над проектом «Ночь». Она обнаруживает, что демоница Триксер связана с личностью разработчика Tigon и его жены Ирины. Замещая Триксер в игре, Маринетт помогает освободить Ирину и гармонизировать Яна, что вдохновляет её на дальнейшее развитие в режиссуре.

Особенности: Книга исследует взаимодействие виртуального и реального миров, а также психологические аспекты взаимоотношений между персонажами.

Жанр: Научная фантастика с элементами психологической прозы.

#### **Основные различия:**

Фокус сюжета: В романе Габриэля Блэкмура основное внимание уделяется внутреннему миру Маринетт и её преодолению страхов, тогда как у Агнессы Тарасовой акцент смещён на взаимодействие между виртуальным миром игры и реальностью, а также на взаимоотношения между персонажами.

Жанровая специфика: Первая книга относится к психологической драме, а вторая - к научной фантастике с элементами психологии.

Тематика: Обе книги касаются режиссёрской работы Маринетт Мортем, но рассматривают её с разных точек зрения — внутренней трансформации в первом случае и внешней профессиональной эволюции во втором.

Несмотря на различия, обе книги объединяются общей темой режиссёрской работы и исследования внутреннего мира главной героини, что делает их интересными для любителей жанра и даёт пищу для размышлений о природе творчества и самопознания.

### **Вклад автора и роль ИИ в создании книг.**

#### **Вклад автора.**

**Идея и концепция:** Автор разрабатывает основную концепцию книги, включая сюжет, персонажей и тематику. Это ключевой этап, на котором формируются основные мотивы и цели произведения.

**Редактирование и коррективка:** После того как ИИ создаёт черновую версию фрагментов текста, автор проводит тщательную редактуру и коррективку. Включаются изменения в структуру, диалоги, описания и другие элементы текста. Большая часть текста остаётся в авторской редакции.

**Создание уникальных элементов:** Автор усиливает с помощью ИИ индивидуальные штрихи и нюансы, которые делают произведение уникальным. Это могут быть оригинальные метафоры, культурные отсылки или философские размышления.

**Контроль качества:** Автор утверждает окончательную версию текста, гарантируя соответствие результата своим ожиданиям и стандартам качества.

#### **Работа ИИ:**

**Анализ и обработка данных:** ИИ анализирует предоставленные автором материалы, выявляет ключевые концепции и закономерности, а затем вариативно развивает черновую идею текста.

**Предложение структуры текста:** ИИ может предложить структуру текста, основанную на типичных схемах построения историй, что упрощает работу автора.

**Генерация диалогов:** ИИ может создавать реалистичные диалоги между персонажами, учитывая их характеры и динамику отношений.

**Исправление грамматических и стилистических ошибок:** ИИ может анализировать текст на наличие грамматических и стилистических ошибок, что облегчает работу автора и повышает общее качество текста.

**Оптимизация структуры:** ИИ может предложить улучшения в структуре произведения, например, перераспределение акцентов или улучшение логичности повествования.

**Адаптация под целевую аудиторию:** ИИ может анализировать предпочтения целевой аудитории и предлагать модификации текста, чтобы сделать его более привлекательным для конкретных групп читателей.

Авторы внесли значительный вклад в создание книг о Маринетт Мортем, начиная с разработки оригинальной идеи и концепции, заканчивая детальной редакцией и корректировкой текста. ИИ сыграл важную роль в анализе и обработке данных, предложении структуры текста, генерации диалогов и исправлении ошибок, что позволило авторам сосредоточиться на уникальных элементах и контроле качества. Такой симбиоз авторских идей и технологических возможностей сделал возможным создание произведений, которые гармонично сочетают оригинальность и технологическую поддержку.

Однако ИИ не способен полноценно передавать человеческие эмоции и переживания, что делает текст менее проникновенным и личным, а также может не учитывать специфические культурные особенности или исторические факты, что приводит к неточностям или несоответствиям.

### **3. Загрузка научных текстов для создания художественного произведения о Маринетт Мортем**

Две книги Рамиля Ильдаровича Есырова — "Маринетт Мортем и Шаровая молния. Лже-наука и жажда величия" и "Тесла и Маринетт Мортем: Тайна Шаровой Молнии", опубликованные в 2025 году, представляют собой научно-фантастические произведения, объединенные общей тематикой исследований шаровой молнии и приключений главных героев в параллельных измерениях. Первая книга погружает читателя в мир научных открытий и параллельных вселенных, где Маринетт Мортем и Никола Тесла проводят революционные эксперименты, связанные с шаровой молнией, исследуя неизведанные области реальности. Во второй книге рассказывается комичная история сотрудничества Маринетт Мортем с лжеученым Наполеоном Пустозвоновым, который, узнав о дружбе Маринетт с Теслой, выдвигает абсурдную теорию о шаровой молнии как попытку завоевать славу.

### **Различия между книгами:**

**"Тесла и Маринетт Мортем: Тайна Шаровой Молнии"**: Основное внимание уделяется научным открытиям и исследованию параллельных миров. Герои проводят рискованные эксперименты, создавая атмосферу приключений и тайны.

**"Маринетт Мортем и Шаровая молния. Лже-наука и жажда величия"**: Основной акцент сделан на сатиру научной деятельности и стремление к признанию без реальных достижений. Персонажи представлены в комичных ситуациях, что подчеркивает недостатки современного научного сообщества.

Обе книги демонстрируют творческий подход автора к научной фантастике, различаясь по стилю и содержанию: первая — на изучении неизведанных явлений и загадочных феноменов, вторая — на комедийных аспектах науки.

