

Milli Aviasiya Akademiyası



ISSN 1811-7341

ELMİ MƏCMUƏ

Cild 27, №4 2025



National Aviation Academy

SCIENTIFIC JOURNAL

Volume 27, № 4 2025

Baş redaktor

F.-r.e.d., akademik Arif Mir Cəlal oğlu Paşayev

Elmi redaktor

T.e.d., prof. Rasim Nəsim oğlu Nəbiyev

Redaksiya heyətinin üzvləri (elm sahələri üzrə)

Texnika elmləri

T.e.d., prof. Afiq Rəşid oğlu Həsənov (redaktor)

T.e.d., prof. Ədalət Soltan oğlu Səmədov

F.-r.e.d., prof. Məsud Arif oğlu Əfəndiyev, Helmhols Mərkəzi, Münhen, Almaniya

F.-r.e.d., prof. Əli Tofiq oğlu İsmayılzadə, Karlsruhe Texnologiya İnstitutu, Almaniya

T.e.d., prof. Aleksandr Alekseyeviç İqolkin, Samara Universiteti, Rusiya

T.e.n., dos. Oleq Borisoviç Spiridonov, Cənub Federal Universiteti, Rusiya

T.e.d., prof. İsmayıl Mahmud oğlu İsmayilov

T.e.d., prof. Əhəd Xanəhməd oğlu Cənəhmədov

T.e.d., prof. Pərviz Şahmurad oğlu Abdullayev

F.-r.e.d., prof. Kərim Rəhim oğlu Allahverdiyev

T.e.d., prof. Xəqani İmran oğlu Abdullayev

F.-r.e.d., prof. Kamal Əsgər oğlu Əsgərov

T.e.d., prof. Nazim Şəkər oğlu Hüseynov

T.e.d., prof. Aytac Nəzif qızı Bədəlova

F.-r.e.n., prof. İslam Əsəd oğlu İsgəndərov

T.e.n., dos. Elman Mehdi oğlu Nəcəfov

T.e.n., dos. Fuad Həsən oğlu Dadaşov

Hüquq elmləri

H.e.d., prof. Ayxan Xankişi oğlu Rüstənzadə (redaktor)

Prof. Dr. Cavid Sədulla oğlu Abdullazadə, Ankara Universiteti, Türkiyə

Prof. Dr. Yener Ünver, Özyeğin Universiteti, Türkiyə

Prof. Dr. Ömer Çınar, İbn Haldun Universiteti, Türkiyə

H.e.d., prof. Nazim Həsən oğlu Cəfərli

H.e.d., prof. Sübhan Fərmayıl oğlu Əliyev

H.e.d. Fərdin Yaşar oğlu Xəlilov

H.e.d., dos. Rauf Məmməd oğlu Qarayev

İqtisad elmləri

İ.f.d., dos. Gulnarə Telman qızı Əhmədova (redaktor)

İ.e.d., prof. Heydər Sərdar oğlu Həsənov

İ.e.d., prof. Rustem Tursunoviç Yuldaşev, Moskva Dövlət Beynəlxalq Münasibətlər İnstitutu,

Rusiya İ.e.d., prof. Səlim Yanvar oğlu Müslümov

İ.e.d., prof. Sərvər Alcan oğlu Abbasov

İ.e.d., prof. Elnur Məhəmməd oğlu Sadıqov

İ.e.n., dos. Fəridə Fərid qızı Ələkbərova

İ.f.d., dos. Vəfa Qurban qızı Nəcəfova

İ.f.d., dos. Fuad Mürvət oğlu Mirzəyev

"Elmi Məcmuə"nin bölmələri: aviasiya və raket-kosmik texnikası, aeronaviqasiya, aviasiya təhlükəsizliyi, aviasiya meteorologiyası, aerokosmik monitoring və ətraf mühitin qorunması, cihazqayırma, radioelektronika, telekommunikasiya, informasiyanın emalı, nəqliyyat logistikası, fizika, bərk cisim elektronika, materialşünaslıq, informasiya texnologiyaları, sistemli analiz, idarəetmə sistemləri, hüquq, iqtisadiyyat, menecment, ictimai elmlər.

"Elmi məcmuə" 1999-cu ildə Azərbaycan Respublikası Mətbuat və İnformasiya nazirliyində qeydiyyatdan keçmişdir (Qeyd. № 492).

Jurnal Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında Ali Attestasiya Komissiyasının "Azərbaycan Respublikasında məqalələrin dərc olunması tövsiyə edilən dövrü elmi nəşrlərin siyahısı"na daxildir.

Redaksiyanın ünvanı: AZ1045, Bakı şəh., Mərdəkan pr. 30, Milli Aviasiya Akademiyası

Tel. (+994) 12 497 28 24. E-mail: em@naa.edu.az Veb sayt: <https://scientific-journals.naa.edu.az/>



aak.gov.az
<https://aak.gov.az>

**I JOURNALS
MASTER LIST**

OPEN ACCESS



УДК: 621.396.963.84: 004.93'1

DOI:10.30546/EMNAA.2025.25.04.401

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ АДАПТИВНОЙ ОБРАБОТКИ
РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СИГНАЛОВ В УСЛОВИЯХ МЕЖСИСТЕМНЫХ ПОМЕХ
РАДИОЧАСТОТНОГО ДИАПАЗОНА**

Гасанов А.Р., Искендеров И.А., Алиев Т.Р.

Национальная Академия Авиации

Интенсивный рост использования частотного диапазона 1030/1090 МГц, критически важного для функционирования авиационных радионавигационных систем таких как ADS-B, TCAS, Mode S и DME, приводит к существенному увеличению плотности радиосообщений, сопровождаемых ростом уровня взаимных помех. Перегруженность эфира, вызванная одновременным функционированием множества систем, порождает разнообразные формы интерференции, включая наложение импульсных откликов, ложные ответы и деградацию соотношения сигнал/шум. Эти явления ведут к снижению достоверности обнаружения и отслеживания воздушных судов, увеличивая риски и затрудняя функционирование систем управления воздушным движением. В настоящем исследовании рассматриваются интеллектуальные методы адаптивной обработки сигналов, направленные на повышение помехоустойчивости в условиях насыщенного радиоэфира. Предлагаемый подход основан на каскадной архитектуре адаптивной фильтрации, смоделированной в среде MATLAB. Архитектура включает медианный фильтр для устранения импульсных выбросов, фильтр Баттерворта для подавления широкополосных шумов и Калмановский фильтр для оптимальной оценки параметров сигнала в реальном времени. На основе обзора международных исследований и экспериментов с программно-определяемыми радиосистемами, в статье представлена эффективность предложенной методики для подавления интерференции в диапазоне 1030/1090 МГц без существенного искажения полезных сигналов. Результаты работы демонстрируют, что применение описанного каскадного алгоритма позволяет значительно повысить отношение сигнал/шум, снизить вероятность ложных срабатываний и обеспечить устойчивую работу приёмной аппаратуры в условиях интенсивных помех. Методика может быть реализована в рамках существующих радиотехнических комплексов без значительных аппаратных изменений, что делает её практически применимой и перспективной для масштабного внедрения в современных и будущих системах авиационного наблюдения.

Ключевые слова: радиолокационные сигналы, перегрузка диапазона 1030/1090 МГц, помехи типа FRUIT и garbling, интеллектуальная обработка, адаптивная фильтрация, устойчивость к помехам.

Введение

Активное внедрение систем Mode S, ADS-B и TCAS, DME привело к стремительному росту плотности радиообмена в диапазоне частот 1030/1090 МГц. Это обусловлено не только ростом интенсивности воздушного движения, но и увеличением количества запросчиков и ответчиков, функционирующих без централизованной синхронизации. В результате значительное увеличение количества запросов и откликов, особенно в районах с насыщенным трафиком, приближает спектральную нагрузку к предельным значениям [1].

Одновременная работа множества независимых источников сигнала без механизма приоритетности порождает случайные наложения импульсов, а также взаимные перекрытия ответов от разных воздушных судов – явления, известные как garbling и FRUIT (False Replies Unsynchronized In Time). Эти формы интерференции снижают достоверность декодирования сообщений, ухудшают соотношение сигнал/шум и, в конечном итоге, снижают точность и стабильность радиолокационного наблюдения [2].

В условиях нарастающей нагрузки особую актуальность приобретает разработка эффективных алгоритмов фильтрации и подавления помех в реальном времени, обеспечивающих надёжную обработку радиолокационных сигналов даже в перегруженной среде. В рамках данного исследования создана математическая модель в среде MATLAB, позволяющая выполнить симуляцию процессов приёма и обработки радиолокационных сигналов, включая моделирование шума, интерференции и работу различных фильтров. Это обеспечивает возможность сравнения эффективности различных методов адаптивной фильтрации и их сочетаний.

Целью данной работы является исследование и апробация интеллектуальных алгоритмов, способных обеспечить устойчивую работу радиолокационных систем с активным ответом в условиях насыщенности спектра и минимизации ложных срабатываний.

Основная часть

Актуальность проблемы перегрузки радиочастотного диапазона 1030/1090 МГц в системах наблюдения чётко демонстрируется на карте интенсивности сообщений Mode S по всей Европе (рисунок 1). На визуализации представлены зоны с высокой плотностью ответов от бортовых транспондеров, где частота передач превышает 50 сообщений в секунду, что значительно превосходит рекомендованные значения по спецификациям SPI-IR. Особенно перегружены районы Лондона, Парижа, Франкфурта и северной Италии, где наблюдается устойчивое превышение порогов не только по количеству сообщений, но и по числу откликов, формирующих значительную часть ложных срабатываний и интерференции. Интенсивность Mode S-ответов в ряде европейских зон уже приближается к предельным значениям, допускаемым стандартами ICAO Annex 10. Присутствие на карте обширных красных зон свидетельствует о насыщенности канала 1090 МГц и росте вероятности наложения сигналов и FRUIT-событий (рисунок 1) [3-6].

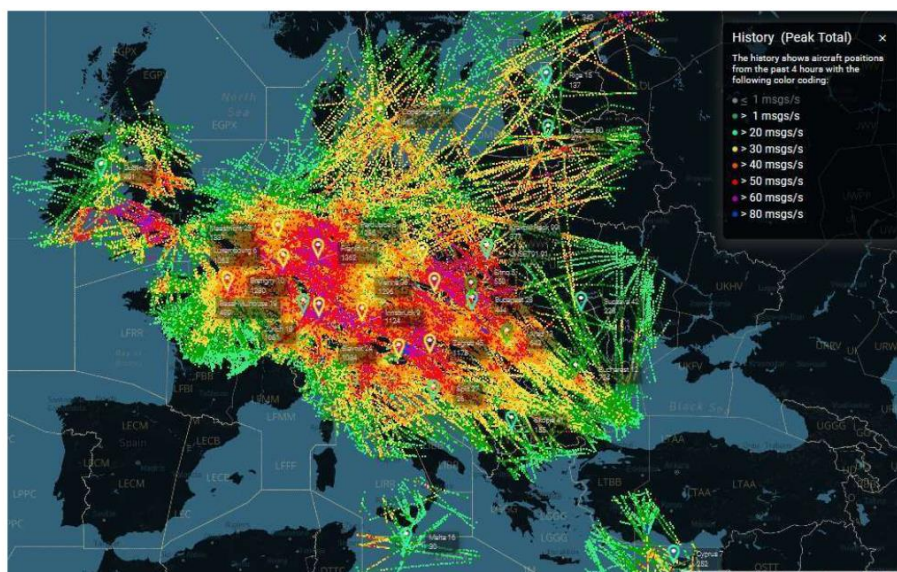


Рисунок 1. Карта интенсивности сообщений Mode S на частоте 1090 МГц в европейском воздушном пространстве

Практические измерения, проведённые в районе аэропорта JFK (Нью-Йорк), подтверждают масштабную перегруженность диапазона 1030/1090 МГц, используемого системами Mode S, TCAS и ADS-B. В ходе 25-дневных наблюдений установлено, что около 88 % воздушных судов оснащены ответчиками Mode S, из них 86 % – TCAS и до 25 % – ADS-B-передатчиками. Одновременно на поверхности аэропорта в часы пик активно работали 20-30, а иногда до 45 бортов с включённой системой TCAS, что приводило к аномально высокому числу ответов Mode S и частым пересечениям сигналов. Анализ показал, что до 60 % всех ответов приходились на TCAS-интеррогации, а доля коротких squitter-сообщений составляла около 10 % [7].

Схожие инициативы реализуются и в азиатском регионе. В Японии Главное управление гражданской авиации совместно с Научно-исследовательским институтом электронной навигации проводит постоянный мониторинг состояния диапазона 1030/1090 МГц. С 2022 года в рамках проекта осуществляется сбор и анализ данных, полученных с лётных инспекционных самолётов с использованием методики ICAO Doc 9924. Результаты первых измерений показали среднюю загрузку канала на уровне 2 %, однако подчёркнуто, что дальнейший рост воздушного движения может привести к превышению критического порога 8 %, вызывающего искажения в отображении целей [8].

Масштаб проблемы подтверждается и международными исследованиями: весь диапазон 960-1215 МГц, включающий DME, TACAN, SSR, TCAS, характеризуется высокой плотностью импульсных помех и ограниченной спектральной ёмкостью. Duty-cycle сигналов DME и TACAN может достигать 17 %, а уровень мешающих импульсов нередко превышает мощность полезного сигнала на 50 дБ. Эти данные наглядно демонстрируют, что интенсивное одновременное функционирование множества систем связи и наблюдения приводит к серьёзному росту помех и необходимости совершенствования алгоритмов обработки сигналов [9].

Дополнительные подтверждения получены и по результатам локальных экспериментов. Испытания системы ADS-B, проведённые на базе Национальной Академии Авиации, показали, что при высокой плотности радиообмена в диапазоне 1030/1090 МГц наблюдается снижение достоверности передачи данных вследствие наложения импульсных откликов и ограничения числа временных слотов канала. Применение направленных и секторных антенн позволило увеличить дальность уверенного приёма и снизить уровень взаимных помех, что подтверждает актуальность внедрения адаптивных методов фильтрации в условиях перегруженного радиоэфира [10, 11].

Одним из эффективных направлений повышения точности дистанционных измерений и формирования эталонных сигналов являются акустооптические методы, в частности, акустооптический маркер, формируемый на основе дифракции Брэгга в фотоупругой среде. Такой маркер обеспечивает высокоточное пространственно-временное позиционирование светового импульса, что позволяет использовать его в качестве опорного сигнала для калибровки или моделирования измерительных систем. Принцип работы основан на управлении частотой и фазой акустической волны в кристалле, что вызывает линейное смещение дифрагированного луча. Этот физический механизм фактически реализует аналог адаптивной временной фильтрации: изменение частоты управляющего сигнала приводит к контролируемому изменению положения и длительности импульса, что позволяет моделировать поведение системы при различных типах сигналов и шумов [12, 13].

Переход от подобных физических аналогов к цифровым системам анализа и контроля привёл к широкому распространению интеллектуальных методов обработки сигналов. В современных радиотехнических системах управления воздушным движением активно внедряются интеллектуальные методы диагностики и мониторинга технического состояния оборудования. Применение нейросетевых алгоритмов и вейвлет-анализа позволяет осуществлять обработку измерительных данных в реальном времени, выявлять отклонения

параметров и прогнозировать возможные неисправности аппаратуры. Такие методы обеспечивают автоматическое обнаружение деградации характеристик, формирование предупредительных сигналов и переход на резервные каналы без участия оператора. Подобные подходы демонстрируют эффективность интеллектуальных алгоритмов при анализе сигналов сложной структуры и могут быть адаптированы для повышения помехоустойчивости радиолокационных систем в диапазоне 1030/1090 МГц [14].

Для рассмотрения методов обработки радиолокационных сигналов, целесообразно проанализировать подходы к фильтрации в условиях помеховой среды. Существуют различные методы фильтрации, такие как экспоненциальное скользящее среднее, Гауссов и Винеров фильтры. Метод экспоненциального скользящего среднего отличается простотой, но вносит фазовое запаздывание и временной сдвиг между входным и выходным сигналами, что снижает точность синхронной обработки импульсных сигналов. Гауссов фильтр эффективно подавляет случайные шумы и сглаживает сигнал за счёт плавной амплитудно-частотной характеристики. Однако применение таких сглаживающих низкочастотных фильтров приводит к расширению импульсной реакции и снижению временного разрешения радиолокационной системы. Это связано с уменьшением полосы частот и размытием фронтов импульса. Кроме того, нелинейность фазовой характеристики вызывает групповую задержку, что приводит к искажению формы отражённого сигнала [15, 16].

Фильтр Винера обеспечивает оптимальное подавление шума при условии известной статистики сигнала и помех. Однако в реальных радиолокационных системах его применение ограничено, поскольку фильтр требует точного знания спектральных характеристик сигнала и шума, которые часто изменяются во времени и недоступны для прямого измерения. Таким образом, традиционные методы уступают адаптивным алгоритмам по устойчивости к изменяющимся условиям наблюдения. В связи с этим особый интерес представляют медианная, Баттервортовская и Калмановская фильтрации, обеспечивающие баланс между точностью обработки, устойчивостью к помехам и вычислительной эффективностью [17].

В таких условиях предложенная комбинация фильтров позволяет повысить помехоустойчивость радиолокационной обработки. Выбранные нами фильтры позволяют устранить недостатки этих методов и обеспечить баланс между качеством обработки и вычислительными затратами. Медианный фильтр относится к классу нелинейных ранговых фильтров, разработанных для подавления импульсных помех при сохранении резких переходов и границ сигналов. В отличие от линейных фильтров, которые ориентированы на спектральную обработку, медианные фильтры действуют геометрически, выделяя локально монотонные или постоянные участки сигнала. Это делает их особенно эффективными для обработки данных, в которых спектры сигнала и шума перекрываются, как в радиолокации, так и силовой электронике, где присутствует высокочастотный «звон» и случайные выбросы.