### **Методология создания книг с использованием ИИ.**

Для создания указанных произведений автор загружал в систему ИИ исходные тексты, включающие научные статьи, исследовательские работы и другие материалы, относящиеся к теме книги. Это помогло ИИ глубже понять контекст и интегрировать соответствующие элементы в создаваемый текст. Например, автор использовал современные научные тексты по физике плазмы, и ИИ, проанализировав их, выявил ключевые концепции и закономерности, а затем создал уникальную структуру текста, органично объединив научную точность с элементами художественного вымысла. Дополнительно ИИ разработал диалоги персонажей, придавая им глубину и реализм, что сделало произведение живым и динамичным.

### **Вклад автора.**

**Выбор темы и материалов:** Автор предоставил ИИ исходные тексты по физике плазмы, ставшие основой для дальнейшего развития сюжета и научных концепций в книге. Это свидетельствует о глубоком знании предмета и заинтересованности в конкретной научной дисциплине.

**Формирование контекста:** Автор установил определенные параметры или рамки для ИИ, определяя, какие аспекты физики плазмы должны быть включены в книгу, а также указал желаемые направления развития сюжета.

**Редактирование и коррекция:** После создания черновой версии текста автором была проведена переработка и корректировка материала, в ходе которой добавлялись или удалялись элементы, необходимые для улучшения повествования.

**Создание уникальных элементов:** Автор внёс в книгу собственные идеи, которые ИИ использовал для разработки диалогов и характеров персонажей, что придало произведению индивидуальность и оригинальность.

**Контроль качества:** Автор утвердил окончательную версию текста, гарантируя соответствие созданного ИИ материала его видению и требованиям к качеству произведения.

Таким образом, автор играл ключевую роль в формировании конечного продукта, используя ИИ как инструмент для ускорения и облегчения творческого процесса, но сохраняя за собой право принятия окончательных решений и внесения изменений.

**Проблемы и ограничения.** Текст, созданный ИИ, может страдать от отсутствия уникальности, так как алгоритмы могут производить повторяющиеся или заимствованные элементы, снижающие оригинальность. Технические ограничения также приводят к ошибкам в синтаксисе, грамматике или семантике, требующим ручной проверки и корректировки со стороны автора. Загрузка в ИИ чужого текста может привести к непреднамеренному включению фрагментов, нарушающих авторские права, что требует внимательной проверки источников. Примером может служить случай, когда ИИ обрабатывает научные статьи по физике плазмы, пытаясь создать художественную интерпретацию. Хотя ИИ может выявить ключевые концепции и закономерности, он не способен передать всю сложность и тонкость научных идей, что может привести к поверхностному восприятию материала.

#### **4. Книги без ИИ: сравнение с книгами о Маринетт Мортем, написанными с использованием ИИ.**

**Рассмотрим две дополнительные книги о Маринетт Мортем (мемуары и поэзию), опубликованные в 2025 году и созданные без использования искусственного интеллекта. Это позволит нам оценить текущее состояние**

**развития литературных техник ИИ и сравнить их с традиционными методами создания произведений.**

**Жанна Сталкер, "Маринетт Мортем: Наследие магии и острие духа режиссёра"**

**Биографическая исповедь:** Книга представляет собой автобиографическое повествование, в котором автор рассказывает о своём опыте занятий магией Кастанеды и сложностях в отношениях с актёром и режиссёром, которого она любила. Центральным событием является мистическое похищение острия духа, которое повлияло на судьбу дочери автора, Маринетт Мортем, определив её профессиональный путь и личностное развитие.

**Практики и философия:** Автор подробно описывает свои занятия магией, включая искусство сновидений, общение с эмиссарами сновидений, манипуляции с энергией и гипноз. Эти практики направлены на достижение духовного роста и освобождения от прошлых травм, что отражается в её отношениях с дочерью.

**Личное переживание:** Книга написана от первого лица, что придаёт ей высокую степень эмоциональной насыщенности и аутентичности. Читатель ощущает глубокий личный опыт автора, его размышления и переживания, что делает произведение особенно трогательным и искренним.

**Многослойность:** Произведение затрагивает сложные философские концепции, такие как магия, духовные практики, сталкинг и сновидения, что делает его интересным для читателей, стремящихся к поиску ответов на экзистенциальные вопросы.

**Образовательная составляющая:** Помимо художественного повествования, книга содержит практические методы и техники, которые могут быть применены читателями в реальной жизни, что усиливает её значение как образовательного инструмента.

**Интерактивность:** Произведение направлено на установление диалога с читателем, побуждая его к рефлексии и осмыслению собственного жизненного пути. Это отличает книгу от чисто информационных текстов, созданных ИИ.

**Иван Орлов, "Звездный свет Мортем Маринетт"**

**Сборник поэзии:** Сборник посвящён Маринетт Мортем и выражает тёплые чувства и восхищение её энергией и жизнерадостностью. Каждое стихотворение

передаёт свет и вдохновение, которые Маринетт излучает, делая это издание ценным подарком для её поклонников.

**Молодой артист:** Иван Орлов, выступающий под псевдонимом RHYTHMTRIX, является молодым и многосторонним музыкантом, сочетающим традиционные методы и современные технологии, включая ИИ, для создания музыкальной продукции. Несмотря на использование инновационных инструментов, его творчество сохраняет индивидуальность и уникальность, отражая личные переживания и эмоции.

**Музыкальная гармония:** Орлов активно использует современные технологии для создания музыкальных композиций, что ускоряет процессы производства и улучшает качество звучания. Однако ИИ не заменяет человеческое творчество, а служит вспомогательным инструментом, усиливающим возможности автора.

**Отличительные особенности книг, созданных без использования ИИ.**

**Авторский стиль и индивидуальность:** Книги написаны от первого лица, отражая уникальный личный опыт авторов. Это придаёт произведениям эмоциональную насыщенность и аутентичность, отсутствующую в текстах, созданных ИИ.