Согласно Karl et al. (1992), медианный фильтр формирует выходное значение как медиану набора отсчетов в окне размера $2N+1$:

$$y(n) = \text{median} [x(n - N), \dots, x(n), \dots, x(n + N)] \quad (1)$$

где:

- $x(n)$ – входной сигнал (например, радиолокационный отсчёт);
- N – половина размера скользящего окна (общее количество отсчётов в окне – $2N+1$);
- $\text{median} [\cdot]$ – операция нахождения медианы, то есть среднего значения среди упорядоченного набора отсчётов.

Это позволяет фильтру эффективно устранять одиночные всплески, не искажая ступенчатые или линейно возрастающие участки сигнала. Например, при моделировании импульсных переходов медианный фильтр полностью восстанавливал форму фронта, тогда как фильтр Баттерворта (4-го порядка) сглаживал его и не устранял выбросы.

В приложениях к силовой электронике и радиотехнике медианный фильтр доказал эффективность при удалении паразитных колебаний и звонков от паразитных ёмкостей и индуктивностей, сохраняя при этом реальные переходные процессы. Его важное преимущество – устойчивость к ошибкам округления и простота реализации даже в цифровом виде, поскольку операция сортировки не требует плавающих вычислений. Для радиолокационных систем это свойство ценно: фильтр можно реализовать в микроконтроллере для реального времени при обработке ответов Mode S, где характерны короткие импульсы и частые ложные срабатывания (FRUIT).

Фильтр Баттерворта – классический линейный фильтр, обеспечивающий максимально плоскую амплитудно-частотную характеристику (АЧХ) в полосе пропускания. Разработанный Стивеном Баттервортом в 1930 г., он широко используется в системах связи, радиолокации и электронике благодаря способности подавлять высокочастотные шумы при минимальном искажении полезного сигнала. Основное свойство фильтра Баттерворта – монотонное спадание амплитуды с ростом частоты и отсутствие ряби в полосе пропускания. Его характеристика определяется порядком n фильтра:

$$|H(j\omega)| = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{\omega}{\omega_c}\right)^{2n}}} \quad (2)$$

где:

- $|H(j\omega)|$ – модуль передаточной функции фильтра (амплитудный отклик);
- ω – угловая частота входного сигнала;
- ω_c – частота среза.
- n – порядок фильтра, определяющий крутизну спада характеристики за пределами полосы пропускания.

Для проектирования активных фильтров часто применяется топология Саллена–Ки, позволяющая построить второй или третий порядок с операционными усилителями и RC-цепочками. Например, при $f_c=1\text{kHz}$ и $C=1\mu\text{F}$, сопротивления $R \approx 1.59\text{k}\Omega$ обеспечивают качественный фактор $Q=1$. Моделирование в LTspice показало, что третий-порядковый низкочастотный фильтр Баттерворта даёт ослабление более 40 дБ на частоте 10 кГц, эффективно устраняя высокочастотные гармоники, хотя фазовая характеристика имеет нелинейность из-за крутизны амплитудного отклика. В отличие от медианного, фильтр Баттерворта ориентирован на спектральное сглаживание, поэтому он хорошо подавляет равномерный (гауссов) шум, но хуже справляется с одиночными выбросами. Тем не менее, его высокая стабильность и простота расчёта делают его важным элементом адаптивных схем предобработки радиолокационных сигналов [18, 19]. Таким образом, медианный фильтр ограничен при фильтрации гауссовского шума или при необходимости значительного сглаживания спектральных помех. В таких случаях его целесообразно сочетать с линейными фильтрами низких частот (например, Баттерворта) или их гибридными структурами. На рисунке 2 показано сравнение результатов фильтрации зашумленного прямоугольного сигнала. Оранжевая линия соответствует исходному «чистому» сигналу, тонкая серая линия – результат медианной фильтрации. Медианный фильтр эффективно устраняет импульсные выбросы, сохраняя форму фронтов [9].

Как известно, Калмановский фильтр это рекурсивный метод оптимальной оценки состояния системы на основе априорной модели движения и поступающих измерений. В радиолокационных системах данный метод позволяет объединять данные измерений и априорные оценки для восстановления истинных координат и скорости цели даже при наличии шумов. Современные версии фильтра Калмана, включая адаптивные и гибридные

структуры, способны учитывать нелинейность движения и изменчивость шумовых характеристик, что очень актуально для обработки сигналов в сложной помеховой среде [20].

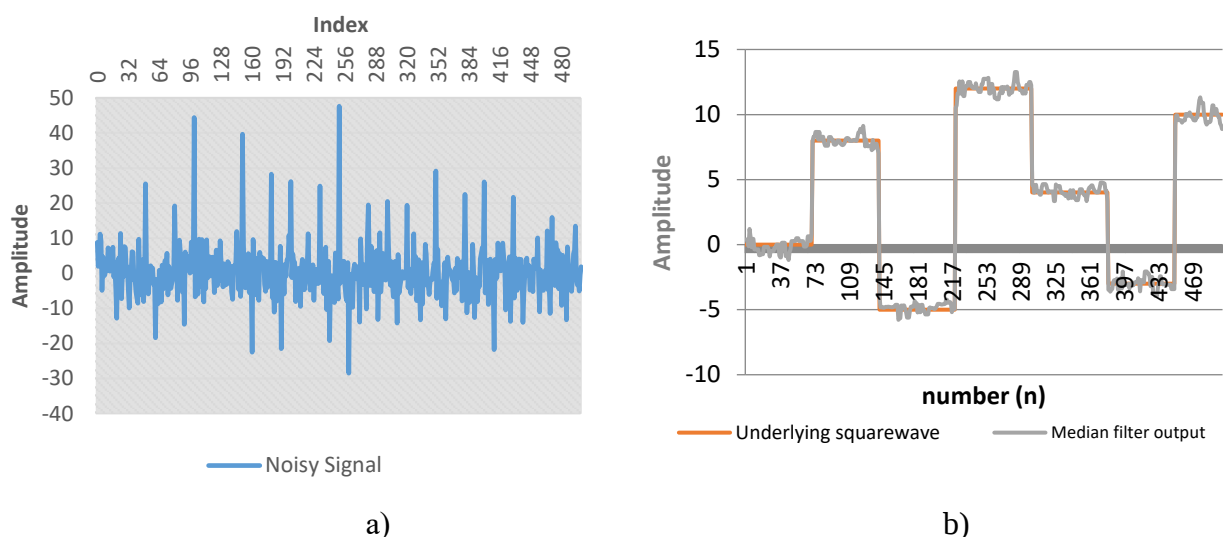


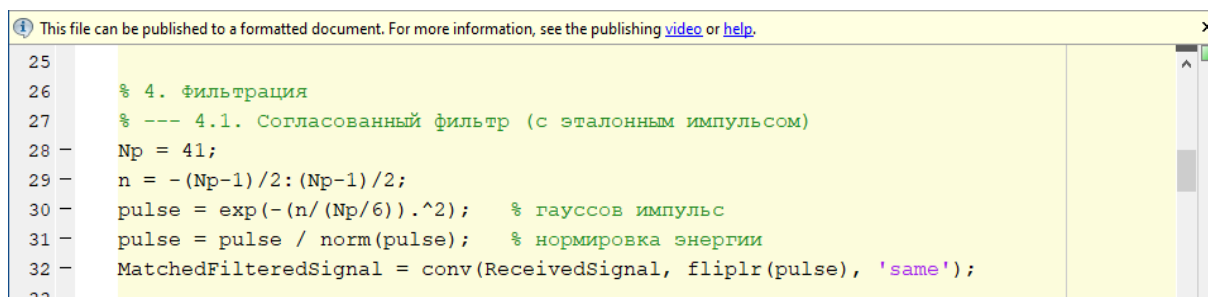
Рисунок 2. Медианная фильтрация для импульсного сигнала: а) прямоугольный сигнал, искажённый импульсным шумом, б) результаты после медианной фильтрации

Совместное применение этих трёх фильтров позволяет сформировать многоуровневую систему интеллектуальной фильтрации, где каждый метод компенсирует недостатки других. Медианный фильтр эффективно устраняет импульсные выбросы, возникающие при пересечении сигналов ответчиков и паразитных отражениях, подавляя негауссовские шумы без искажения формы импульсов. Фильтр Баттерворта сглаживает спектральные и гармонические составляющие, возникающие при наложении кодов Mode A/C/S и ADS-B, сохраняя фазовую когерентность и не искажая рабочий диапазон частот. Калмановский фильтр адаптируется к временным флуктуациям помеховой среды, компенсируя коррелированные возмущения и восстанавливая истинные параметры сигналов, что приводит к повышению отношения сигнал/шум и достоверности радиолокационных данных [21].

Основная идея заключается в том, чтобы на симуляционном уровне воспроизвести работу вторичных радиолокационных систем в диапазоне 1030/1090 МГц и исследовать эффективность различных цифровых фильтров и алгоритмов обработки сигналов. При этом создаётся имитационная модель, в которой моделируется мощность принимаемого сигнала в зависимости от дальности, добавляются искусственные цели и шумы, а затем выполняется последовательная фильтрация и адаптивное обнаружение. На первом этапе формируется теоретическая зависимость принимаемой мощности от дальности ($1/R^4$) с добавлением гауссовского шума и отдельных импульсных отражений, имитирующих воздушные цели. Далее реализуется обработка сигнала с применением нескольких методов: медианного фильтра для подавления одиночных выбросов, низкочастотного фильтра Баттерворта для сглаживания шумовой составляющей, адаптивного фильтра Калмана для оценки истинного сигнала на фоне случайных флуктуаций, а также согласованного фильтра для выделения импульсов, соответствующих ожидаемой форме отражённого сигнала. Для адаптивного порогового обнаружения используется алгоритм CA-CFAR (Constant False Alarm Rate), который позволяет подстраивать порог под локальный уровень помех [21, 22].

Для повышения достоверности принимаемого радиолокационного сигнала применяется каскадная система цифровых фильтров, где каждый этап выполняет свою задачу. Первым используется согласованный фильтр (Matched Filter), который усиливает участки сигнала, совпадающие по форме с ожидаемым импульсом. Смысл в том, что свёртка входного

сигнала с эталонным импульсом усиливает только те фрагменты, где есть отклик от цели, а случайные шумы становятся менее заметными (рисунок 3).



```

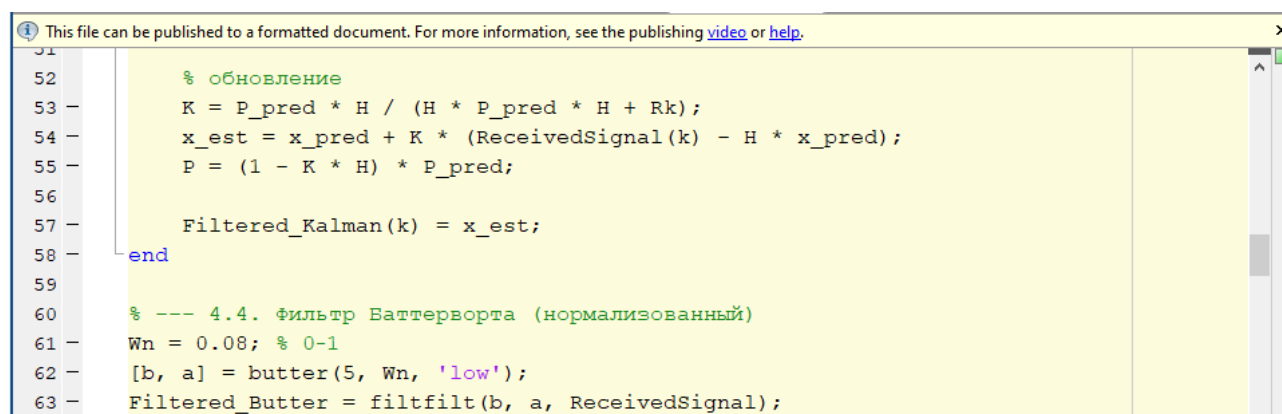
25
26 % 4. Фильтрация
27 % --- 4.1. Согласованный фильтр (с эталонным импульсом)
28 - Np = 41;
29 - n = -(Np-1)/2:(Np-1)/2;
30 - pulse = exp(-(n/(Np/6)).^2); % гауссов импульс
31 - pulse = pulse / norm(pulse); % нормировка энергии
32 - MatchedFilteredSignal = conv(ReceivedSignal, fliplr(pulse), 'same');
33

```

Рисунок 3. Фрагмент кода MATLAB работы согласованного фильтра

Далее применяется медианный фильтр, который убирает одиночные выбросы без сильного размытия сигнала. Этот метод особенно полезен при наличии коротких импульсных помех – он сохраняет фронты отражений и при этом делает сигнал чище.

Следующим этапом выполняется фильтрация Калмана, основанная на принципе предсказания и коррекции. Алгоритм на каждом шаге оценивает уровень шума и подстраивает параметры. Такой фильтр адаптируется к условиям и сглаживает сигнал, уменьшая влияние случайных флуктуаций, не искажая полезную информацию. В завершение используется фильтр Баттерворта низких частот, который удаляет быстрые колебания и делает профиль сигнала плавным (рисунок 4).



```

51
52 % обновление
53 - K = P_pred * H / (H * P_pred * H + Rk);
54 - x_est = x_pred + K * (ReceivedSignal(k) - H * x_pred);
55 - P = (1 - K * H) * P_pred;
56
57 - Filtered_Kalman(k) = x_est;
58 - end
59
60 % --- 4.4. Фильтр Баттерворта (нормализованный)
61 - Wn = 0.08; % 0-1
62 - [b, a] = butter(5, Wn, 'low');
63 - Filtered_Butter = filtfilt(b, a, ReceivedSignal);

```

Рисунок 4. Фрагменты кода с применением фильтров Калмана и Баттерворта

Двусторонняя фильтрация `filtfilt` предотвращает фазовые искажения, что особенно важно при анализе формы отражённого импульса. Такое последовательное (каскадное) применение фильтров обеспечивает комплексное очищение сигнала: согласованный фильтр усиливает полезные отражения, медианный подавляет выбросы, Калман стабилизирует профиль, а Баттерворт убирает остаточные помехи. На выходе формируется сигнал, пригодный для точного адаптивного обнаружения целей (CA-CFAR).

На самом верхнем графике рисунка 5 представлена теоретическая мощность радиолокационного сигнала, которая убывает с увеличением дальности (по закону $1/R^4$). Здесь видно, что в нескольких точках добавлены «искусственные цели» – небольшие всплески мощности. Второй график – зашумлённый сигнал, в котором эти цели практически теряются на фоне помех. Это имитация реального приёма данных, когда на фоне полезных сигналов присутствуют шумы и помехи. Далее показаны результаты трёх методов фильтрации. Медианная фильтрация частично устраняет отдельные всплески и импульсные выбросы, делая

сигнал более «кусковым», но не идеально гладким. Фильтр Баттерворта заметно сглаживает сигнал, оставляя только крупные формы и убирая быстрые колебания.

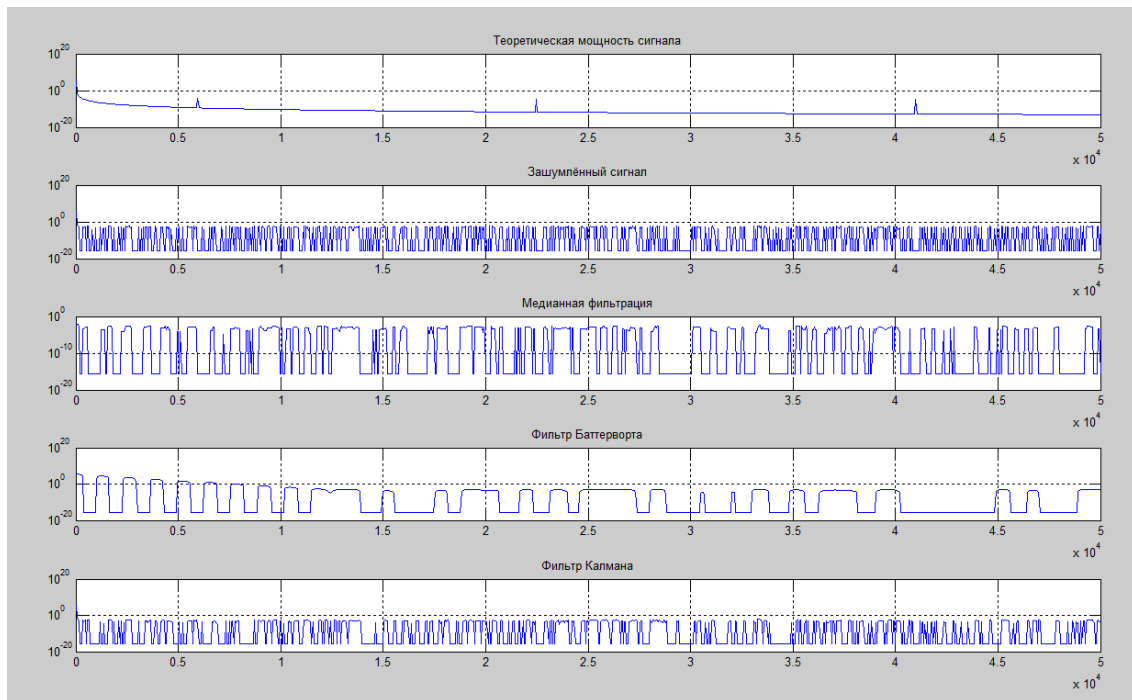


Рисунок 5. Фильтрация сигналов каскадной схемой в среде MATLAB

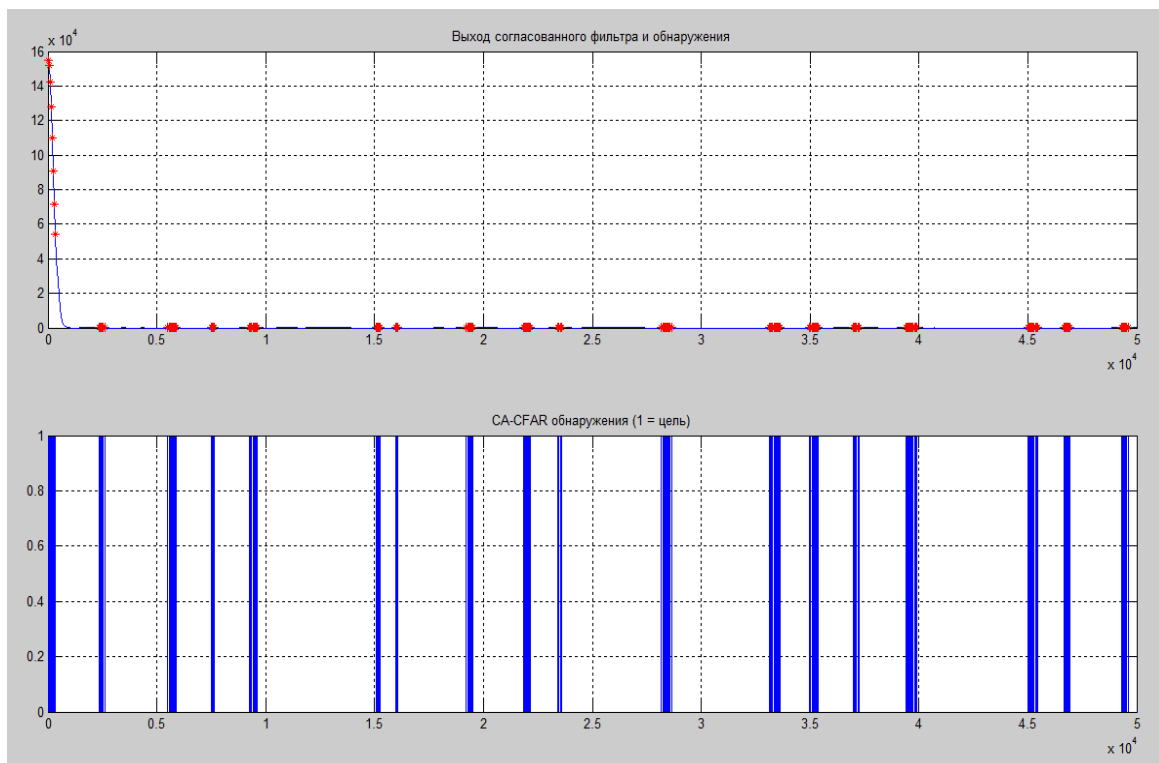


Рисунок 6. Выход согласованного фильтра и алгоритм CFAR в среде MATLAB

Этот метод хорошо подавляет высокочастотный шум. Фильтр Калмана демонстрирует плавное восстановление профиля сигнала при сохранении общей структуры. Он адаптируется к уровню шума и динамике сигнала, давая устойчивую оценку даже при значительных флуктуациях [21].

На рисунке 6 сверху показан выход согласованного фильтра, который усиливает участки сигнала, совпадающие по форме с ожидаемым импульсом. Красные звёздочки обозначают моменты, где сигнал превышает адаптивный порог и система фиксирует возможные цели. Нижний график иллюстрирует работу алгоритма CA-CFAR – здесь единицы (синие столбики) обозначают обнаруженные цели. Видно, что алгоритм уверенно выделяет несколько целей на фоне сильно ослабленного и неравномерного сигнала, автоматически подстраивая порог чувствительности под уровень локальных шумов.

Заключение

Адаптивная система фильтрации, объединяющая медианный, Баттервортовский и Калмановский фильтры, позволяет существенно повысить помехоустойчивость вторичных радиолокаторов. Медианный фильтр удаляет импульсные выбросы, фильтр Баттерворта сглаживает спектральные помехи, а Калмановский фильтр адаптирует параметры модели к текущему уровню шума. Пороговое обнаружение на основе медианного абсолютного отклонения обеспечивает динамическую настройку критериев детекции. Результаты моделирования в среде MATLAB подтверждают, что предлагаемая многоуровневая схема повышает отношение сигнал-шум, снижает дисперсию ошибок оценки и уменьшает вероятность ложных тревог, обеспечивая более надёжное радиолокационное наблюдение.

Полученная модель может использоваться как лабораторная платформа для анализа интерференции FRUIT и garble, а также как обучающий инструмент для иллюстрации принципов адаптивной фильтрации сигналов в радиолокации. В дальнейшем планируется реализовать аппаратную имитацию сигналов с использованием Arduino и модулей nRF24L01 для создания физического прототипа в среде Python и сопоставления реальных результатов с модельными.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алиев Т.Р., Искендеров И.А. (2025). Повышение надежности радиолокационных систем УВД: стратегии и современные решения. *International Journal of Aviation Science and Technology*, 6(1), 45-58. <https://doi.org/10.23890/IJAST.vmno.0105>
2. Искендеров И.А., Алиев Т.Р. (2023). Разработка модели автономной диагностической системы TCAS с использованием бесконтактных датчиков тока. Т.Н. Karakoc, A. Yilmaz и A. Türk (ред.), *Novel techniques in maintenance, repair, and overhaul* (с. 117-121). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-42041-2_16
3. Пленингер С., Строухал М. (2013). Мероприятия по смягчению перегрузки спектра 1030/1090 МГц. *Modern Air Defence Journal (MAD)*, 2(2), 7-10. <https://doi.org/10.14311/MAD.2013.02.02>
4. Алиев Т.Р., Искендеров И.А. (2025). Статистический анализ влияния перегрузки частотного диапазона на системы управления воздушным движением. *Материалы конференции «Февральские чтения 2025»* (с. 99-104). Национальная академия авиации, Баку.
5. Кадук Агилар Б. (2021). Анализ и оптимизация загрязнения радиоспектра в диапазонах 1030/1090 МГц, связанного с ответчиками Mode S. Дипломная работа. Политехнический университет Каталонии, Школа телекоммуникаций и аэрокосмической инженерии Кастельдефельса (ЕЕТАС), Испания, 72 с.

6. EUROCONTROL. (2024). *Эксплуатация Mode S в диапазоне 1030/1090 МГц для военно-морских операторов: Смягчение радиочастотной перегрузки* (CMC/CNS Technical Leaflet № 16, 20 сентября 2024). EUROCONTROL.
7. Панкен А. Д., Харман У. Дж., Роуз К. Э., Драмм А. С., Хлубински Б. Дж., Элдер Т. Р., Мерфи Т. Дж. (2012). Измерения окружающей среды в диапазоне 1030 и 1090 МГц в аэропорту JFK (Отчёт АТС-390). Лаборатория Линкольна, Массачусетский технологический институт. Подготовлено для Федерального авиационного управления США, Вашингтон.
8. Хонго Н. (2023). Мониторинг и оценка загруженности диапазона 1030/1090 МГц в Японии. Бюро гражданской авиации Японии (JCAB), Айти, Япония. Доклад на совещании ICAO Asia/Pacific Air Navigation Service Meeting.
9. Эппле У., Шнелль М. (2011). Обзор ситуации интерференции и методов её смягчения для LDACS1. В *Материалах 30-й конференции по авионическим системам (DASC)* (с. 1–9). IEEE. <https://doi.org/10.1109/DASC.2011.6096081>
10. Набиев, Р.Н. (2008). Повышение дальности и надёжности обслуживания системы ADS-B. Вопросы специальной радиоэлектроники, (1), 155-161. Москва – Таганрог.
11. Пашаев, А.М., Гаджиев, Н.Д., Набиев, Р.Н., и Султанов, В.З. (2004). Радиолокационные системы УВД [Монография]. Баку: Издательство «Сада». ISBN 5-86874-488-8.
12. Гасанов А.Р., Гасанов Р.А. (2017). Некоторые особенности построения акустооптической линии задержки с прямым детектированием. *Приборы и техника эксперимента*, 60, 722-724. <https://doi.org/10.1134/S0020441217050062>
13. Гасанов А.Р., Агаев Э.А. (2019). Акустооптический маркер, его разработка и исследование. *Elmi Məcmuə*, 21(3), 9-17.
14. Рамазанов К.Ш. (2024). Методы и средства интеллектуального оперативного мониторинга технического состояния наземных средств связи и радиотехнического обеспечения полетов. *Elmi Məcmuə*, 26(1), 47-52. Национальная академия авиации, Баку. <https://doi.org/10.30546/JNAA.2024.26.1.47>
15. Смит С.У. (1999). *Руководство учёного и инженера по цифровой обработке сигналов* (2-е изд.). California Technical Publishing. ISBN 0-9660176-6-8
16. Ричардс М.А. (2005). *Основы обработки радиолокационных сигналов*. Нью-Йорк: McGraw-Hill. ISBN 0-07-144474-2
17. Эткинсон И., Камалабади Ф., Джонс Д.Л., До М.Н. (2003). Адаптивное вейвлет-пороговое оценивание многоканальных сигналов. *Proceedings of SPIE – The International Society for Optical Engineering*, 5207, 158-169. <https://doi.org/10.1117/12.506397>
18. Карл У.К., Либ С.Б., Джонс Л.А., Верджиз Г.С. (1992). Применение ранговых фильтров в силовой электронике. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 7(3), 437-447. <https://doi.org/10.1109/63.145140>
19. Ван Б. (2024). Обработка сигналов на основе фильтра Баттерворта: свойства, проектирование и применение. *Highlights in Science, Engineering and Technology*, 97, 72-78.
20. Сонг Ф., Ли И., Чэн В., Донг Л., Ли М., Лю Дж. (2022). Улучшенный фильтр Калмана на основе рекуррентной нейронной сети долгой и короткой памяти для нелинейного сопровождения целей радиолокатором. *Wireless Communications and Mobile Computing*, 2022, Статья ID 5020443, 10 с. <https://doi.org/10.1155/2022/5020443>

21. Сколник М.И. (1980). *Введение в радиолокационные системы* (2-е изд.). McGraw-Hill Book Company. ISBN 0-07-057909-1
22. Бартон Д.К. (2013). *Уравнения радиолокатора для современного радара*. Artech House. ISBN 978-1-60807-521-8

REFERENCES

1. Aliev T.R., Iskenderov I.A. (2025). Povyshenie nadejnosti radiolokatsionnykh sistem UVD: strategii i sovremennye resheniya. *International Journal of Aviation Science and Technology*, 6(1), 45–58. <https://doi.org/10.23890/IJAST.vmno.0105>
2. Iskenderov I.A. Aliev T.R. (2023). Razrabotka modeli avtonomnoy diagnosticheskoy sistemy TCAS s ispolzovaniem beskontaktnykh datchikov toka. V.T.N. Karakoc, A. Yilmaz i A. Türk (red.), *Novel techniques in maintenance, repair, and overhaul* (s. 117–121). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-42041-2_16
3. Pleninger S., Stroukhal M. (2013). Meropriyatiya po smyagcheniyu peregruzki spektra 1030/1090 MGts. *Modern Air Defence Journal (MAD)*, 2(2), 7–10. <https://doi.org/10.14311/MAD.2013.02.02>
4. Aliev T.R., Iskenderov I.A. (2025). Statisticheskii analiz vliyaniya peregruzki chastotnogo diapazona na sistemy upravleniya vozdushnym dvizheniem. V *materialy konferentsii “Fevralskie chteniya 2025”* (s. 99-104). Natsionalnaya Aviatsionnaya akademiya, Baku.
5. Kaduk Agilar B. (2021). Analiz i optimizatsiya zagryazneniya radiospektra v diapazonakh 1030/1090 MGts, svyazannogo s otvetchikami Mode S. Diplomnaya rabota. Universitet politekhnicheskoy Katalonii. Shkola telekommunikatsiy i aerokosmicheskoy inzhenerii Kasteldefelsa (EETAJ). Ispaniya, 72s.
6. EUROCONTROL. (2024). Ekspluatatsiya Mode S v diapazone 1030/1090 MGts dlya voenno-morskikh operatorov: *Smyagchenie radiochastotnoy peregruzki* (CMC/CNS Technical Leaflet № 16, 20 sentyabrya 2024). EUROCONTROL.
7. Panken A.D., Kharman U. Dj., Rouz K. E., Damm A.S., Khlubinski B. Dj, Elder T.R., Merfi T.Dj. (2012). Izmereniya okrujayushey sredy v diapazone 1030 i 1090 MGts v aeroportu JFK (Otcher ATS-390). Laboratoriya Linkolna, Massachusetskiy institut tekhnologiy. Podgotovleno dlya Federalnogo aviatsionnogo upravleniya SSHA, Vashington.
8. Khongo N. (2023). Monitoring i otsenka zagrujennosti diapazona 1030/1090 MGts v Yaponii. Byuro grajdanskoy aviatsii Yaponii (JCAB), Ayti, Yaponiya. Doklad na soveshanii ICAO Asia/Pacific Air Navigation Service Meeting.
9. Epple U., Shnell M., (2011). Obzor situatsii interferentsii i metodov ee smyagcheniya dlya LDACS1. V *Materialakh 30-y konferentsii po avionicheskim sistemam (DASC)* (s. 1–9). IEEE. <https://doi.org/10.1109/DASC.2011.6096081>
10. Nabiev, R.N. (2008). Povyshenie dalnosti i nadejnosti obslujivaniya sistemy ADS-B. *Voprosy spetsialnoy radioelektroniki*, (1), 155–161. Baky: NII Aviatsii NANA.
11. Pashaev, A.M., Gadjev, N.D., Nabiev, R.N., i Sultanov, V.Z. (2004). Radiolokatsionnye sistemy UVD [Monografiya]. Baku: Izdatelstvo “Sada” ISBN5-86874-488-8.
12. Gasanov A.R., Gasanov R.A (2017). Nekotorye osabennosti postroeniya akustoopticheskoy linii zaderjki s pryamym detektirovaniem. *Pribory i tekhnika eksperimenta*, 60, 722–724. <https://doi.org/10.1134/S0020441217050062>

13. Gasanov A.R., Agaev E.A.. (2019). Akustoopticheskiy marker, ego razrabotka i issledovanie. *Elmi Mejmueler*, 21(3), 917.
14. Ramazanov K.Sh. (2024). Metody i sredstva intellektualnogo operativnogo monitoringa tekhnicheskogo sostoyaniya nazemnykh sredstv svyazi i radiotekhnicheskogo obespecheniya poletov. *Elmi Mejmue*, 26(1), 47–52. Natsionalnaya aviatsionnaya akademiya, Baku. <https://doi.org/10.30546/JNAA.2024.26.1.47>
15. Smit S.U. (1999). *Rukovodstvo uchenogo i injenera po tsifrovoy obrabotke signalov (2-e izd.)*. California Technical Publishing. ISBN 0-9660176-6-8
16. Richarde M.A. (2005). *Osnovy obrabotki radiolokatsionnykh signalov*. Nyu-York: McGraw-Hill. ISBN 0-07-144474-2
17. Etkinson İ., Kamalabadi F., Dione D.L., Do M.N. (2003). *Adaptivnoe veyvlet-porogovoe otsenivanie mnogokanalnykh signalov. Proceedings of SPIE – The International Society for Optical Engineering*, 5207, 158–169. <https://doi.org/10.1117/12.506397>
18. Karl U.K., Lib S.B., Djons L.A., Verdiz G.S. (1992). *Primenenie rangovykh filtrov v silovoy elektronike. IEEE Transactions on Power Electronics*, 7(3), 437–447. <https://doi.org/10.1109/63.145140>
19. Van B. (2024). *Obrabotka signalov na osnove filtra Battervorta: svoystva, proektirovanie i primeneniye. Highlights in Science, Engineering and Technology*, 97, 72–78.
20. Song F., Li İ., Chen V., Dong L., Li M., Lyu Dj. (2022). *Uluchshennyi filtr Kalmana na osnove rekurrentnoy neyronnoy seti dolgoy i korotkoy pamyati dlya nelineynogo soprovozhdeniya tseley radiolokatorom. Wireless Communications and Mobile Computing*, 2022, Statya ID 5020443, 10 c. <https://doi.org/10.1155/2022/5020443>
21. Skolnik M.İ. (1980). *Vvedenie v radiolokatsionnye sistemy (2-e izd.)*. McGraw-Hill Book Company. ISBN 0-07-057909-1
22. Barton D.K. (2013). *Uravneniya radiolokatora dlya sovremennogo radara*. Artech House. ISBN 978-1-60807-521-8

**RADIOTEZLİK DİAPAZONUNDA YARANAN MANEƏLƏR ŞƏRAİTİNDƏ ADAPTİV
RADIOLOKASIYA SİQNALLARININ EMALİ ALQORİTMLƏRİNİN
TƏKMİLLƏŞDİRİLMƏSİ**

**Həsənov A.R., İsgəndərov İ.Ə., Əliyev T.R.
Milli Aviasiya Akademiyası**

ADS-B, TCAS, Mode S və DME kimi aviasiya radionaviqasiya sistemlərinin fəaliyyəti üçün kritik əhəmiyyət daşıyan 1030/1090 MHz tezlik diapazonunun intensiv istifadəsi, radioötürmələrin sıxlığının əhəmiyyətli dərəcədə artmasına və qarşılıqlı maneələrin yüksəlməsinə səbəb olur. Müxtəlif sistemlərin eyni zamanda işləməsi nəticəsində yaranan spektr yüklənməsi, impuls cavabların üst-üstə düşməsi, yalnız cavablar (FRUIT) və siqnal-səs nisbətinin azalması kimi interferensiya formalarını yaradır. Bu hadisələr hava gəmilərinin aşkarlanması və izlənməsi etibarlılığını azaldır, riskləri artırır və hava hərəkətinə nəzarət sistemlərinin fəaliyyətini çətinləşdirir. Təqdim olunan tədqiqat radioefirin sıx şəraitində maneəyə qarşı davamlılığı artırmaq məqsədilə intellektual adaptiv siqnal emalı metodlarını təhlil edir. Təklif olunan yanaşma MATLAB mühitində modelləşdirilmiş kaskadlı adaptiv filtrləmə arxitekturasına əsaslanır. Arxitektura impuls çıxıntıların aradan qaldırılması üçün

median filtri, genişzolaqlı səs-küüyün azaldılması üçün Butterworth filtri və signal parametrlərinin real vaxtda optimal qiymətləndirilməsi üçün Kalman filtrini birləşdirir. Beynəlxalq tədqiqatların və proqramla təyin olunan radiosistemlər üzərində aparılan eksperimentlərin təhlili göstərir ki, təklif edilən metod 1030/1090 MHz diapazonunda interferensiyanın qarşısını əhəmiyyətli dərəcədə alır və faydalı signalları təhrif etmir. Nəticələr göstərir ki, təklif olunan kaskadlı alqoritmin tətbiqi signal-səs nisbətini əhəmiyyətli dərəcədə artırır, yalnız aşkarlamaların ehtimalını azaldır və intensiv maneələr şəraitində qəbuledici avadanlığın sabit işləməsini təmin edir. Bu metod mövcud radiotexniki komplekslərdə ciddi aparat dəyişiklikləri olmadan tətbiq oluna bilər və müasir, eləcə də gələcək nəzarət sistemlərində genişmiqyaslı tətbiqi üçün perspektivlidir.