**Философская глубина:** Произведения затрагивают сложные философские концепции, что делает их интересными для читателей, ищущих ответы на экзистенциальные вопросы.

**Практические методы и техники:** В книгах содержатся конкретные методики и техники, которые могут быть применены читателями в реальной жизни, что усиливает их образовательную составляющую.

**Литературная структура:** Произведения имеют чёткую структуру повествования, что делает их целостными и законченными.

**Интерактивность и личное воздействие:** Книги направлены на установление диалога с читателем, побуждая к размышлениям о собственном жизненном пути и целях.

Таким образом, книги, созданные без использования ИИ, отличаются высокой степенью личной вовлечённости авторов, философской глубиной и

практической полезностью, что делает их уникальными и значимыми для читателей, стремящихся к самопознанию и развитию.

**Заключение.** Подводя итоги исследования, можно утверждать, что искусственный интеллект несомненно оказывает значительное влияние на литературный процесс, открывая новые возможности для писателей. Применение ИИ в создании произведений, посвященных Маринетт Мортем, демонстрирует, как технологии могут помочь в решении сложных творческих задач, экономя время и ресурсы авторов.

Однако, несмотря на очевидные преимущества, следует помнить, что ИИ не может полностью заменить человеческое творчество. Литературное искусство основано на глубоком понимании контекста, эмоций и культурного фона, чего пока не хватает современным алгоритмам. Именно человек привносит в литературу ту самую искру уникальности, которая делает каждое произведение особенным.

В будущем, вероятно, произойдет дальнейшая интеграция ИИ в литературный процесс, но писатели продолжат играть ведущую роль в создании качественных и значимых произведений. Важно, чтобы ИИ оставался вспомогательным инструментом, поддерживающим авторов в их стремлении к новому и необычному, а не заменой их таланту и опыту. Эта глава монографии призвана подчеркнуть важность баланса между технологическим прогрессом и сохранением человеческого вклада в литературу. Только через такое сотрудничество мы сможем раскрыть весь потенциал современных технологий и обеспечить дальнейшее развитие литературного искусства.

#### Список литературы:

1. Метавселенная: как виртуальная реальность становится новой культурной нормой? <https://pakhotin.org/culture/kak-virtualnaya-realnost-stanovitsya-novoj-kulturnoj-normoj/>
2. Маринетт Мортем. Искусственный интеллект и его влияние на будущее живописи: взгляд художника и режиссёра <https://gallerix.ru/tribune/iskusstvennyy-intellekt-i-ego-vliyanie-na-budushee-zhivopisi-vzglyad-xudozhnika-i-rezhissera/>
3. Мария Ефимова Искусственный интеллект в культуре: новое слово в творчестве <https://pakhotin.org/technologies/iskusstvennyj-intellekt-v-kulture/>

©Калеева Ж.Г., 2025



УДК 349.6

## ГЛАВА 14

# АЛГОРИТМ МОНИТОРИНГА БЕЗОПАСНОСТИ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ БИОТЕХНОСФЕРЫ

**Ахмадиев Г.М.,**

доктор ветеринарных наук, профессор, академик РАЕ  
ФГАОУ ВО Казанский (Приволжский) федеральный университет г.  
Набережные Челны, Россия

**Аннотация.** Целью настоящей работы является разработка научных и технологических основ алгоритма мониторинга безопасности и прогнозирование чрезвычайных ситуаций биотехносферы направленных на обеспечение экологической, техносферной безопасности и жизнедеятельность населения. В работе приводится описание известного способа, направленного на раннее выявление и прогнозирования развития чрезвычайной ситуации при аварии на взрывоопасном объекте и на защиту технологического оборудования и трудового коллектива на взрывоопасном объекте техносферной среды.

**Ключевые слова:** мониторинг, безопасность, прогнозирование, чрезвычайная ситуация, жизнедеятельность, население.

## ALGORITHM FOR SAFETY MONITORING AND FORECASTING OF BIOTECHNOSPHERE EMERGENCIES

**Akhmadiev, G.M.,**

Doctor of Veterinary Sciences, Professor, RAE academician  
Kazan (Volga Region) Federal University, Naberezhnye Chelny, Russia

**Annotation.** The purpose of this work is to develop a scientific and technological basis for the algorithm of safety monitoring and prediction of biotechnosphere emergencies aimed at ensuring environmental, technosphere safety and life activity of the population. The paper describes a known method aimed at early detection and prediction of emergency situation development in case of an accident at an explosive facility and protection of technological equipment and labor collective at an explosive facility of technosphere environment.

**Keywords:** safety monitoring, method, forecasting, emergency situation, management methods, environmental safety, life activity of the population

**Введение.** В работе использован системный анализ известной научной информации, полученной по результатам известных исследований и данных мониторинга источников экологической опасности, явлений, событий и процессов, приводящих к прогнозируемому и закономерному возникновению по этапному развитию чрезвычайных ситуаций (ЧС), направленных на разработку научных и технологических основ алгоритма мониторинга безопасности и прогнозирования чрезвычайных ситуаций биотехносферы.

Целью настоящей работы является разработка научных и технологических основ информационных, аналитических приемов и способов с определением времени проведения алгоритма мониторинга и прогнозирования опасных природных и техногенных чрезвычайных ситуаций направленных на создание условий приводящих достоверных и проверенных, научно-обоснованных оценочных способов обеспечивающих экологическую и техносферную безопасность.

Результаты исследований научно-технической работы могут быть использованы при формировании нормативно-методических документов в сфере алгоритма мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций биотехносферы.

Под государственным экологическим мониторингом понимается комплексная система регулярных наблюдений в пространстве и во времени за состоянием окружающей среды и далее сопровождающие с её изменениями под воздействием природных и антропогенных факторов. Система экологического мониторинга включает сбор данных о фактическом состоянии и имеющих загрязнения окружающей среды, тщательную обработку, анализ этих данных с последующим выявлением динамики на основе научно обоснованных экологических оценок и прогнозов. Одной из целей экологического мониторинга является информационное обеспечение управленческих, организационных и инвестиционных решений на основе достоверных, своевременных, полных данных о состоянии окружающей природной среды.

Мониторинг - это многоуровневая система оценки природно-технологической среды, т.е биотехносферы. Мониторинг окружающей среды представляет собой комплексную систему наблюдения за состоянием

окружающей среды, оценки и прогноза ее изменений под воздействием природных и антропогенных факторов.

Основные цели мониторинга состоят в обеспечении системы управления природоохранной деятельностью и экологической безопасности своевременной и достоверной информацией, позволяющей оценить показатели состояния среды обитания человека, выявить причины изменения этих показателей и оценить последствия таких изменений, создать предпосылки для определения мер по исправлению возникающих негативных ситуаций до того, как будет нанесен ущерб [16,с.346].

Для осуществления локального мониторинга используются мобильные станции и стационарные центры (посты) контроля по различным физическим полям, а для регионального мониторинга, помимо средств локального мониторинга, используются вертолеты, самолеты и космические аппараты (КА), осуществляющие слежение за состоянием земной поверхности, минерально-сырьевых ресурсов недр, сохранностью растительного мира и т.д. [17, с. 531-533, 586, 589].

В настоящей работе на концептуальном уровне рассматривается проблема, касающиеся разработки информационно-технических методов экологического мониторинга безопасности в условиях технико-внедренческого формулирования управления чрезвычайной ситуации. Проявления противоречия между потребителями в комплексе организационного, технологического и управленческого социально-экономического развития и необходимостью оценки и защиты, окружающей среды определяется, как одна из главных и значимых проблем, стоящих перед человечеством [1, с. 32-36].

Известно, что научно-технический прогресс вызывает положительные технические и технологические изменения с повышением производительности труда, материального благосостояния и интеллектуального потенциала общества, но с этим возникают неблагоприятные средовые изменения, которые могут привести повышению риска возникновения чрезвычайных ситуаций в экосистеме. Важный природно-технологический депозитный вклад в решение практических и теоретических вопросов, касающихся предупреждения и ликвидации природных и техногенных чрезвычайных ситуаций, внесли ученые

В.А. Акимов, Г.Л. Кофф, Б.С. Мاستрюков, С.О. Гурьев. В их опубликованных научных работах описываются проблемные вопросы организационного характера, однако недостаточно уделяется внимания к разработке типовой структуры и описания возможностей использования новых информационных, технологических и технических методов мониторинга окружающей среды направленных на обеспечение безопасности в условиях проявления, как природной, так и техногенной чрезвычайной ситуации. При этом нельзя забывать последствия аварии, происходившие на АЭС в Три-Майл-Айленде (США), в Чернобыле (Украина), в Фукусиме (Япония), на химических предприятиях Фликсбора (Великобритания), Бхопале (Индия), промышленная катастрофа в Арзамасе, Уфе, Свердловске, разливы нефти в результате аварии на танкере, пожар на нефтяной базе в Васильковском районе Киевской области [1, с. 32-36].

Известно, что чрезвычайные ситуации техногенного характера содержат в себе еще не проявленных скрытых опасностей, которые могут возникнуть во время управления, организаций и проведения спасательных и неотложных работ. Скрытые опасности в ЧС техногенного характера могут проявляться, но их оценка и прогнозирование являются частью системы управления рисками и подлежат обязательной оценке в соответствии с методическими рекомендациями МЧС РФ и стандартами ГОСТ Р 22.1.12-2005. К ним относятся: химические опасные объекты, взрывоопасные или пожароопасные объекты, гидродинамические объекты.

Прогнозирование чрезвычайных ситуаций (ЧС) в опережающем формате отражает вероятность возникновения и развития ЧС на основе мониторинга и системного анализа возможных причин, условий, факторов возникновения ее источника в прошлом и настоящем[13.с.3].

С учетом актуальности рассматриваемой проблемы в настоящей работе предусмотрены ряд новых научных и технологических подходов к оценке и прогнозированию ЧС проявляющихся с неблагоприятными экологическими последствиями.

**Материалы и методология исследований.** Исходящими материалами для проведения исследования послужили опубликованные результаты научных работ отечественных и зарубежных авторов.

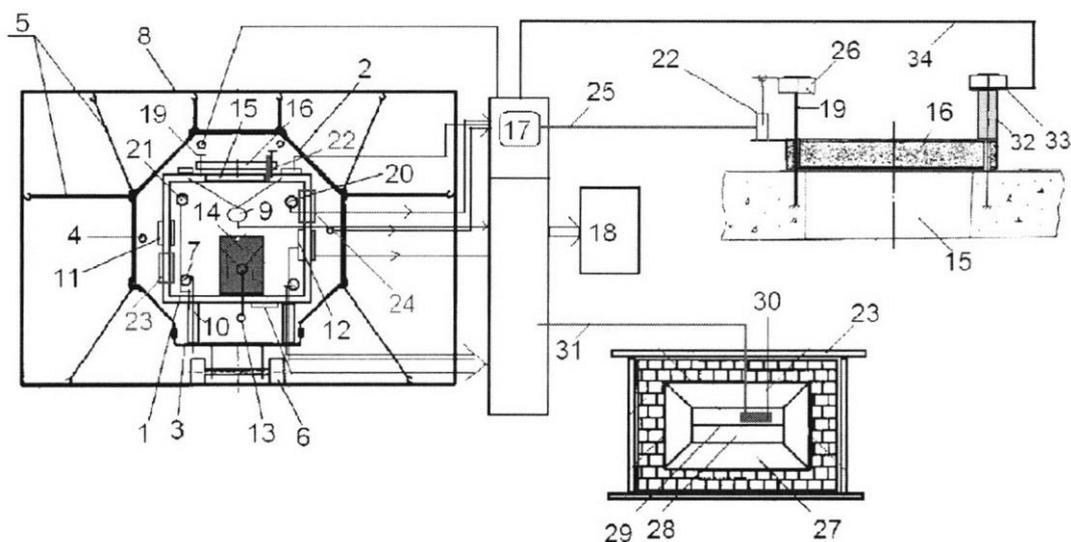
Авторами настоящих работ были взяты выполненные исследования в области оценки, мониторинга, прогнозирования, предупреждения ЧС природного и техногенного характера [1, с.32-36; 2,43-53; 3, с.70-79; 4,с.56-70;5,с.93-103; 6, с. 6-11; 7,с. 50-68]. Мы также обращались к научным работам в области обеспечения экологической безопасности [8,с.114-126; 9,с. 6-19.], оценки природных и техногенных рисков [10,с.15; 11,с.21; 12, с.042053]. Методы проводимого исследования опираются на применении логического, системного анализа взаимосвязей различных событий, процессов, явлений, факторов, условий, причинно-следственных связей в области изучения предмета, объекта и направления научного исследования.