Açar sözlər: Radiolokasiya signalları, 1030/1090 MHz tezlik diapazonunun yüklənməsi, FRUIT və garbling kimi maneə növləri, intellektual emal, adaptiv süzgəcləmə, maneələrə qarşı dayanıqlılıq.

IMPROVEMENT OF ADAPTIVE RADAR SIGNAL PROCESSING ALGORITHMS UNDER INTER-SYSTEM RADIO FREQUENCY INTERFERENCE

Hasanov A.P., Isgandarov H.A., Aliyev T.R.

National Aviation Academy

The intensive growth in the use of the 1030/1090 MHz frequency band, which is critically important for the operation of aeronautical radionavigation systems such as ADS-B, TCAS, Mode S, and DME, has led to a substantial increase in the density of radio transmissions accompanied by a higher level of mutual interference. The congestion of the spectrum caused by the simultaneous operation of multiple systems generates various types of interference, including pulse reply overlaps, false replies, and degradation of the signal-to-noise ratio. These phenomena reduce the reliability of aircraft detection and tracking, increase operational risks, and complicate the functioning of air traffic control systems. This study explores intelligent methods of adaptive signal processing aimed at enhancing interference immunity under conditions of a saturated radio environment. The proposed approach is based on a cascaded architecture of adaptive filtering modeled in MATLAB. The architecture includes a median filter to remove impulse spikes, a Butterworth filter to suppress broadband noise, and a Kalman filter to optimally estimate signal parameters in real time. Based on an overview of international studies and experiments with software-defined radio systems, the article demonstrates the effectiveness of the proposed method for mitigating interference in the 1030/1090 MHz band without significant distortion of useful signals. The results show that applying the described cascaded algorithm considerably improves the signal-to-noise ratio, reduces the probability of false detections, and ensures stable receiver performance under heavy interference conditions. The method can be implemented within existing radar and communication systems without major hardware modifications, making it practically feasible and promising for large-scale deployment in current and future air surveillance systems.

Keywords: Radar signals, congestion of the 1030/1090 MHz frequency band, interference types such as FRUIT and garbling, intelligent processing, adaptive filtering, interference resilience

Сведения об авторах

Фамилия, имя, отчество	Место работы	Ученая степень, ученое звание, должность	Контакты
Гасанов Афиг Рашид оглы	Национальная Академия Aviации	д.т.н., проф.	ahesenov@naa.edu.az
Искендеров Ислам Асад оглы	Национальная Академия Aviации	к.ф.-м.н., проф.	iisgandarov@naa.edu.az
Алиев Теймур Рамиз оглы	Национальная Академия Aviации	докторант	teymour.aliyev@gmail.com

***YERÜSTÜ FM RADIO YAYIMINDA AUDIO SİQNALIN SPEKTRİNİN ONUN
CANLANDIRILMA KEYFİYYƏTİNƏ TƏSİRİ***

¹Məmmədov İ.R., ²Əhədov İ.C., ³Abbasov M.H.

1-Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti

2-Rəqəmsal İnkişaf və Nəqliyyat Nazirliyinin Dövlət Radiotezliklər İdarəsi

***3-Rəqəmsal İnkişaf və Nəqliyyat Nazirliyinin “Radio-Televiziya Yayımı və Peyk Rabitəsi”
İstehsalat Birliyi***

FM modulyasiya olunmuş rəqslərin spektral tərkibi modulyasiya indeksinin qiymətlərindən asılı olaraq çox dəyişir. Modulyasiya indeksi vahiddən kiçildikcə FM rəqslərin amplitud spektri amplitud modulyasiya olunmuş rəqslərin spektrinə çox yaxınlaşır. FM modulyasiya olunmuş rəqslərin amplitud spektri Bessel funksiyaları ilə təyin olunur və bu funksiyalar sonsuzluğa qədər davam edir. FM radioyayım siqnalının yayım kanalı üzrə ötürülməsi zamanı onun spektri məhdudlanmalıdır. Siqnalın spektri o hesabla məhdudlana bilər ki, onun enerjisinin əsas hissəsi rabitə kanalı ilə ötürülmüş olsun. FM radiosiqnalının spektrinin eni həm də modulyasiyaedici rəqsin tezlik spektrinin enindən asılı olur. Müasir radioyayımnda həm monofonik, həm stereofonik formatlar, həm də pilot-siqnal vasitəsilə RDS siqnalının verilişi nəzərdə tutula və bu səbəblərdən modulyasiyaedici rəqsin tezlik spektrinin eni çox geniş ola bilər. Bu zaman formalaşdırılmış FM radiosiqnalın spektri də genişlənir və bu spektr uyğun dərəcədə məhdudlaşdırılmalıdır.

Məqalədə modulyasiyaedici rəqslərin maksimal tezliyi, modulyasiya dərinliyi və məhdudlayıcı faktorun müxtəlif qiymətləri üçün FM modulyasiyalı rəqslərin spektrinin eni həm monofonik, həm də stereofonik formatlar üçün hesablanmışdır.

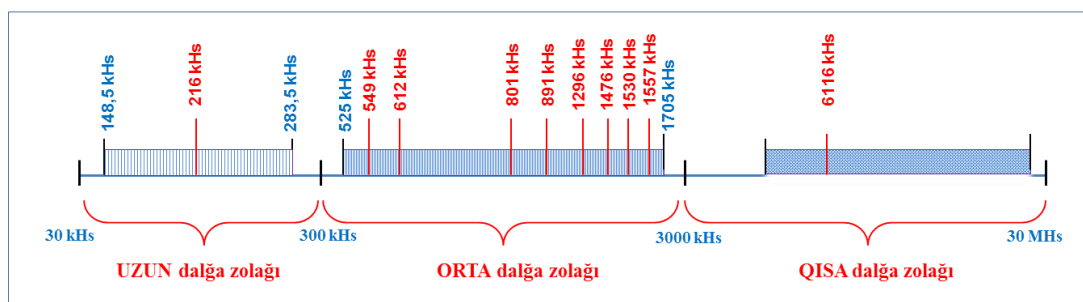
Ölkəmizdə RDS-in tətbiqi imkanlarını müəyyən etmək üçün tərəfimizdən avtomobil magistraları üzrə ölçmələr aparılmış və müsbət nəticələr alınmışdır. Məqalədə Bakı-Astara-Lerik magistral avtomobil yolu üzrə sahə gərginliyinin ölçülmüş qiymətlərinin nəticələri verilmişdir. Bu magistralda “Azərbaycan Radiosu” üçün ölçülmüş qiymətlərin minimal tələb olunan qiymətdən yuxarı olması və deməli, RDS siqnalının etibarlı qəbulunun həmişə təmin edilməsi müəyyən olunmuşdur.

Açar sözlər: monofonik rejim, stereofonik rejim, RDS siqnalı, FM radiosiqnalın spektri, modulyasiya dərinliyi, sahə gərginliyi.

Ümumi məlumat. Ölkəmizdə ilk dəfə radioyayımına 06 noyabr 1926-cı ildə Bakı şəhərində başlanmışdır. Naqilli şəbəkələrin müxtəlif bölgələrdə qurulması ilə yayım şəbəkəsi sonradan genişləndirilmişdir. Yayım zonasının daha da genişləndirilməsi radiosiqnalların efir vasitəsilə daha uzun məsafələrə ötürülməsi nəticəsində mümkün olmuşdur. Azərbaycan radiosunun ölkəmizin ərazisində və hətta digər ölkələrdə yayımının həyata keçirilməsi məqsədilə 1927-ci ildə Bakı şəhərində istismara verilmiş 10 kVt-lıq radioverici 1936-cı ildə 35 kVt-lıq PB-8 tipli uzun dalğa radiovericisi ilə əvəz olunmuşdur [1, 2].

Orta və Qısa dalğalarda radioyayımına başlanmasında onun keyfiyyətini bir qədər artırmağa imkan vermişdir. Sonrakı illərdə Pirsat qəsəbəsində olan radioverici mərkəzdə, Xanlar radioverici mərkəzində (Gəncə şəhəri yaxınlığında) ən güclü radioyayım vericiləri istismara verilmişdir. Bunlarla yanaşı, Lənkəran, Naxçıvan, Quba radiostansiyalarından müxtəlif radiovericilər vasitəsilə “Respublika”, “Araz” və “Mayak” radio proqramlarının yayımı həyata keçirilmişdir. Radioyayım üçün istifadə olunan ən aşağı tezlik 216 kHs (uzun dalğa), ən yuxarı tezlik isə 6,116 MHs (qısa dalğa), ən güclü radioyayım vericisinin gücü 500 kVt olmuşdur [1-3]. Şəkil 1-də 1996-cı ilə qədər ölkəmizdə istismarda olan amplitud modulyasiyalı (AM) radioyayım vericilərinin işlədikləri tezliklər qırmızı rənglə göstərilmişdir. Göstərilmiş radiotezliklər Beynəlxalq Telekomunikasiya İttifaqının (BTİ) Radiotezlik Reyestrində qeydiyyatda alınmışdır [3].

Tezlik modulyasiyalı (ingilis abbreviaturası ilə FM – Frequency Modulation) radiovericilərin tətbiqi ilə yerüstü radioyayımın keyfiyyəti əhəmiyyətli dərəcədə artmışdır. Ölkəmizdə bu yayım əvvəllər metrlik dalğaların daha aşağı tezliklərində – (66...74 MHs-lik tezlik zolağında) UQD-TM (ultraqısa dalğa – tezlik modulyasiyası) radiovericiləri vasitəsilə həm monofonik, həm də stereofonik formatda aparılmışdır [1-3]. 1996-cı ildən başlayaraq hazırda dünya ölkələrində yerüstü FM radioyayımı üçün istifadə olunan 87,5...108 MHs tezlik zolağı FM radioyayımı üçün tətbiq olunmuşdur. 4-cü və 5-ci TV yayım kanalları bu tezlik diapazonuna təsadüf edir. Ona görə də həmin TV kanalları üzrə yerüstü TV yayımı dayandırılmışdır [4, 5].



Şəkil 1. 1996-cı ilə qədər ölkəmizdə istismarda olan AM radioyayım vericilərinin işlədiyi radiotezlik diapazonları və işçi radiotezlikləri

Bir sıra Avropa ölkələrində, o cümlədən bizim ölkəmizdə DAB+ (Digital Audio Broadcasting – Rəqəmsal audio yayımı) standartlı rəqəmli radioyayımı həyata keçirilir. Bu yayımın 3-cü TV yayım diapazonunda aparılması məqsəduyğun hesab edilmişdir. Bu zaman metrlik diapazonda olan bir TV yayım kanalı (6...12-ci TV yayım kanalları) dörd yarım diapazona bölünür [6]. Bu yarım diapazonların hər biri üzrə ayrı-ayrılıqda audio yayımı aparıla bilər. Hazırda Bakı Teleqüllə Kompleksindən Bakı şəhəri və Abşeron yarımadası ərazisi üzrə DAB+ standartlı audio yayım 11-ci TV yayım kanalında (11B yarım diapazonunda) həyata keçirilməkdədir.

Məsələnin qoyuluşu. Yuxarıdakı mülahizələrdən aydın olur ki, yerüstü FM radioyayımı artıq uzun illərdir ki, tətbiq olunmaqdadır [6-8]. Buna baxmayaraq bu yayım üzrə parametrlərin dəqiqləşdirilməsi, şəbəkənin arxitekturasının optimallaşdırılması məsələləri tədqiqat mövzusu olaraq qalmaqdadır. Bunun əsas səbəbi baxılan məhdud tezlik diapazonunda çoxsaylı radio proqramlarının yayımına gündən-günə artan tələbat olması və yayımın keyfiyyətinin artırılmasının vacibliyidir [9-11]. Araşdırmalar göstərir ki, ölkəmizdə hələ bir müddət DAB+ standartlı rəqəmsal radioyayımı ilə yanaşı FM radioyayımı da həyata keçiriləcəkdir. Radioyayım şəbəkəsində istismarda olan

radiovericilərin çıxış və şüalanma güclərinin təyin olunması, FM modulyasiyalı radiosiqnalın spektrinin eninin daha uyğun məhdudlanma səviyyəsinin seçilməsi, şəbəkənin tezlik-ərazi planlaşdırılması məsələləri tədqiqat predmeti olaraq qalmaqdadır [12, 13].

Tezlik modulyasiyasında modulyasiya olunan rəqslərin cari tezliyi modulyasiya prosesində modulyasiyaedici siqnalın səviyyəsinə uyğun olaraq dəyişdirilir. Bu zaman modulyasiya olunan monoxromatik $u = U \cos(\omega_0 t + \phi_0)$ rəqslərindən tezliyə görə modulyasiya olunmuş rəqslər formalaşdırılır [6, 14]. Burada, U – modulyasiya olunan rəqslərin amplitudu, ω_0 – bu rəqslərin tezliyi, ϕ_0 – onun başlanğıc fazasıdır.

Siqnalın əsas xarakteristikalarından biri onun kompleks spektri – ayrı-ayrı harmonikalarının amplitud və fazalarının tezlikdən asılılığı haqqında informasiya daşıyan funksiyadır. Siqnalın zaman xarakteristikası belli olduqda düzünə Furiye çevirməsindən istifadə edərək, onun kompleks spektrini $S(j\omega) = S(\omega)e^{j\phi(\omega)}$ ala bilərik. Burada, $S(\omega)$ – siqnalın amplitud spektri, $\phi(\omega)$ – onun faza spektridir. Ədəbiyyatlarda FM modulyasiya olunmuş rəqslərin spektral tərkibi öyrənilmişdir. Modulyasiya indeksinin qiymətlərindən asılı olaraq FM rəqslərinin amplitud spektri çox dəyişir. Qeyd edək ki, modulyasiya indeksi vahiddən kiçildikcə FM rəqslərin amplitud spektri amplitud modulyasiya olunmuş (AM) rəqslərin spektrinə çox yaxınlaşır [15]. Lakin bu o demək deyil ki, FM modulyasiya olunmuş rəqslər formaca (yəni zaman xarakteristikasına görə) da AM rəqslərinə oxşar ola bilər. Belə ki, bu iki rəqsin faza spektrləri (yəni harmonikaların fazalarının tezlikdən asılılığı) bir-birindən fərqli olur [5, 16].

Lakin bütün hallarda tezlik modulyasiya olunmuş rəqslərin amplitud spektri Bessel funksiyaları ilə təyin olunur. Bu funksiyalar isə sonsuzluğa qədər davam edir. Buradan aydın olur ki, FM radioyayım siqnalının radio kanalı üzrə ötürülməsi zamanı onun spektri məhdudlanmalıdır. Siqnalın zaman xarakteristikası onun spektri Furiye çevirməsi vasitəsilə bağlı olduğundan spektrin məhdudlanması siqnalın zaman xarakteristikasının dəyişməsinə səbəb olacaqdır. Telekommunikasiya nəzəriyyəsindən məlumdur ki, siqnalın spektri o hesabla məhdudlana bilər ki, onun enerjisinin əsas hissəsi (tam enerjinin 90-95%-i) rabitə (yayım) kanalı ilə ötürülmüş olsun. Aydındır ki, bu halda siqnal təhrif olunacaqdır. Lakin bu təhriflər yolverilən sayıla bilər. Məhz buna görə də ölkəmizdə yerüstü FM radioyayımında hər kanal üçün 300 kHs, Gürcüstanda – 250 kHs, Türkiyədə – 200 kHs ayrılır. FM radiosiqnalının spektrinin eninin radioyayım siqnalının canlandırma keyfiyyətinə təsirinin tədqiq olunması maraq doğurur.