**Результаты исследований и их обсуждение.** В настоящее время действующие методики и технологии, применяемые на разных уровнях, этапах и в целях проведения мониторинга и прогнозирования ЧС насчитывают несколько сотен различных вариантов методических материалов, имеющих многоплановый характер. Часто с научной и технологической точки зрения алгоритма мониторинга безопасности и прогнозирования ЧС не консолидированы между собой. Известные применяемые методики и программы учитываются при подготовке материалов, и для определения укомплектованности специалистами, и обеспеченности технологическим оборудованием региональных и территориальных подразделений мониторинга и прогнозирования ЧС.

Известен, способ прогнозирования развития чрезвычайной ситуации при аварии на взрывоопасном объекте, которого используют в системе мониторинга с обработкой полученной информации об опасной зоне для принятия решения о предотвращении чрезвычайной ситуации. В испытательном боксе устанавливают макет взрывоопасного объекта, а по его внутреннему и внешнему периметрам устанавливают видеокамеры для видеонаблюдения за процессом развития чрезвычайной ситуации при аварии на взрывоопасном объекте, которую моделируют посредством установки в макете взрывного осколочного элемента с инициатором взрыва. Видеокамеры выполняют во взрывозащитном исполнении, а выходы с видеокамер через внутреннюю полость проставки соединяют с блоком, посредством которого производят запись и регистрацию протекающих процессов изменения регистрируют посредством системы анализаторов записанных

осциллограмм, протекающих процессов изменения технологических параметров в макете взрывоопасного объекта. В потолочной части макета выполняют проем, который закрывают взрывозащитным элементом. Между взрывным осколочным элементом и проемом устанавливают трехкоординатный датчик давления во взрывозащитном исполнении, выход которого соединяют с входом блока записывающей и регистрирующей аппаратуры. Внутренние и внешние поверхности ограждений макета обклеивают тензодатчиками, а выходы, участвуют и соединяют с входом блока, записывающей и регистрирующей аппаратурой. После обработки, полученные экспериментальные данные формируют информационную базу, данных о развитии чрезвычайной ситуации, при аварии на взрывоопасном объекте, и составляют математическую модель, прогнозирующую предотвращение чрезвычайной ситуации при аварии на взрывоопасном объекте[21].

На фиг. 1 показана принципиальная схема устройства для реализации способа прогнозирования развития чрезвычайной ситуации при аварии на взрывоопасном объекте [21].



Фиг.1

Устройство для реализации способа прогнозирования развития чрезвычайной ситуации при аварии на взрывоопасном объекте содержит макет 1, взрывоопасного объекта, с установленным в нем взрывным осколочным элементом 14, с инициатором взрыва 13, защитный чехол 2 и поддон 3, при этом

чехол с поддоном представляют собой единую замкнутую конструкцию, образованную вокруг макета 1, взрывоопасного объекта, размещенного в испытательном боксе 8. Кроме того, макет 1 оборудован транспортной 6 и подвесной 5 системами, а защитный чехол 2 выполнен многослойным и состоящим из обращенного внутрь к макету 1 алюминиевого слоя, затем резинового и перкалевого слоев. Подвесная система состоит из комплекта скоб и растяжек 5, размещенных на защитном чехле, а также необходимого количества анкерных крюков (петель) в потолке, стенах и полу испытательного бокса 8. Транспортная система 6, предназначено для удаления разрушенного макета 1 после проведения испытаний из испытательного бокса 8 вместе с защитным чехлом 2 [21, С. 14].

Внутри макета 1 взрывоопасного объекта, по его внутреннему и внешнему периметрам, установлены видеокамеры 7 и 4 видеонаблюдения за процессом развития ЧС, смоделированной посредством взрывного осколочного элемента 14 с инициатором взрыва 13, причем видеокамеры 4 и 7 выполнены во взрывозащитном исполнении, а выходы с видеокамер через внутреннюю полость проставок 10 соединены с блоком 17 записывающей и регистрирующей аппаратуры, выход которого соединен с блоком анализаторов 18 записанных осциллограмм протекающих процессов изменения технологических параметров в макете 1 взрывоопасного объекта. В потолочной части макета 1 выполнен проем 15, который закрыт взрывозащитным элементом 16, установленным по свободной посадке на трех упругих штырях 19, один конец каждого из которых жестко вмонтирован в потолок макета 1, а на втором имеется горизонтальная перекладина. Между взрывным осколочным элементом 14 и проемом 15, выполненным в потолочной части макета 1, и закрытым взрывозащитным элементом 16, по фронту движения взрывной волны установлен трехкоординатный датчик давления 9 во взрывозащитном исполнении, выход которого соединен со входом блока 17 записывающей и регистрирующей аппаратуры. По обе стороны от датчика давления 9 расположены датчики температуры 20 и влажности 21, контролирующие температурный и влажностный режим в макете 1, выходы которых также соединены с входом блока 17 записывающей и регистрирующей аппаратуры. Внутренние поверхности ограждений макета 1 обклеены тензодатчиками 12 (тензорезисторами),

а внешние – тензодатчиками 11, выходы которых также соединены со входом блока 17 записывающей и регистрирующей аппаратуры выход, который соединен с блоком 18 анализаторов записанных осциллограмм протекающих процессов изменения технологических параметров в макете 1 взрывоопасного объекта. Возможен вариант, когда между дополнительными элементами 26 и металлическим каркасом 16 с бронированной металлической обшивкой, на опорных стержнях 19 установлены втулки 32 из быстроразрушающегося материала, например, стекла, типа «триплекс». Между дополнительным элементом 26 и втулкой 32 из быстроразрушающегося материала установлен тензодатчик 33, предназначенного для регистрации давления разрушения втулки 32, состоящего из стекла типа «триплекс», сигнал с которого по линии связи 34 поступает в блок 17 записывающей и регистрирующей аппаратуры, а выход которой соединен с блоком 18 анализаторов записанных осциллограмм протекающих процессов изменения технологических параметров в макете 1 взрывоопасного объекта.

Полученный технически достижимый результат устройства для реализации способа прогнозирования развития чрезвычайной ситуации при аварии на взрывоопасном объекте направлено на повышение эффективности защиты технологического оборудования и человеческого потенциала от аварийных ситуаций путем возможности прогнозирования развития чрезвычайной ситуации при аварии на взрывоопасном объекте[21,с.14].

Известны методики и технологии прогнозирования ЧС базируются на трех основных источниках получения информации:

1. Собственные разработки в государственной системе мониторинга и прогнозирования ЧС, созданные в настоящее время и впоследствии подлежащие внедрению в ведомстве;
2. Разработанные приемы и предлагаемые научным сообществом;
3. Созданные ранее в организациях и учреждениях единой системы мониторинга и прогнозирования ЧС, утверждённые в установленном ранее порядке [13.с.3].

В целях своевременного обмена собранной информации об окружающей среде и источниках экологической опасности налажено взаимодействие участников в системе РСЧС. В основе прогноза техногенных источников ЧС

(аварий или отказов на объектах инфраструктуры с экологически опасными последствиями) лежит методология оценки рисков, которая, практически, не дает возможности решить задачи краткосрочного прогнозирования. Методические разработки, ориентированные исключительно на критерии по конкретным ЧС, не позволяют на высоком качественном уровне осуществлять реализацию комплексных, интегральных, тематических и других инновационных форм прогнозов. Сегодня необходимо признать и организационно закрепить, что у специалиста, осуществляющего мониторинг и прогнозирование ЧС направленного на обеспечение безопасности сохраняется право, в рамках свободы действий и накопленного практического опыта и знаний. Кроме всего компетентный профессионал может формировать методологические, оценочные и прогнозные выводы, применяя различные по типу организационно-технические методы и способы для оценки и прогнозирования ЧС. Возникает необходимость принимать во внимание географические и геополитические особенности Российской Федерации, а также пять уровней ЧС, (федеральный, межрегиональный, региональный, муниципальный и объектовый).

Прогнозирование ЧС методически должно опираться на возможность применения интегральных базы данных, позволяющие отслеживать развитие ситуации непосредственно на всех территориальных: региональных и муниципальных уровнях, а также обеспечивающие информационное сочетание прогнозных данных по конкретной исследуемой территории, в формате прогнозирования ЧС на различные временные периоды;

1.Использовать большие массивы данных с детализацией численных значений факторов природных и техногенных источников ЧС, параметров экологических последствий, а также с максимальным количеством характеристик защищаемых объектов промышленности, социальной, коммунальной, дорожно-транспортной и иной инфраструктуры;

2.Реализовывать математическую, статистическую обработку большого объема разноплановой информации, вычисления по заданным формулам, построение математически обоснованных цифровых моделей перспективы и визуализации развития ЧС в привязке к геоинформационным системам. К сожалению, накопленный более чем почти за 30 летнюю историю осуществления

мониторинга и прогнозирования ЧС потенциал методического и технологического обеспечения остается в разрозненном состоянии[13,с.3].

Алгоритм мониторинга безопасности и прогнозирования ЧС представляет собой большое количество разноплановых, в большей степени морально и технически устаревших разработок, полноценно не консолидированных в единую систему предотвращения ЧС. С этой точки зрения необходимо учитывать самые современные разработки, инновационные методики мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций, которые сегодня в большом количестве разработаны в академических и иных научных учреждениях и организациях, научно-исследовательских центрах. При этом непременно нужно обустривать кадровую базу: каждая методическая разработка должна преподаваться соответствующему специалисту в образовательном процессе, составлять его профессиональные навыки, трудовые квалификационные требования. Очевидно, что наполнение за относительно короткое время системы мониторинга и прогнозирования ЧС необходимым количеством специалистов высокой квалификацией, к тому же обладающих навыками аналитической работы, что является сложно решаемой задачей. Для решения данной проблемы представляется целесообразным всецело развивать связи с научными образовательными сообществами, ведущими центрами осуществляющими подготовку специалистов по соответствующим смежным специальностям, институтами Российской академии наук, прикладными институтами и ведущими научно образовательными центрами. В целях практической реализации данной актуальной задачи ВНИИ ГОЧС (ФЦ) была проведена большая системная работа в области разработки, апробации и внедрения модульных программ дополнительного профессионального образования. Особенно по направлениям подготовки руководителей и специалистов в области алгоритма, мониторинга и прогнозирования природных и техногенных ЧС, а также управленческого, организационного и технологического обеспечения экологической безопасности[13, с. 3].