Məqalənin məqsədi RDS-in tətbiqi ilə sterefonik və monofonik rejimdə aparılan yerüstü FM radioyayımında audio siqnalın spektrinin eninin radioyayım siqnalının tezlik deviyasiyasına təsirini öyrənməkdir.

Məsələnin həlli. Amplitud spektrindən istifadə edərək, siqnalın əsas xarakteristikalarından biri sayılan parametri – spektrin enini, yəni siqnalın əsas spektral tərkibinin toplandığı tezlik zolağını tapa bilərik. Müxtəlif rabitə (yayım) sistemləri üzrə informasiya siqnalı olaraq müxtəlif siqnallar ötürülür ki, onların da spektrlərinin eni bir-birindən çox fərqlənir. Məsələn, telefon rabitəsi üzrə ilə verilən səs siqnalının tezlik zolağı 300...3400 Hs, musiqi siqnalı üçün – 20...16000 Hs, teleqraf siqnalı üçün 0...200 Hs, televiziya siqnalı üçün təxminən 50 Hs...6,5 MHs ola bilər. Qeyd edək ki, modulyasiyaedici siqnalın spektrinin eni çox geniş olduqda tezlik modulyasiyasının tətbiqi mümkün olmur. Çünki bu halda formalaşdırılmış radiosiqnalın spektri həddindən çox artmış olur. Məsələn, analoq TV yayımında, keyfiyyət göstəricilərinin aşağı olmasına baxmayaraq, AM modulyasiyasının tətbiqi bu xüsusiyyətlə bağlıdır.

FM rəqslərinin spektrinin eni aşağıdakı ifadə ilə hesablanı bilər [2]:

$$2\Delta\omega_{\Pi} = 2P\Omega \quad (1)$$

Burada, Ω – modulyasiyaedici rəqslərin bucaq tezliyi, P – FM siqnalının spektrinin tərkibində olan son yan toplananlara uyğun Bessel funksiyasının tərtibidir.

Modulyasiya indeksi artdıqca FM rəqslərin amplitud spektrində amplitudları Bessel funksiyaları ilə təyin edilən müxtəlif kombinasiyalı təşkiledicilər yaranır. Bu halda FM rəqslərin spektri $UJ_0(M_T)$ amplitudlu və ω_0 tezlikli təşkiledicidən və sonsuz miqdarda yan tezliklərdən ibarət olur, burada, $J_n(\cdot)$ – Bessel funksiyaları, M_T – modulyasiya indeksidir.

Bu mülahizələrdən aydın olur ki, FM modulyasiya olunmuş rəqslərin tezlik təşkilediciləri Bessel funksiyalarının cəmindən ibarətdir. Bu funksiyalar sonsuzluğa qədər davam edir. Ayrılmış tezlik zolağı məhdud olduğundan formalaşdırılmış FM radiosiqnalın spektri də uyğun dərəcədə məhdudlaşdırılmalıdır. Ədəbiyyatlarda məhdudlanma faizinin q müxtəlif qiymətləri üçün $P = f(M_T)$ asılılıqları verilmişdir. Bu asılılıqlardan istifadə edərək, q -nün qiymətini nəzərə almaqla FM rəqslərinin spektrinin enini hesablaya bilərik.

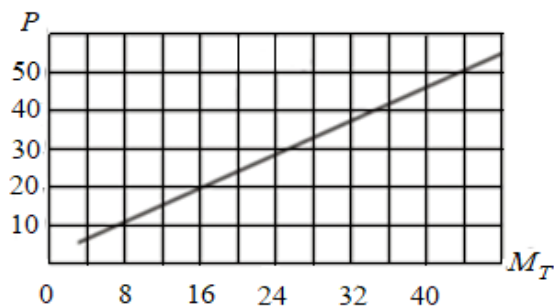
Şəkil 2-də $q = 5\%$ olduqda $P = f(M_T)$ asılılığı verilmişdir [2]. Bu asılılıqdan istifadə etməklə alırıq:

$$P_{5\%} = 1,1M_T + 2,5 \quad (2)$$

$P = f(M_T)$ asılılıqlarından istifadə edərək və $M_T = \frac{\Delta\omega}{\Omega}$ ifadəsini nəzərə alaraq $q = 1\%$ halı üçün FM rəqslərinin spektrinin enini hesablamaq üçün ifadə çıxarılmışdır:

$$2f_{\Pi} = 2,25\Delta f + 6F \quad (3)$$

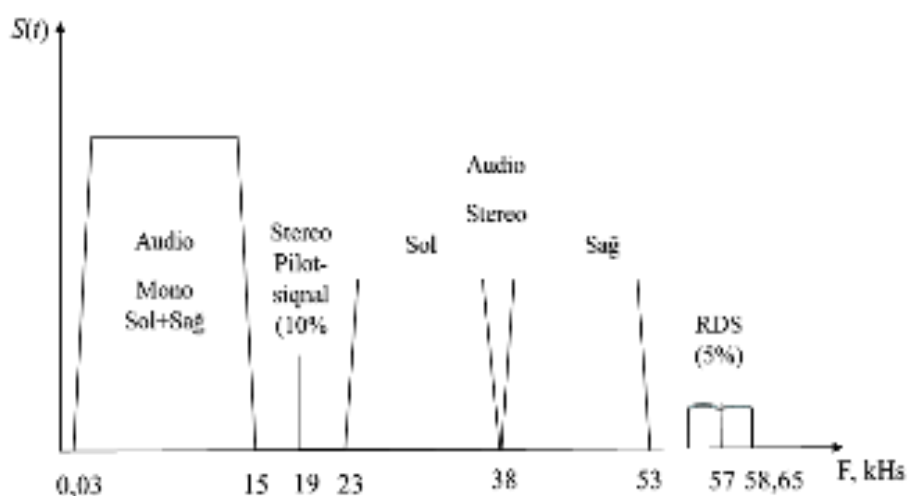
Burada, $F = \Omega/2\pi$ və $\Delta f = \Delta\omega/2\pi$ -dir.



Şəkil 2. Son yan toplananlara uyğun Bessel funksiyasının tərtibinin modulyasiya indeksindən asılılığı

(3) ifadəsindən görünür ki, FM siqnalının spektrinin eni modulyasiyaedici rəqsin tezliyindən və tezliyin deviasiyasından asılıdır. Modulyasiyaedici rəqsin tezlik spektrinin eni monofonik və stereofonik formatlı radioyayımında daha geniş olur. Müasir radioyayımında həm monofonik, həm

də stereofonik formatlar nəzərdə tutula bilər. Bundan başqa, müasir FM yayımında pilot-signal vasitəsilə RDS (Radio Data System – Radio verilənlər sistemi) verilişi tətbiq oluna bilər. RDS – çoxməqsədli standart olub, FM radioyayım kanalı ilə məlumat signalının ötürülməsi üçün nəzərdə tutulmuşdur. Bu sistem avtomobil radiolarında geniş tətbiq olunur. Bu halda modulyasiyaedici signalın spektri şəkil 3-də göstərildiyi kimi olacaqdır. Şəkildən aydın olur ki, həm sağ (R – right), həm də sol (L – left) traktı verilən mono audio signalın spektri 30...15 kHs-lik zolağını, stereo audio signal 23...53 kHs-lik zolağını əhatə edir. Stereo audio signal üçün verilən pilot-signalın tezliyi 19 kHs-dir [17]. 57 kHs-lik alt daşıyıcıda amplitud modulyasiyası ilə RDS signalı verilir. Bundan başqa, müasir FM radioyayımında peşəkar və ödənişli əlavə məlumat signalının kodlanmış verilişi üçün 58,65...100 kHs tezlik zolağı nəzərdə tutulur (şəkil 3) [3, 18].



Şəkil 3. FM radioyayımında mono və stereo signalın RDS signalı ilə birlikdə spektri

Modulyasiyaedici rəqslərin maksimal tezliyi, modulyasiya dərinliyi və q -nün müxtəlif qiymətləri üçün FM modulyasiyalı rəqslərin spektrinin eninin tərəfimizdən hesablanmış qiymətləri cədvəl 1-də verilmişdir.

Cədvəldən görünür ki, $F = 15 \text{ kHs}$ seçildikdə $q = 5\%$ üçün FM signalının spektrinin eni $2\Delta f_n = 295 \text{ kHs}$, yəni ölkəmizin ərazisində FM radioyayımı üçün ayrılmış tezlik zolağına uyğun olan spektr zolağıdır. Bu hesablamalarda modulyasiyaedici signalın maksimal tezliyi 15 KHs seçilmişdir. Lakin bu hesablamalar monofonik FM radioyayımı üçün doğru sayıla bilər.

RDS-in tətbiqi ilə monofonik və stereofonik radioyayımı birlikdə həyata keçirildikdə isə signalın ümumi spektrinin eni 58,65 kHs seçilməlidir (şəkil 3). Cədvəldə $F = 58,65 \text{ kHs}$ olduqda tezliyin 75 kHs və 40 kHs deviasiyaları üçün FM radiosignalının spektrinin eni hesablanmışdır (4-cü və 5-ci sətirlər). Lakin $q = 10\%$ və $\Delta f = 40 \text{ kHs}$ qiymətlərindən başqa, bütün hallarda FM radiosignalının spektrinin eni tələb olunandan çox böyükdür. Beləliklə, RDS-in tətbiqi nəzərə alındıqda FM radiosignalının tezlik spektrinin eni 300 kHs olduqda $q = 10\%$ üçün tezliyin deviasiyasını hesablaya bilərik: $\Delta f = 30,56 \text{ kHs}$. Lakin bu halda tezliyin deviasiyası kiçikdir. Onun qiymətinin artırılması üçün q -nün qiymətini artırmaq lazım gəlir. Bu isə signalın spektrinin daha çox təhrifinə, onun enerjisinin məhdudlanmasına səbəb olacaqdır.

Cədvəl 1

FM radiosiqnalın spektrinin eni				
№	$\Delta f, F$	$2\Delta f_n, \text{ kHs-lə}$		
		$q = 1\% \text{ olduqda}$	$q = 5\% \text{ olduqda}$	$q = 10\% \text{ olduqda}$
		$2\Delta f_n = 2.25\Delta f + 6F$	$2\Delta f_n = 2.2\Delta f + 5F$	$2f_n = 2,14\Delta f + 4F$
1	$\Delta f = 75 \text{ kHs};$ $F = 5 \text{ kHs.}$	198	190	180,5
2	$\Delta f = 100 \text{ kHs};$ $F = 10 \text{ kHs.}$	285	270	254
3	$\Delta f = 150 \text{ kHs};$ $F = 15 \text{ kHs.}$	427,5	405	381
4	$\Delta f = 40 \text{ kHs};$ $F = 58,65 \text{ kHs}$	441,4	381,25	320,2
5	$\Delta f = 75 \text{ kHs};$ $F = 58,65 \text{ kHs}$	520,65	458,25	395,1

Ölkəmizin ərazisində RDS-in tətbiqi imkanlarını müəyyən etmək üçün tərəfimizdən ölçmələr aparılmışdır. Şəkil 4-də Bakı - Astara - Lerik magistral avtomobil yolu üzrə sahə gərginliyinin ölçülmüş qiymətlərinin nəticəsi verilmişdir. Burada Bakı - Astara - Lerik avtomobil magistralı boyunca “Azərbaycan” radiosu üçün sahə gərginliyinin ölçülmüş qiymətləri müxtəlif qiymətlər alır (şəkildə bu qiymətlər müxtəlif rənglərlə göstərilmişdir).

Şəkildən aydın olur ki, bu magistralda sahə gərginliyi müxtəlif səviyyədə olsa da (yaşıl rəng maksimal sahə gərginliyinə uyğundur), yol boyu sahə gərginliyinin qiyməti həmişə minimal tələb olunan qiymətdən yuxarı olur və etibarlı qəbul həmişə təmin edilir. Bu onu göstərir ki, həmin magistralda RDS sistemi tətbiq oluna bilər. Tərəfimizdən digər avtomobil magistralları üzrə də ölçmələr aparılmış və müsbət nəticələr alınmışdır.



Şəkil 4. Bakı - Astara - Lerik magistral avtomobil yolu üzrə “Azərbaycan” radiosunun FM elektrik sahə gərginliyinin dəyişməsi

Nəticə. FM radioyayımında radiosiqnalın spektrinin ayrılmış radiotezlik zolağına uyğunlaşdırılması tezlik deviasiyasının düzgün seçilməsi və radiosiqnalın spektrinin məhdudlanma

səviyyəsi ilə müəyyən oluna bilər. Müasir radioyayımında həm monofonik, həm də stereofonik formatlarda verilən audio siqnallarla yanaşı RDS siqnalının da verilməsilə modulyasiyaedici siqnalın spektri çox genişlənir. Bu səbəbdən FM radioyayımında radiosiqnalın deviasiyası $q = 10\%$ məhdudlanma səviyyəsində 30,56 kHs seçilməlidir.

ƏDƏBİYYAT

1. Məmmədov İ.R., Əhədov İ.C., Abbasov M.H. Azərbaycanda yerüstü televiziya yayımının radiotezlik zolaqlarının mövcud vəziyyəti və inkişaf istiqamətləri / “Radiotexnikanın müasir problemləri” Azərbaycan Respublikası ETK, –Bakı: – 2021. – səh. 91-95.
2. Məmmədov İ.R., Əhədov İ.C., Abbasov M.H. Azərbaycanda yerüstü radioyayımı üçün ayrılan radiotezlik zolaqlarının mövcud vəziyyəti və inkişaf istiqamətləri / “Radiotexnikanın müasir problemləri” Azərbaycan Respublikası ETK, – Bakı: – 2021. – səh. 96-99.
3. <http://www.teleradio.az>, <http://www.dri.az>.
4. Мамедов, И.Р., Шарифов, А.М., Аббасов, М.Г. Устойчивость приема сигналов цифрового ТВ вещания при воздействии мешающих сигналов // – Международная НТК «Современные телевидение и радиоэлектроника», Москва: – 2015, – стр. 31-34.
5. Məmmədov, İ.R. Rəqəmli və kabel televiziya. Dərslik //– Bakı: Mütərcim, – 2021, – 204 s.
6. https://cymatics.fm/blogs/production/fm-synthesis?srsId=AfmBOopcrBXWJEpn07qRsNt8eZh4XhWMkT6nBTMqUl5P5GIH7sfHCT_I
7. FM Synthesis: The Beginner’s Guide to Crazy Sounds (2025)
Bonus material: download our biggest sample pack (700+ samples) for free!
Simon Haven January 25, 2025.
8. Kassar, K. Performance and spectral properties for single-sideband continuous phase modulation / K. Kassar, F. Haifa, D.G. Christian, D.G. [et al.] // IEEE transaction on Communication, – 2021, N0 69 (7). – pp. 4402-4416.
9. <https://ib-lenhardt.com/kb/glossary/frequency-modulation>
10. <https://byjus.com/jee/frequency-modulation/>
11. <https://www.allaboutcircuits.com/textbook/radio-frequency-analysis-design> /radio-frequency-modulation/frequency-modulation-theory-time-domain-frequency-domain/
12. Əfəndiyev, İ.D. Bakı şəhəri və Abşeron yarımadası ərazisində kabel televiziya paylayıcı şəbəkəsinin əsas radiovericisinin gücünün təyin olunması.//– Bakı, Milli Aviasiya Akademiyasının “Elmi məcmuə”i – 2021. V. 23, № 4, – s. 1-5.
13. Ərşad, Y. Abşeron yarımadasının yaşayış məntəqələrinin ərazisinin multispektral peyk təsvirləri əsasında monitorinqi //– Bakı, Milli Aviasiya Akademiyası, “Elmi məcmuə” – 2021. V. 23, № 3, – s. 87-94.
14. Alan, V., Oppenheim, A., Willsky, S. Signals and Systems, 2-nd Edition, New Jersey, 1997.
15. Sundaram, S. ECE 301: Signals and Systems. Purdue University, 2021.
16. Jayasree, K. Lecture notes on signals and systems. Vemu Institute of Technology, 2020.
17. Елисеев, С.Н. Оценка величины мощности межканальной помехи OFDM сигнала в канале с быстрыми замираниями. // – Москва: T-Comm, – 2017, v. 11, № 4, – с. 59-62.
18. Vemula, K. Course Module on Signals & Systems. Govt. Of India, 2025.