**Заключение.** Управление техногенными рисками невозможно без учета результатов оценки условий техносферы, мониторинга, направленного на безопасность среды, с помощью научной, информационной, технологической

прогнозной поддержки, так как чрезвычайные ситуации чаще возникают на потенциально опасных промышленных предприятиях.

В последние годы росту заболеваемости населения способствует антропогенная трансформация очагов потепления климата, а также наводнения и пожары, вызывающие неадекватное поведение переносчиков опасных биологических факторов, что в основном еще больше усугубляет эпидемиологическую безопасность для населения [18, с. 37-41].

В будущем в перспективе разработанные комплексные научно-обоснованные способы мониторинга и прогнозирования ЧС природного и техногенного происхождения должны учитывать и состояние атмосферы, гидросферы, литосферы и переноса загрязняющих веществ. С помощью прямых измерений и модельных представлений надо учитывать потоков эмиссии и поглощения загрязняющих веществ, включая углерод, азот, и серосодержащих примесей для оценки изменений состояния окружающей среды региона, и осуществить прогнозирование изменений климата на краткосрочную и длительную перспективу.

Поэтому надо осуществить переход к передовым цифровым, интеллектуальным производственным технологиям, роботизированным системам, новым материалам и способам конструирования, создание систем обработки больших объемов данных, машинного обучения и искусственного интеллекта. Повышается мониторинг безопасности и прогнозируемая возможность для предотвращения чрезвычайных ситуаций, как природного, так и техногенного происхождения [18, с. 37-41; 19, с.15-19; 20, с. 274-277, 21, с.14].

Технически достижимый результат известного устройства направлен для реализации способа прогнозирования развития чрезвычайной ситуации при аварии на взрывоопасно объекте, который обеспечивает повышение эффективности защиты технологического оборудования и рабочего и иного персонала от аварийных ситуаций путем возможности прогнозирования развития чрезвычайной ситуации техногенного характера взрывоопасном объекте [21, с.14].

### Список литературы

1. Ломакин М.И., Докукин А.В., Мошков В.Б., Олтян И.Ю., Ниязова Ю.М. Оценка ущерба чрезвычайных ситуаций // В сб.: Теория и практика гражданской защиты на страже безопасности жизнедеятельности современного общества. М., 2022. С. 32-36.
2. Горбунов С.В., Макиев Ю.Д., Малышев В.П. Анализ технологий прогнозирования чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера // Стратегия гражданской защиты: проблемы и исследования. 2011. Том 1. № 1(1). С. 43-53.
3. Горбунов С. В., Макиев Ю. Д., Малышев В. П. Мониторинг и прогнозирование чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера // Технологии гражданской безопасности. – 2012. – Т. 9. – №. 1. – С. 70-79.
4. Горбунов С. В. и др. Организация мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций // Стратегия гражданской защиты: проблемы и исследования. – 2015. – Т. 5. – №. 2 (9). – С. 56-70.
5. Цховребов Э.С., Слесарев М.Ю. Нечеткие показатели безопасного состояния потенциально опасных техносферных объектов и территорий // Проблемы управления рисками в техносфере. 2022. № 4 (64). С. 93-103.
6. Суздалева А.Л. Экологическая глобалистика и устойчивое развитие на этапе техногенной трансформации биосферы // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 2020. № 1. С. 6-11.
7. Цховребов Э.С. Новый подход к оценке параметров устойчивого развития в формате предотвращенной экологической опасности // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2023. № 3. С. 50-68.
8. Цховребов Э.С., Гордиенко А.Н. Метод оценки экологических угроз и рисков при функционировании техносферных объектов // Проблемы управления рисками в техносфере. 2023. № 1. С. 114-126.
9. Фалеев М.И., Олтян И.Ю., Арефьева Е.В., Болгов М.В. Методология и технология дистанционной оценки риска // Проблемы анализа риска. 2018. Т. 15. № 4. С. 6-19.
10. Музалевский А.А., Карлин Л.Н. Экологические риски: теория и практика. СПб.: РГГМУ, 2011.- 448 с.
11. Акимов В.А., Лесных В.В., Радаев Н.Н. Основы анализа и управления риском в природной и техногенной сферах. Москва: Финансовый издательский дом "Деловой экспресс", 2004. -352 с.
12. Oltyan I.Y., Arefyeva E.V., Kotosonov A.S. Remote assessment of an integrated emergency risk index. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. International Conference on Construction, Architecture and Technosphere Safety, ICCATS 2020. Sochi, 2020. P. 042053
13. Цховребов Э. С. О подходах к прогнозированию чрезвычайных ситуаций с экологическими последствиями // Столыпинский вестник. - 2024. - Т. 6. - №. 1, с.3

14. Джукаева М. А. Организация мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций //Современная медицина новые подходы и актуальные исследования. – 2020. – С. 373-376.

15. Османов Ш. А., Зелинская И. А., Губанова О. А. Мониторинг и прогнозирование рисков возникновения чрезвычайных ситуаций //Сервис безопасности в России: опыт, проблемы, перспективы. Мониторинг, предотвращение и ликвидация чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера. – 2021. – С. 512-516

16. Микрюков В.Ю. Безопасность жизнедеятельности/Ростов-на-Дону, Феникс, 2007, с. 346

17. Коробкин В.И., Передельский Л.В. Экология. Ростов-на-Дону, Феникс, 2007, с. 531-533, 586, 589

18. Бычков И. В. Фундаментальные основы, методы и технологии цифрового мониторинга и прогнозирования экологической обстановки байкальской природной территории //Россия в XXI веке в условиях глобальных вызовов: проблемы управления рисками и обеспечения безопасности социально-экономических и социально-политических систем и природно-техногенных комплексов. – 2022. – с. 37-41.