REFERENCES

1. Mammadov, I.R., Ahadov, İ.J., Abbasov, M.H. Azərbaycanı yerüstü televiziya yayımının radiotezlik zolaqlarının mövcud vəziyyəti və inkişaf istiqamətləri / “Radiotexnikanın müasir problemləri” Azərbaycan Respublikası ETK, – Bakı: – 2021. – səh. 91-95.
2. Mammadov I.R., Ahadov İ.J., Abbasov M.H. Azərbaycanı yerüstü radio yayımı üçün ayrılan radiotezlik zolaqlarının mövcud vəziyyəti və inkişaf istiqamətləri / “Radiotexnikanın müasir problemləri” Azərbaycan Respublikası ETK, – Bakı: – 2021. – səh. 96-99.
3. <http://www.teleradio.az>, <http://www.dri.az>.
4. Mammadov, I.R., Sharifov, A.M., Abbasov, M.G. Ustoychivost priema signalov tsifrovogo TV veshaniya pri vozdeystvii meshayushix signalov // – Mejdunarodnaya NTK «Sovremennye televideniye i radioelektronika», Moskva: – 2015, – str. 31-34.
5. Mammadov, I.R. Rəqəmli və kabel televiziya. Dərslik/ – Bakı: Mütərcim, – 2021, – 204 s.
6. https://cymatics.fm/blogs/production/fm-synthesis?srltid=AfmBOopcrBXWJEpn07qRsNt8eZh4XhWMkT6nBTMqUl5P5GIH7sfHCT_I
7. FM Synthesis: The Beginner’s Guide to Crazy Sounds (2025)
Bonus material: download our biggest sample pack (700+ samples) for free!
Simon Haven January 25, 2025.
8. Kassan, K. Performance and spectral properties for single-sideband continuous phase modulation / K. Kassan, F. Haifa, D.G. Christian, D.G. [et al.] // IEEE transaction on Communication, – 2021, N0 69 (7). – pp. 4402-4416.
9. <https://ib-lenhardt.com/kb/glossary/frequency-modulation>
10. <https://byjus.com/jee/frequency-modulation/>
11. <https://www.allaboutcircuits.com/textbook/radio-frequency-analysis-design/radio-frequency-modulation/frequency-modulation-theory-time-domain-frequency-domain/>
12. Afandiyev, İ.D. Bakı şəhəri və Abşeron yarımadası ərazisində kabel televiziya paylayıcı şəbəkəsinin əsas radioverilişinin gücünün təyin olunması //– Bakı, Milli Aviasiya Akademiyasının “Elmi məcmuələr”i – 2021. V. 23, № 4, – s. 1-5.
13. Arşad, Y. Abşeron yarımadasının yaşayış məntəgələrinin ərazisinin multispektral peyk təsvirləri əsasında monitorinqi // – Bakı, Milli Aviasiya Akademiyasının “Elmi məcmuələr”i – 2021. V. 23, № 3, – s. 87-94.
14. Alan, V., Oppenheim, A., Willsky, S. Signals and Systems, 2-nd Edition, New Jersey, 1997.
15. Sundaram, S. ECE 301: Signals and Systems. Purdue University, 2021.
16. Jayasree, K. Lecture notes on signals and systems. Vemu Institute of Technology, 2020.
17. Eliseev, S.N. Otsenka velichiny moshnosti mekhanalnoy pomekhi OFDM signala v kanale s bystryimi zamiraniyami // – Moskva: T-Comm, – 2017, v. 11, № 4, – s. 59-62.
18. Vemula, K. Course Module on Signals & Systems. Govt. Of India, 2025.

INFLUENCE OF AUDIO SIGNAL SPECTRUM WIDTH ON QUALITY OF ITS REPRODUCTION IN TERRESTRIAL FM BROADCASTING

¹Mammadov I.R., ²Ahadov I.C., ³Abbasov M.H.

1-Azerbaijan State Oil and Industry University

2-State Radio Frequencies Department of the Ministry of Digital Development and Transport

3-“Radio-Television Broadcasting and Satellite Communications” Production Association of the Ministry of Digital Development and Transport

The spectral composition of FM modulated oscillations varies greatly depending on the values of the modulation index. As the modulation index decreases from unity, the amplitude spectrum of FM oscillations becomes very similar to the spectrum of amplitude modulated oscillations. The amplitude spectrum of FM modulated oscillations is determined by Bessel functions, and these functions continue to infinity. When transmitting an FM radio signal over a broadcast channel, its spectrum must be limited. The spectrum of the signal can be limited in such a way that the main part of its energy is transmitted over the communication channel. The width of the spectrum of the FM radio signal also depends on the width of the frequency spectrum of the modulating oscillation. In modern radio broadcasting, both monophonic and stereophonic formats, as well as the transmission of the RDS signal via a pilot signal, can be envisaged, and for these reasons the width of the frequency spectrum of the modulating oscillation can be very wide. In this case, the spectrum of the formed FM radio signal also expands, and this spectrum must be limited accordingly.

In this paper, the width of the spectrum of FM modulated oscillations for various values of the maximum frequency of modulating oscillations, modulation depth, and limiting factor is calculated for both monophonic and stereophonic formats.

To determine the possibilities of using RDS on the territory of our country, we carried out measurements along highways and obtained positive results. In this paper presents the results of our measured field voltage values along the Baku-Astara-Lerik highway. It has been established that the measured field voltage values on this highway for “Azerbaijan Radio” always exceed the minimum required values and, therefore, reliable reception of the RDS signal is always ensured.

Keywords: Monophonic mode, stereophonic mode, RDS signal, spectrum of FM modulated oscillation, modulation depth, field voltage.

Müəlliflər haqqında məlumat

Soyadı, adı, atasının adı	İş yeri	Vəzifəsi, elmi dərəcəsi, elmi adı	Əlaqə
Məmmədov İsa Rəhman oğlu	Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti	“Elektronika və avtomatika” kafedrasının professoru, t.e.d.	isamamedov@bk.ru mob: (+994) 50 353-45-87
Əhədov İlham Cankişi oğlu	Rəqəmsal İnkişaf və Nəqliyyat Nazirliyinin (RİNN) Dövlət Radiotezliklər İdarəsi	Rəis müavini, t.e.n.	ilham.ahadov@gmail.com
Abbasov Mikayıl Hübət oğlu	RİNN, “Radio-Televiziya Yayımı və Peyk Rabitəsi” İstehsalat Birliyi	Baş direktor, t.e.n.	mikael.abbasov@mail.ru

**РОЛЬ ВОЛН РОССБИ В СОЛНЕЧНОЙ МГД-ДИНАМИКЕ:
ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ОБЗОР**

Бабаев Э.Ф.

Шемахинская астрофизическая обсерватория им. Насреддина Туси

В статье представлен комплексный анализ механизмов генерации и динамики поверхностных и внутренних волн Россби в магнитогидродинамической (МГД) системе Солнца. Особое внимание уделено взаимодействию этих волн с крупномасштабными потоками плазмы и их влиянию на эволюцию солнечного магнитного поля. Показано, что волны Россби, формирующиеся в конвективной зоне и на границе с радиационным слоем, играют ключевую роль в перераспределении углового момента, формировании крупномасштабных магнитных структур и долгопериодической модуляции циклов солнечной активности.

На основе теоретических моделей и численных симуляций проанализированы механизмы вклада волн Россби в генерацию тороидальных и полоидальных компонентов магнитного поля в рамках динамо-механизма Солнца. Рассмотрены возможные корреляции между динамикой волн Россби и наблюдаемыми солнечными явлениями - распределением солнечных пятен, изменениями магнитных циклов и крупномасштабными конвективными структурами.

Полученные результаты подтверждают, что учет динамики МГД-волн Россби существенно повышает точность моделирования и прогнозирования вариаций солнечного магнитного поля, солнечно-земных взаимодействий и явлений космической погоды. Представленные выводы могут быть использованы при разработке усовершенствованных моделей солнечного динамо и вычислительных методов прогнозирования, обеспечивая более глубокое понимание цикличности и эволюции солнечной активности. Дополнительно показано, что Россби-волны способны инициировать нелинейные осцилляции в тахоклине, влияя на фазу и амплитуду солнечных циклов. Их развитая структура может служить индикатором переходов между высокими и низкими режимами активности. Выявленные закономерности открывают перспективы для улучшения долгосрочных прогнозов солнечного поведения и его воздействия на космическую погоду.

Ключевые слова: волны Россби, динамика тахоклина, солнечная МГД, модели мелкой воды, магнитные неустойчивости, циклы солнечной активности, космическая погода.

Введение

Современные данные свидетельствуют о том, что некоторые звёзды демонстрируют глобальную ритмическую неустойчивость в различных диапазонах частот, зависящих от их физических характеристик. Если исходить из того, что звезда представляет собой самогравитирующий газовый шар, то теория собственных колебаний шара позволит нам определить типы возможных колебательных движений. К ним относятся, прежде всего,

сфероидальные и тороидальные моды. Сфероидальные моды представляют собой объёмные колебания, вызванные градиентом давления газа (высокочастотные акустические p -моды) и плавучестью (низкочастотные гравитационные d -моды). Тороидальные моды представляют собой стационарный вихревой поток на поверхности шара.

Медленное вращение, типичное для большинства звёзд, может влиять на эти колебательные движения различными способами. В состоянии равновесия восстанавливающих сил доля силы Кориолиса возрастает с уменьшением частоты колебаний. На частотах ниже частоты вращения она становится преобладающей, делая движение практически горизонтальным. В контексте вращения, g -моды на инерциальной частоте, как установлено в теории звёздных пульсаций, возникают вместо тороидальных стационарных течений. Характеристики p -мод при этом мало изменяются. С увеличением порядка d -мод их частота уменьшается и при более высоких порядках d -моды взаимодействуют с g -модами. Современная гипотеза о взаимодействии d -мод высокого порядка с вращением сталкивается со значительными трудностями, хотя имеющаяся литература представляет весьма противоречивые результаты. Ультранизкочастотные моды, характеризующиеся длительностью, превышающей цикл вращения звезды, в значительной степени неустойчивы и фиксируются измерениями. Уравнения в сферической геометрии становятся принципиально уникальными, а собственные функции вихревых движений не представляются сферическими гармониками Лежандра.

Цель статьи заключается в комплексном анализе роли поверхностных и внутренних волн Россби в формировании и развитии магнитогидродинамических процессов на Солнце, а также в оценке их влияния на генерацию и эволюцию солнечного магнитного поля.

Актуальность статьи определяется необходимостью точного моделирования и прогнозирования солнечной активности и космической погоды, учитывая влияние Россби волн на перераспределение углового момента, динамику активных областей и долгопериодическую модуляцию солнечных циклов.

Теоретические основы

Авторы работы [1] подробно рассмотрели проявления солнечных сезонов в различных данных о солнечной активности и на Земле. Существует ещё одно свойство солнечной активности, которое также влияет на космическую погоду, достигающую Земли, так называемые «активные долготы». Это интервалы долготы, где в течение нескольких оборотов концентрируется большая часть солнечной активности. Благодаря их постоянству Земля ощущает периодические изменения солнечной активности просто из-за вращения Солнца. Если активная долгота только одна, то этот период по сути совпадает с периодом вращения Солнца. Но в любой момент времени на полной окружности может быть более одной активной долготы, что приводит к более коротким периодам, которые различаются в зависимости от расстояния между различными долготами. Сигналы от активных долгот будут вносить вклад в сигнал солнечного сезона, но эти два явления различны. Солнечные сезоны определяются на основе усреднённых по долготе данных, в то время как данные об активной долготе по определению зависят от долготы [2]. Смена солнечных сезонов требует изменения этих средних долгот во времени, чего не требует наличие активных долгот. Однако изменение амплитуды активных долгот будет способствовать смене времён года. Солнечные сезоны по-разному влияют на различные слои атмосферы Земли. Изменения межпланетного магнитного

поля, исходящего от Солнца, взаимодействуют с геомагнитным полем, оказывая значительное влияние на магнитосферу, что приводит к геомагнитным бурям, когда заряженные частицы попадают в нижние слои атмосферы, двигаясь по спирали вниз по геомагнитным полям вблизи полюсов. Переменное ультрафиолетовое (УФ) и рентгеновское (ЭУФ) излучение вызывает изменения в термосфере, мезосфере и стратосфере, где оно поглощается молекулярным кислородом и озоном, вызывая нагревание и расширение атмосферы вверх. Проводимость ионосферы нарушается всеми процессами, способствующими её частичной ионизации. Более незначительные изменения видимого излучения достигают нижних слоёв атмосферы и оказывают определённое влияние на глобальную циркуляцию в тропосфере.

Волны Россби

Существование волн Россби в атмосфере Земли известно давно. Волны Россби это планетарные волны, возникающие в атмосферной жидкости вращающейся планеты. На Земле волны Россби появляются в струйных течениях, преимущественно геострофических с волновым числом от 3 до 5. Традиционные волны Россби могут возникать на Солнце очень похожим образом, но, поскольку Солнце представляет собой намагниченный плазменный шар, неизбежно будут различия. Солнечные волны Россби наблюдались [3] не только на Солнце, но и на многих солнцеподобных звёздах. Первоначальная теория волн Россби основывалась на предположении, что течение в них близко к «геострофическому», то есть находится в состоянии, близком (но не точном) горизонтального равновесия между градиентами давления и силами Кориолиса. В более современной теории считается, что течение происходит при малом «числе Россби» Ro , которое представляет собой безразмерное отношение типичной скорости вращения к скорости вращения внутренней части сферической оболочки. Для солнечного тахоклина Ro хорошо оценивается просто из соотношения дифференциального вращения на значительной части расстояния между экватором и полюсом и вращения внутренних областей ниже. Это соотношение порядка 0,1 достаточно мало, чтобы рассматривать волны Россби как важный компонент глобальной гидродинамики. Однако это не означает, что мы должны предполагать малое число Россби для решения используемых уравнений. На самом деле, гораздо лучше решать более общие уравнения, содержащие волны Россби как значительную, как мы надеемся, наблюдаемую часть динамики, но не единственную.

Резонанс бароклиных волн

Резонанс бароклиных волн в стратифицированных океанах, как экваториальных, так и внеэкваториальных, является темой, которая мотивирует постоянные исследования. Резонанс динамической системы, образованной бароклиными волнами, требует подстройки её собственного периода к периоду, в течение которого осуществляется воздействие [4]. В случае псевдопериодического воздействия подстройка собственной частоты происходит, когда средняя частота «воздействующего воздействия» присутствует в частотном спектре динамической системы. Частоты, близкие к частоте воздействующего воздействия, являются предпочтительными, в то время как частоты, далёкие от неё, затухают из-за трения. Следовательно, доминирующими частотами являются те, для которых баланс между геострофическими силами и воздействующим воздействием максимизирует среднюю захваченную энергию. Подстройка динамической системы происходит по-разному в зависимости от того, происходит ли она в тропических океанах или в средних широтах. В

тропических океанах системы, динамика которых основана на круговом движении волн Россби и Кельвина вдоль экватора, настраиваются на частоту воздействия благодаря подстройке внеэкваториальных волн Россби к западу от бассейна. Экваториальные волны Россби отклоняются по мере приближения к западной границе, формируя внеэкваториальные волны, увлекаемые противотечением. Эти внеэкваториальные волны возвращаются обратно, когда противотечение исчезает или меняет направление. Волны Россби отражаются от западной границы бассейна, формируя экваториально захваченные волны Кельвина. Динамика бароклинных волн тесно связана с модулированной составляющей экваториального течения и противотечениями, которые являются неотъемлемой частью квазистационарной системы [5-8]: линейная, вязкая, непрерывно стратифицированная модель использовалась в [9, 10] для изучения реакции экваториального океана на воздействие со стороны ветрового пятна, перемещающегося зонально. Волны Россби в средних широтах распространяются вдоль субтропических круговоротов, откуда западные пограничные течения движутся от континента. Собственная частота волн Россби настраивается на частоту воздействия благодаря подстройке их кажущейся длины волны. Поскольку волны Россби приблизительно недисперсионны, их скорость зависит только от широты [11]. Эти условия благоприятны для образования многочисленных гармоник и субгармоник.

Субгармонические моды волн Россби

Многочастотные квазистационарные волны (КВВ) обладают замечательным свойством, которое обуславливает их первостепенную роль как в циркуляции океана, так и в изменчивости климата. Более того, они способны к сопряжению, когда находятся в одних и тех же модулированных течениях, что обычно происходит как в тропических, так и в субтропических океанах. Это сопряжение возникает из-за изменения геострофических сил в бассейне вследствие конвергенции и слияния геострофических течений. Эти различные свойства заставляют резонансно вынужденные волны вести себя подобно связанным осцилляторам. В этом случае происходит синхронизация субгармонических мод, то есть средние периоды связанных КВВ кратны периоду основной волны, то есть динамической системы, собственный период которой совпадает с периодом вынуждающей силы. Эта субгармоническая синхронизация мод квантовых сканирующих волн основана на осцилляторе Кальдиrola–Канаи, который является фундаментальной моделью диссипативных систем, обычно используемой для разработки феноменологического одночастичного подхода для затухающего гармонического осциллятора [12, 13].

Сверхдлиннопериодные волны Россби, огибающие субтропические круговороты

Недавние исследования, подкрепленные как наблюдательными, так и теоретическими соображениями, показывают, что длиннопериодные волны Россби, огибающие субтропические океанические круговороты, играют роль посредника между солнечным и орбитальным воздействием и реакцией климата [14]. Распространяясь циклонически вокруг субтропических круговоротов, так называемые гиральные волны Россби обязаны своим происхождением градиенту β параметра Кориолиса относительно среднего радиуса круговоротов. Скорость результирующего модулированного западного пограничного течения добавляется к скорости устойчивого антициклонического ветрового течения. Следовательно, ускорение/замедление западного пограничного течения в соответствии с фазой гиральных волн Россби усиливает колебание термоклина из-за положительной обратной связи,

возникающей из-за температурного градиента между высокими и низкими широтами круговоротов. Многочастотные волны Россби перекрываются. Они подвергаются воздействию солнечных и орбитальных циклов в субгармонических режимах. Эффективность воздействия значительно возрастает по мере того, как период воздействия приближается к собственному периоду. Эти гиральные волны Россби резонансно подвергаются воздействию солнечных и орбитальных циклов, что включает настройку их кажущейся длины волны таким образом, чтобы естественный период круговорота совпадал с вынуждающим периодом. Фазовая скорость циклонически распространяющихся гиральных волн Россби зависит только от средней широты круговорота в соответствии с их дисперсионным соотношением ($A11$). С другой стороны, скорость антициклонически текущего ветрового течения круговорота обусловлена экмановским накачиванием, связанным с воздействием завихренности ветра. Следовательно, только подстройка среднего радиуса круговорота к периоду воздействия допускает резонансное воздействие гиральных волн Россби. Коррекция круговорота произошла во время среднеплейстоценового перехода (Middle Pleistocene Transition - MPT), о чем свидетельствуют климатические данные, полученные из кернов морских осадков [14].