19. Ахмадиев Г.М.Разработка модели мониторинга безопасности окружающей среды// Экологический мониторинг опасных промышленных объектов: современные достижения, перспективы и обеспечение экологической безопасности населения: сборник научных трудов по материалам 3-ой Всероссийской научно-практической конференции. Саратов: ООО «Амиринт», 2021. -с.15-19

20. Ахмадиев Г.М. Мониторинг безопасности зданий и инженерно-строительных сооружений//Ресурсоэнергоэффективные технологии в строительном комплексе: сб. науч. тр. по материалам IX Междунар. науч.-практ. конф. / под ред. Ю.Г. Иващенко. Саратов: Саратов. гос. техн. ун-т, 2021. - с.274-277.

21. Кочетов О. С. Способ прогнозирования развития чрезвычайной ситуации при аварии на взрывоопасном объекте //RUS. – 2016. – Т. 2549711. – №. 16.04. – С. 14.

©Ахмадиев Г.М., 2025

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>ГЛАВА 1. УКРЕПЛЕНИЕ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ</b>	<b>5</b>
Абдужабаров А.Х., Бегматов П.А., Хальфин Г.Р.	
<b>ГЛАВА 2. РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ СКОРОСТЬЮ ПОЛЕТА ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА</b>	<b>18</b>
Кикин И.С.	
<b>ГЛАВА 3. МЕТОДЫ СЧИСЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ОРИЕНТАЦИИ ПОДВИЖНЫХ ПРЯМОУГОЛЬНЫХ СИСТЕМ КООРДИНАТ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ДЛЯ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПОЛЕТА ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА</b>	<b>51</b>
Кикин И.С.	
<b>ГЛАВА 4. МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ УПРУГЫХ ПОДШПАЛЬНЫХ ПРОКЛАДОК ДЛЯ УМЕЩЕНИЯ ВИБРАЦИИ В СТЫКОВОЙ ЗОНЕ И СОХРАНЕНИЕ СТАБИЛЬНОГО РАБОТЫ ПУТИ</b>	<b>100</b>
Мехмонов М.Х., Хамидов М.К.	
<b>ГЛАВА 5. ПРИМЕНЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМ В ТЕХНОЛОГИЯХ ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА</b>	<b>114</b>
Скворцова Е.И., Шапкин В.С.	
<b>ГЛАВА 6. СОВЕТСКИЕ СПОРТСМЕНЫ НА ФРОНТАХ ВЕЛИКОЙ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ВОЙНЫ.</b>	<b>141</b>
Анисимов В.Д.	
<b>ГЛАВА 7. РАЗВИТИЕ ВООРУЖЕНИЙ И МАТЕРИАЛЬНОЙ БАЗЫ В ГОДЫ ПЕРВОЙ МИРОВОЙ ВОЙНЫ</b>	<b>156</b>
Михайлов В.В., Жуков П.В.	
<b>ГЛАВА 8. ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ СРЕДСТВ РАЗМЕЩЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ ГЛЭМПИНГОВ В РФ</b>	<b>180</b>
Вишневская Е.В., Слинкова О.К., Богомазова И.В.	
<b>ГЛАВА 9. ВОПРОСЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТУРИСТИЧЕСКИХ ТРОП И ИХ КЛЮЧЕВАЯ РОЛЬ В ИНФРАСТРУКТУРЕ АКТИВНОГО ТУРИЗМА (НА ПРИМЕРЕ ОПЫТА РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН)</b>	<b>194</b>
Галимова Л.И.,	

**ГЛАВА 10. МЕДИАТЕКСТ КАК ИНСТРУМЕНТ ВЛИЯНИЯ НА ЗАПАДНОЕ ОБЩЕСТВЕННОЕ СОЗНАНИЕ** 212

Котова Е.Г.

**ГЛАВА 11. ФАБУЛЬНЫЕ ЛИНИИ В ПОЭМЕ “ЛЕЙЛИ И МЕДЖНУН”** 225

Сатторов У.Ф.

**ГЛАВА 12. СРАВНИТЕЛЬНО-ТИПОЛОГИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ СЮЖЕТА ПОЭМ «ЛЕЙЛИ И МЕДЖНУН» В ЛИТЕРАТУРАХ ВОСТОКА** 237

Эргашев И.Ю.

**ГЛАВА 13. ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ И АЛГОРИТМИЗАЦИЯ НАРРАТИВА В СОЗДАНИИ ЛИТЕРАТУРНЫХ ПРОИЗВЕДЕНИЙ О МАРИНЕТТ МОРТЕМ** 250

Калеева Ж.Г.,

**ГЛАВА 14. АЛГОРИТМ МОНИТОРИНГА БЕЗОПАСНОСТИ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ БИОТЕХНОСФЕРЫ** 264

Ахмадиев Г.М.,



Учебное издание

**ПРИОРИТЕТНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ  
НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.  
АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ, ПЕРСПЕКТИВЫ**

МОНОГРАФИЯ

ВЫПУСК 97  
ЧАСТЬ 1

*Публикуется в авторской редакции*

Печатается в авторской редакции

Подписано в печать 21.04.2025г. Формат 60x90/16.

Печать: цифровая.

Усл. печ. л. 16,30. Тираж 500. Заказ 2373



Отпечатано в редакционно-издательском отделе  
НАУЧНО-ИЗДАТЕЛЬСКОГО ЦЕНТРА «АЭТЕРНА»

450076, г. Уфа, ул. Пушкина 120

<https://aeterna-ufa.ru>

[info@aeterna-ufa.ru](mailto:info@aeterna-ufa.ru)

+7 (347) 266 60 68