Солнечные волны Россби и их влияние на космическую погоду

Поскольку волны Россби являются неотъемлемой частью крупномасштабных движений атмосферы и океанов Земли, планетарные волны также играют важную роль в крупномасштабной динамике различных астрофизических объектов, таких как солнечная атмосфера и её недра, астрофизические диски, быстро вращающиеся звёзды, а также атмосферы планет и экзопланет. Физическая роль волн Россби обсуждается в работе [1] в контексте солнечной и звёздной магнитной активности, переноса углового момента в астрофизических дисках, формирования планет и других астрофизических процессов. Волны Россби возникают в тонких слоях внутри жидких областей звёзд и планет. Эти глобальные волнообразные структуры возникают из-за изменения сил Кориолиса с широтой. В частности, волны Россби были обнаружены в фотосфере и короне Солнца. Они возникают в солнечном тахоклине, тонком сдвиговом слое между твердо вращающейся лучистой внутренней частью и конвективной зоной, где происходит дифференциальное вращение. Гелиосейсмология показывает, что тахоклин расположен на радиусе не более 0,70 солнечного радиуса, с толщиной 0,04 солнечного радиуса. Моделирование магнитогидродинамики тахоклинных волн Россби и магнитных полей создает сильные «тахоклинные нелинейные колебания», которые имеют периоды, аналогичные наблюдаемым в солнечной атмосфере [3, 7]. Решения показывают, что волны Россби претерпевают нерегулярные переключения между периодами высокой активности и периодами подавленной активности, напоминающие минимум Маундера [6].

Данные и методы исследования

Основы волн Россби в тонких сферических оболочках, таких как планетарные атмосферы и океаны, а также в солнечном тахоклине обсуждаются в ряде работ, включая [5]. На Земле местоположение волн Россби часто служит отличным предиктором изменений погодных условий в масштабе времени 3–5 дней. Возможно, что изменения в характере солнечных волн Россби могут быть также предвестниками всплесков активности Солнца. Аналогичный аргумент можно привести для системы мелководья, где сохраняется так

называемая «потенциальная завихренность» (завихренность, деленная на толщину оболочки).

На рисунке 1 показано, как возмущение жидкости в север-южном направлении в тонкой сферической оболочке может генерировать волны Россби. Рассмотрим пять паттернов плазменной завихренности на одной широте. Если два паттерна смещаются к полюсу, а один – к экватору, сохраняется полная завихренность:

$$\zeta_{\text{отн}} = \frac{\zeta_{\text{абс}}}{h}$$

где $\zeta_{\text{отн}}$ – относительная завихренность, $\zeta_{\text{абс}}$ – абсолютная завихренность, h – толщина слоя.

- Паттерны, смещенные к полюсу, приобретают антициклоническую завихренность ($\zeta_{\text{отн}} > 0$),
- Паттерн, смещенный к экватору, – циклоническую ($\zeta_{\text{отн}} < 0$).

Эти антициклонические/циклонические движения будут стремиться сместить два других невозмущенных паттерна и изменить завихренность в них. Эта завихренность может вернуть три паттерна (первый, третий и пятый) в исходное положение. Таким образом, сформируется волновой паттерн, который будет двигаться на запад. Этот волновой паттерн можно представить как последовательность структур, аналогичных паттернам (1), (2) и (3). Волны Россби обладают некоторой особенностью: хотя в простых моделях отдельная волна распространяется на запад, групповая скорость волн Россби направлена на восток, поэтому «цуг» волн Россби может распространяться на восток, даже если каждая отдельная волна в «цуге» распространяется на запад в одной фазе [9].

Если к системе добавить тороидальное магнитное поле, магнитное взаимодействие нарушает сохранение потенциальной завихренности:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\zeta + f}{h} \right) \neq 0$$

где f – параметр Кориолиса.

Элементы жидкости в разных местах связаны линиями магнитного поля, которые могут передавать завихренность от одного элемента к другому [15].

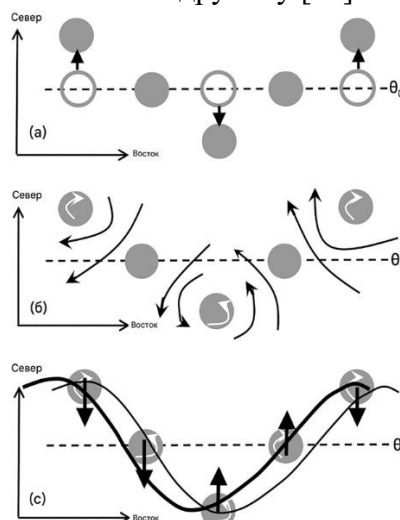


Рисунок 1. Схематическое изображение того, как во вращающейся оболочке жидкости могут генерироваться волны Россби при возмущении жидкости в направлении север-юг [16].

Основные уравнения радиационной гидродинамики

Радиационная гидродинамика описывает взаимодействие жидкой плазмы с электромагнитным излучением. Это особенно важно для анализа магнитогидродинамической (МГД) динамики солнечного тахоклина и влияния волн Россби. Основные процессы включают:

- движение и ускорение плазмы под действием сил давления, тяжести и радиации,
- обмен энергии между жидкостью и излучением,
- распространение радиационных волн в низкоскоростных потоках.

В рамках эйлеровского описания движения и лабораторной системы отсчёта при малых скоростях $v^2 \ll c^2$ (где c - скорость света) основные уравнения (уравнение непрерывности (закон сохранения массы), уравнение движения (закон сохранения импульса), энергетическое уравнение (закон сохранения энергии/энтропии), уравнение радиационной энергии, уравнение переноса излучения, а также определения средних величин радиационного поля) записываются следующим образом [17]:

$$\begin{aligned}
 \frac{d\rho}{dt} &= -\rho \nabla \cdot \mathbf{v} \\
 \rho \frac{d\mathbf{v}}{dt} &= \rho \mathbf{g} - \nabla p - \left(\frac{1}{c^2} \frac{\partial \mathbf{F}}{\partial t} + \nabla \cdot \mathbf{P} \right) \\
 \rho T \frac{ds}{dt} &= Q = \mathbf{v} \cdot \left(\frac{1}{c^2} \frac{\partial \mathbf{F}}{\partial t} + \nabla \cdot \mathbf{P} \right) - \left(\frac{\partial E}{\partial t} + \nabla \cdot \mathbf{F} \right) \\
 p &= \tilde{R} \rho T \\
 \frac{\partial E}{\partial t} + \nabla \cdot \mathbf{F} &= \int_0^\infty d\nu \chi_\nu (S_\nu - I_\nu) d\Omega \\
 \frac{1}{c^2} \frac{\partial \mathbf{F}}{\partial t} + \nabla \cdot \mathbf{P} &= \frac{1}{c} \int_0^\infty d\nu \chi_\nu (S_\nu - I_\nu) n d\Omega \\
 \frac{1}{c} \frac{\partial I_\nu}{\partial t} + \mathbf{n} \cdot \nabla I_\nu &= \chi_\nu (S_\nu - I_\nu) \\
 J_\nu &= \frac{1}{4\pi} \int I_\nu(\mathbf{r}, t; \mathbf{n}) d\Omega = \frac{c}{4\pi} E_\nu \\
 F_\nu &= \int I_\nu(\mathbf{r}, t; \mathbf{n}) n d\Omega, P_\nu^{ij} = \frac{1}{c} \oint I_\nu(\mathbf{r}, t; \mathbf{n}) n^i n^j d\Omega \\
 n_x &= \sqrt{1 - \mu^2} \cos \varphi, n_y = \sqrt{1 - \mu^2} \sin \varphi, \\
 n_x &= \mu = \cos \vartheta, d\Omega = \sin \vartheta d\vartheta d\varphi, \frac{d}{dt} = \frac{\partial}{\partial t} + \mathbf{v} \cdot \nabla.
 \end{aligned} \tag{1}$$

где ρ – плотность плазмы, $\mathbf{v}$ – вектор скорости, $\frac{d}{dt} = \frac{\partial}{\partial t} + \mathbf{v} \cdot \nabla$ – производная по течению (Лагранжева), $\mathbf{g}$ — ускорение силы тяжести, p – гидростатическое давление, $\mathbf{F}$, F_ν – радиационный поток, $\mathbf{P}$, P_ν – радиационный тензор напряжений, $\frac{1}{c^2} \frac{\partial \mathbf{F}}{\partial t}$ – учитывает динамическое взаимодействие радиации и плазмы, T – температура плазмы, s – удельная энтропия, Q – источники нагрева/охлаждения, E – плотность радиационной энергии, ν – частота излучения, I_ν – специфическая интенсивность радиации, S_ν – функция источника, χ_ν – коэффициент поглощения/рассеяния, Ω – элемент телесного угла, $\mathbf{n}$ – единичный вектор направления распространения излучения, J_ν – средняя интенсивность.

Результаты и обсуждение

Волны Россби являются ключевыми в генерации солнечного магнитного поля и

регулировании солнечной активности. Гипергидродинамические и МГД-модели мелкой воды оказались незаменимыми для моделирования их формирования, динамики энергии и темпов роста неустойчивости. Присутствие магнитных полей изменяет динамику волн, нарушая закон сохранения потенциальной завихренности, что позволяет формировать нелинейные колебания тахоклина (ТНО). Эти колебания организуют высвобождение накопленной магнитной энергии, создавая всплески «сезонных» фаз солнечной активности, сменяющихся более спокойными интервалами.

Заключение

Волны Россби в солнечном тахоклине являются фундаментальной движущей силой периодической и квазипериодической магнитной активности, наблюдаемой как в недрах Солнца, так и в его атмосфере. Их генерация посредством взаимодействия дифференциального вращения и тороидальных магнитных полей приводит к образованию крупномасштабных, долгоживущих структур, которые определяют время и интенсивность возникновения активных областей. Эти процессы существенно влияют на вероятность и распределение солнечных вспышек, корональных выбросов массы и других событий космической погоды.

ЛИТЕРАТУРА

1. Zaqarashvili, T.V., Albekioni, M., Ballester, J. L., Bekki, Y., Biancofiore, L., Birch, A.C., Dikpati, M., Gizon, L., Gurgenchvili, E., Heifetz, E., et al. (2021). Rossby waves in astrophysics. *Space Science Reviews*, 217(1), 1–93. <https://doi.org/10.1007/s11214-021-00812-9>
2. Caetano, N.R. (2025). Review on the Theoretical and Practical Applications of Symmetry in Thermal Sciences, Fluid Dynamics, and Energy. *Symmetry*, 17(8), 1240.
3. Dikpati, M., & McIntosh, S.W. (2020). Space weather challenge and forecasting implications of Rossby waves. *Space Weather*, 18(2), e2020SW002450. <https://doi.org/10.1029/2020SW002450>
4. Faizan, M., Ahmed, M.W., Khan, M.Y., & Khan, M.I. (2025). Entropy-Induced Chaos in Magnetized Plasma: Insights from Nonlinear Dynamics. *Physics Open*, 100300.
5. Pouquet, A., Marino, R., Politano, H., Ponty, Y., & Rosenberg, D. (2025). Intermittency in fluid and magnetohydrodynamics (MHD) turbulence analyzed through the prism of moment scaling predictions of multifractal models. *Nonlinear Processes in Geophysics*, 32(3), 243-259.
6. Raphaldini, B., Medeiros, E., Raupp, C., & Teruya, A. S. (2020). A new mechanism for Maunder-like solar minima: Phase synchronization dynamics in a simple nonlinear oscillator of magnetohydrodynamic Rossby waves. *The Astrophysical Journal Letters*, 890(1), L13. <https://doi.org/10.3847/2041-8213/ab6d01>
7. Raphaldini, B., Teruya, A. S., Raupp, C., & Bustamante, M. (2019). Nonlinear Rossby wave–wave and wave–mean flow theory for long-term solar cycle modulations. *The Astrophysical Journal Letters*, 887(2), L17. <https://doi.org/10.3847/2041-8213/ab59d3>
8. Su, W. (2025). The impact of solar-terrestrial plasma and magnetic field on the detection

- of space-borne gravitational wave detections. *Reviews of Modern Plasma Physics*, 9(1), 1-55.
9. McCreary, J.P., & Lukas, R. (1986). The response of the equatorial ocean to a moving wind field. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 91(C10), 11691–11705. <https://doi.org/10.1029/JC091iC10p11691>
 10. Nandy, D., Pant, V., Anand, M., Athalathil, J. J., Awasthi, A. K., Bane, K., ... & Yadav, V. K. (2025). Indian solar and heliospheric physics vision: Fundamental science to a space weather resilient society: D. Nandy et al. *Journal of Astrophysics and Astronomy*, 46(2), 51.
 11. Gill, A. E. (1982). *Atmosphere-ocean dynamics* (International Geophysics Series). Academic Press.
 12. Choi, M.Y., & Thouless, D.J. (2001). Topological interpretation of subharmonic mode locking in coupled oscillators with inertia. *Physical Review B*, 64(1), 014305. <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.64.014305>
 13. Pinault, J.-L. (2018). Resonantly forced baroclinic waves in the oceans: Subharmonic modes. *Journal of Marine Science and Engineering*, 6(3), 78. <https://doi.org/10.3390/jmse6030078>
 14. Pinault, J.-L. (2020). Resonantly forced baroclinic waves in the oceans: A new approach to climate variability. *Journal of Marine Science and Engineering*, 9(1), 13. <https://doi.org/10.3390/jmse9010013>
 15. Huang, C., & Wang, R. (2025). Research Progress on Solar Supergranulation: Observations, Theories, and Numerical Simulations. *Universe*, 11(3), 87. <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2018SW002109>
 17. Джалилов, Н.С., & Штауде, Ю. (2005). Глобальные колебания Солнца. Баку: Элм 312 с.

REFERENCES

1. Zaqarashvili, T.V., Albekioni, M., Ballester, J. L., Bekki, Y., Biancofiore, L., Birch, A.C., Dikpati, M., Gizon, L., Gurgenashvili, E., Heifetz, E., et al. (2021). Rossby waves in astrophysics. *Space Science Reviews*, 217(1), 1–93. <https://doi.org/10.1007/s11214-021-00812-9>
2. Caetano, N.R. (2025). Review on the Theoretical and Practical Applications of Symmetry in Thermal Sciences, Fluid Dynamics, and Energy. *Symmetry*, 17(8), 1240.
3. Dikpati, M., & McIntosh, S.W. (2020). Space weather challenge and forecasting implications of Rossby waves. *Space Weather*, 18(2), e2020SW002450. <https://doi.org/10.1029/2020SW002450>
4. Faizan, M., Ahmed, M.W., Khan, M.Y., & Khan, M.I. (2025). Entropy-Induced Chaos in Magnetized Plasma: Insights from Nonlinear Dynamics. *Physics Open*, 100300.
5. Pouquet, A., Marino, R., Politano, H., Ponty, Y., & Rosenberg, D. (2025). Intermittency in fluid and magnetohydrodynamics (MHD) turbulence analyzed through the prism of moment scaling predictions of multifractal models. *Nonlinear Processes in*

- Geophysics*, 32(3), 243-259.
6. Raphaldini, B., Medeiros, E., Raupp, C., & Teruya, A. S. (2020). A new mechanism for Maunder-like solar minima: Phase synchronization dynamics in a simple nonlinear oscillator of magnetohydrodynamic Rossby waves. *The Astrophysical Journal Letters*, 890(1), L13. <https://doi.org/10.3847/2041-8213/ab6d01>
 7. Raphaldini, B., Teruya, A. S., Raupp, C., & Bustamante, M. (2019). Nonlinear Rossby wave-wave and wave-mean flow theory for long-term solar cycle modulations. *The Astrophysical Journal Letters*, 887(2), L17. <https://doi.org/10.3847/2041-8213/ab59d3>
 8. Su, W. (2025). The impact of solar-terrestrial plasma and magnetic field on the detection of space-borne gravitational wave detections. *Reviews of Modern Plasma Physics*, 9(1), 1-55.
 9. McCreary, J.P., & Lukas, R. (1986). The response of the equatorial ocean to a moving wind field. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 91(C10), 11691–11705. <https://doi.org/10.1029/JC091iC10p11691>
 10. Nandy, D., Pant, V., Anand, M., Athalathil, J. J., Awasthi, A. K., Bane, K., ... & Yadav, V. K. (2025). Indian solar and heliospheric physics vision: Fundamental science to a space weather resilient society: D. Nandy et al. *Journal of Astrophysics and Astronomy*, 46(2), 51.
 11. Gill, A. E. (1982). *Atmosphere-ocean dynamics* (International Geophysics Series). Academic Press.
 12. Choi, M.Y., & Thouless, D.J. (2001). Topological interpretation of subharmonic mode locking in coupled oscillators with inertia. *Physical Review B*, 64(1), 014305. <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.64.014305>
 13. Pinault, J.-L. (2018). Resonantly forced baroclinic waves in the oceans: Subharmonic modes. *Journal of Marine Science and Engineering*, 6(3), 78. <https://doi.org/10.3390/jmse6030078>
 14. Pinault, J.-L. (2020). Resonantly forced baroclinic waves in the oceans: A new approach to climate variability. *Journal of Marine Science and Engineering*, 9(1), 13. <https://doi.org/10.3390/jmse9010013>
 15. Huang, C., & Wang, R. (2025). Research Progress on Solar Supergranulation: Observations, Theories, and Numerical Simulations. *Universe*, 11(3), 87.
 16. <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2018SW002109>
 17. Djalilov, N.S., & Shtaude, Yu. (2005). *Globalnye kolebaniya Solntsa*. Baku: Elm 312 s.

ROSSBİ DALĞALARININ GÜNƏŞİN MAQNİT-HİDRODİNAMİKASINDAKİ ROLU: NƏZƏRİ İCMAL

Babayev E.F.

Nəsrəddin Tusi adına Şamaxı Astrofizika Rəsədxanası

Məqalədə Günəşin maqnit-hidrodinamik (MHD) proseslərinin formalaşması və inkişafında səth və daxili Rossbi dalğalarının rolu araşdırılır. Xüsusi diqqət plazmanın irimiqyaslı axınları, Günəşin fırlanması və maqnit sahəsinin dinamikası arasındakı qarşılıqlı əlaqəyə yönəldilib. Göstərilir ki, konvektiv zonada və onun radiativ zonayla sərhədində yaranan Rossbi dalğaları aktiv

oblastların təkamülünə, bucaq momentinin yenidən paylanmasına və Günəş aktivliyinin uzunmüddətli modulyasiyasına əhəmiyyətli təsir göstərir.

Tədqiqatda Rossbi dalğalarının günəş dinamo-mexanizmi çərçivəsində maqnit sahəsinin toroidal və poloidal komponentlərinin yaranmasındakı rolunu nümayiş etdirən nəzəri modellər və ədədi simulyasiyalar təhlil olunur. Rossbi dalğalarının dinamikası ilə Günəşdə müşahidə olunan hadisələr – günəş ləkələri, diferensial fırlanma və iri konvektiv strukturlar – arasındakı mümkün korrelyasiyalar araşdırılır.

Əldə olunan nəticələr göstərir ki, MHD Rossbi dalğalarının nəzərə alınması Günəş aktivliyinin dövrü dəyişmələrinin və kosmik hava hadisələrinin daha dəqiq modelləşdirilməsi və proqnozlaşdırılması üçün vacibdir. Tədqiqatın nəticələri təkmilləşdirilmiş Günəş dinamomexanizmi modellərinin və Günəş–Yer mühitinin proqnozlaşdırılması üsullarının hazırlanmasında tətbiq oluna bilər.

Əlavə olaraq müəyyən edilmişdir ki, Rossbi dalğaları tacoklin zonasında uzunmüddətli enerjinin yığılmasına və qeyri-xətti MHD osillasiya rejimlərinin formalaşmasına səbəb olur. Modelləşdirmə nəticələri göstərir ki, Rossbi dalğalarının yaratdığı qlobal burulğan nümunələri tacoklinin qeyri-sabitliklərinin güclənməsinə şərait yaradır və güclü maqnit hadisələrinin başlamasında tetikleyici rol oynaya bilər. Bu müşahidələr Günəşin uzunperiodlu fəaliyyət siklləri ilə dalğa dinamikası arasında dərin qarşılıqlı əlaqənin mövcudluğunu təsdiqləyir.

Açar sözlər: Rossbi dalğaları, tacoklin dinamikası, Günəş maqnit hidrodinamikası (MHD), dayaz su modelləri, maqnit qeyri-sabitlikləri, günəş aktivliyi dövrləri, kosmik hava.

THE ROLE OF ROSSBY WAVES IN SOLAR MHD DYNAMICS: A THEORETICAL REVIEW

Babayev E.F.

Shamakhy Astrophysical Observatory named after Nasreddin Tusi

This paper examines the role of surface and internal Rossby waves in the formation and evolution of magnetohydrodynamic (MHD) processes within the Sun. Special attention is given to the interrelation between large-scale plasma flows, solar rotation, and the dynamics of the magnetic field. It is shown that Rossby waves generated in the convection zone and at the interface with the radiative zone have a significant impact on the evolution of active regions, the redistribution of angular momentum, and the long-term modulation of solar activity.

Theoretical models and numerical simulations are analyzed to demonstrate the contribution of Rossby waves to the generation of toroidal and poloidal components of the magnetic field within the solar dynamo mechanism. Possible correlations between Rossby wave dynamics and observed solar phenomena – such as sunspots, differential rotation, and large-scale convective structures – are discussed.

The results confirm that accounting for MHD Rossby waves is essential for improving the accuracy of models describing and predicting cyclic variations of solar activity and space weather phenomena. The findings can be applied in developing advanced solar dynamo models and computational tools for forecasting solar-terrestrial conditions.

Furthermore, the study highlights that nonlinear interactions between Rossby waves and magnetic fields may trigger transitions between high- and low-activity phases, offering additional insight into long-term solar variability.

Keywords: Rossby waves, tachocline dynamics, Solar MHD (Magnetohydrodynamics), shallow water models, magnetic instabilities, solar activity cycles, space weather.

Сведения об авторе

Фамилия, имя, отчество	Место работы	Должность, научная степень, научное звание	Контакты
Бабаев Эмин Фархад оглы	Шемахинская астрофизическая обсерватория им. Насреддина Туси	докторант	bemin4610@gmail.com моб:(+994) 10 313-65-04

İNFORMASIYA TEXNOLOGİYALARI

UOT: 681.518

DOI:10.30546/EMNAA.2025.25.04.418

ELEKTROMAQNİT SAHƏSİNİN TEXNİKİ VASİTƏLƏRƏ TƏSİRİNİN MÜASİR MİKROKONTROLLERLƏR VƏ TƏK LÖVHƏLİ KOMPÜTERLƏR VASİTƏSİLƏ İNTELLEKTUAL MONİTORİNGİ VƏ ANALİZİ

Haqverdiyev H.N., Ramazanov K.Ş.

Milli Aviasiya Akademiyası

Bu məqalə, müasir dövrdə elektromaqnit mühitin getdikcə mürəkkəbləşdiyi şəraitdə, uçuşların radiotexniki təminatı kimi yüksək kritikliyə malik infrastruktur obyektlərinin elektromaqnit sahəsinin təsirlərinə qarşı dayanıqlığının artırılması probleminə həsr olunur. Mövcud aviasiya və radiotexniki sistemlər, həm təbii mənşəli elektromaqnit hadisələrə, həm də texnogen mənbələrin yaratdığı intensiv sahə dəyişmələrinə qarşı həssas olduğundan, bu təsirlərin real zaman rejimində monitorinqi və proqnozlaşdırılması xüsusi əhəmiyyət kəsb edir. Tədqiqatın əsas məqsədi, STM32 tipli mikrokontrollerlərin yüksək sürətli sensor interfeysləri və aşağı səviyyəli signal emalı imkanları ilə Raspberry Pi kimi tək lövhəli kompüterlərin hesablama gücünü birləşdirən sinergetik bir arxitektura təklif etməkdir. Bu arxitektura elektromaqnit sahəsinin parametrlərinin dəqiq ölçülməsi, etibarlı şəkildə toplanması, çoxsəviyyəli filtrasiya və emalı, həmçinin maşın öyrənməsi metodları vasitəsilə anomaliya aşkarlanması və nasazlıqların erkən proqnozlaşdırılması üçün nəzərdə tutulur.

Məqalədə elektromaqnit təsirlərin fiziki xüsusiyyətləri, sensor konfigurasiyası, məlumatların real zamanlı sinxronlaşdırılması, kənar təsirlərin kompensasiyası və çoxkanallı məlumat axınlarının optimallaşdırılması kimi texniki məqamlar sistemli şəkildə təhlil edilir. Həmçinin, sistemin tətbiqi üçün uçuşların radiotexniki təminatı obyektlərinə uyğunlaşdırılmış eksperimental ssenarilər modelləşdirilir və təklif olunan yanaşmanın gözlənilən kəmiyyət nəticələri qiymətləndirilir. Aparılan analiz göstərir ki, mikrokontroller– əsaslı hibrid monitorinq sistemi, ənənəvi avadanlıqlarla müqayisədə yüksək qətnamə, daha geniş funksionallıq və adaptivlik təmin etməklə elektromaqnit risklərin idarə edilməsində perspektivli həll kimi çıxış edir. Bu nəticələr, aviasiya sahəsində elektromaqnit təhlükəsizliyinin yüksəldilməsi üçün yeni nəsil integrasiya olunmuş monitorinq platformalarının yaradılmasının məqsədəuyğunluğunu əsaslandırır.

Açar sözlər: *elektromaqnit sahəsi (EMS), elektromaqnit uyğunluğu (EMU), intellektual monitorinq, mikrokontroller (STM32), tək lövhəli kompüter (Raspberry Pi), maşın öyrənməsi, anomaliya aşkarlama, proqnozlaşdırıcı diaqnostika, radiotexniki təminat sistemləri, risk analizi.*

1. Giriş. Problemin konteksti və aktuallığı

Texnoloji tərəqqinin sürətlə artdığı müasir dünyada elektron cihazların və sistemlərin sayı və müxtəlifliyi gündən-günə çoxalır. Bu inkişaf, öz növbəsində, ətraf mühitdə elektromaqnit "çirklənmələrinin" – müxtəlif mənbələrdən yayılan elektromaqnit sahələrinin (EMS) intensivliyinin və spektral müxtəlifliyinin çoxalmasına səbəb olur [1, 2]. Həssas elektron avadanlıqların, xüsusilə də aviasiya kimi yüksək etibarlılıq və təhlükəsizlik tələb edən sahələrdə istifadə olunan uçuşların radiotexniki təminat (URTT) sistemlərinin fəaliyyəti bu artan EMS fonundan ciddi şəkildə pozula bilər [3]. Belə təsirlər, naviqasiya siqnallarının təhrifindən və rabitənin kəsilməsindən tutmuş,

idarəetmə sistemlərinin sıradan çıxmasına və nəticədə uçuşların təhlükəsizliyinin birbaşa təhdid altına düşməsinə qədər çoxşaxəli və arzuolunmaz nəticələrə gətirib çıxara bilər. Mülki və hərbi aviasiya üçün bir sıra aktual məsələlərini həll etməyə imkan verən əsas amillərdən biri də mürəkkəb radiotexniki vasitələrin və rabitə vasitələrinin dəqiqliyi və etibarlılığının artırılmasıdır [4]. Bu səbəbdən, URTT sistemlərinin elektromaqnit uyğunluğunun (EMU) təmin edilməsi və onların EMS təsirlərinə qarşı dayanıqlılığının davamlı monitorinqi müasir dövrün ən aktual elmi-texniki problemlərindən biri olaraq qalır.

Ənənəvi EMS monitorinq metodları, adətən, stasionar və ya periodik ölçmələrə, həmçinin laboratoriya şəraitində aparılan EMU testlərinə əsaslanır [5]. Lakin bu metodlar, real istismar şəraitindəki EMS mühitinin dinamik və çoxkomponentli təbiətini, müxtəlif mənbələrdən gələn maneələrin zamanla artan və qeyri-xətti təsirlərini tam əhatə etməkdə çətinlik çəkir. Problemin digər bir cəhəti isə, nasazlıq baş verdikdən sonra onun EMS təsiri ilə əlaqəsini operativ şəkildə müəyyən etməyin mürəkkəbliyidir. Bu kontekstdə, EMS təsirinin real zaman rejimində, paylanmış sensor şəbəkələri vasitəsilə və intellektual analiz alqoritmləri ilə monitorinqini həyata keçirə bilən yeni nəsil sistemlərə olan ehtiyac getdikcə artır.

Tədqiqatın əsas məqsədi, STM32 tipli müasir mikrokontrollerlərin (MK) və Raspberry Pi kimi tək lövhəli kompüterlərin (TLK) hesablama və funksional imkanlarını sinergetik şəkildə birləşdirərək, URTT sistemlərinə EMS təsirinin davamlı, intellektual monitorinqi, analizi, qiymətləndirilməsi və potensial nasazlıqların proqnozlaşdırılması üçün effektiv metodoloji diapazon və sistem arxitekturası təklif etməkdir. Bu məqsədə çatmaq üçün aşağıdakı əsas vəzifələrin həlli nəzərdə tutulur:

- EMS-nin URTT sistemlərinə təsirinin fundamental mexanizmlərinin, kritik EMS parametrlərinin və monitorinq üçün vacib olan avadanlıqların tam təhlilini aparmaq.

- paylanmış sensorlardan (STM32) və lokal analitik mərkəzlərdən (Raspberry Pi) ibarət çoxsəviyyəli intellektual EMS monitorinq sisteminin optimal arxitekturasını işləyib hazırlamaq.

- STM32 platformasında EMS parametrlərinin real zaman rejimində ölçülməsi, ilkin rəqəmsal signal emalı (süzgəcləmə, spektral analiz) və kritik hədlərin aşkarlanması üçün effektiv alqoritmlər təklif etmək [6].

- Raspberry Pi platformasında toplanmış məlumatların dərin analizi, müxtəlif EMS mənbələrinin və avadanlıq reaksiyalarının korrelyasiyası, maşın öyrənməsi (MÖ) alqoritmləri (məsələn, anomaliya aşkarlama, klassifikasiya, proqnozlaşdırma modelləri) vasitəsilə EMS təsirinin intellektual qiymətləndirilməsi və nasazlıq risklərinin proqnozlaşdırılması üçün metodlar işləmək.

Təklif olunan tədqiqatın elmi yeniliyi bir neçə aspektdə özünü göstərir. İlk növbədə, EMS monitorinqi üçün aşağı səviyyəli real zaman emalını (MK-larda) və yuxarı səviyyəli mürəkkəb analitik və proqnostik funksiyaları (TLK-larda) özündə birləşdirən hibrid, paylanmış intellektual sistem arxitekturası təklif edilir. İkincisi, URTT sistemlərinin EMS təsirlərinə qarşı həssaslığının qiymətləndirilməsi və nasazlıqların proqnozlaşdırılması üçün spesifik minimum ölçmə alqoritmlərinin adaptasiyası və tətbiqi nəzərdə tutulur. Bu, Edge AI və TinyML konsepsiyalarının EMS monitorinqi sahəsinə tətbiqi kimi də qiymətləndirilə bilər. Üçüncüsü, EMS hadisələri ilə avadanlığın funksional vəziyyətindəki dəyişikliklər arasında səbəb-nəticə əlaqələrinin avtomatik aşkarlanması üçün korrelyativ analiz və sadə ekspert sistemi elementlərinin integrasiyası təklif olunur.

Tədqiqatın praktiki nəticələri URTT sistemlərinin istismarında mühüm irəliləyişlərə səbəb ola bilər. Belə ki, təklif olunan sistem EMS ilə bağlı potensial təsirləri erkən mərhələdə aşkarlayaraq, avadanlığın gözlənilməz sıradan çıxmasının və bununla əlaqədar uçuşların təhlükəsizliyi üçün yaranan risklərin qarşısını almağa kömək edəcək, avadanlığın faktiki elektromaqnit şəraitə uyğun olaraq proqnozlaşdırıcı texniki xidmətinin planlaşdırılmasına, istismar xərclərinin azaldılmasına və sistemin ümumi işə hazırlıq əmsalının artırılmasına imkan yaradacaq və EMU ilə bağlı problemlərin diaqnostikasını sürətləndirəcək və texniki personal üçün effektiv qərar dəstək vasitəsi rolunu oynayacaq.

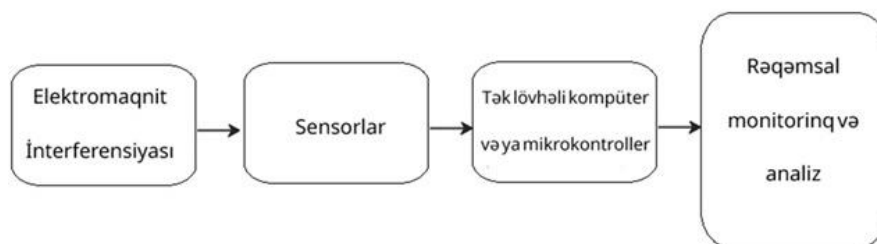
2. Elektromaqnit uyğunluğu və təsir mexanizmləri

Elektromaqnit uyğunluğu (EMU), bir cihazın və ya sistemin öz elektromaqnit mühitində qənaətbəxş işləməsi və həmin mühitə dözülməz elektromaqnit maneələri yaratmaması qabiliyyəti kimi təyin olunur. URTT sistemləri kimi həssas və kritik avadanlıqlar üçün EMU tələbləri xüsusilə sərtədir. EMS-nin texniki vasitələrə təsiri müxtəlif mexanizmlər vasitəsilə baş verə bilər. Bunlardan ən əsasları keçiriciliklə və şüalanma ilə yayılan maneələrdir. Keçiriciliklə yayılan maneələr, adətən, qida dövrələri, signal və idarəetmə kəməlləri vasitəsilə avadanlığa nüfuz edir. Şüalanan maneələr isə birbaşa elektromaqnit dalğaları şəklində avadanlığın korpusuna, antenalarına və daxili dövrələrinə təsir göstərir. Bu təsirlər nəticəsində avadanlığın işində müxtəlif dərəcəli pozuntular – signalın təhrifindən tutmuş tam funksional imtinaya qədər – baş verə bilər. Məsələn, güclü bir radarın impulsu yaxınlıqdakı rabitə qəbuledicisi tərəfindən faydalı informasiyanın qəbulunu dayandıra bilər və ya sənaye avadanlığından yaranan genişzolaqlı küy naviqasiya signalının signal/küy nisbətini kəskin şəkildə pisləşdirə bilər [7].

EMS təsirinin xarakterini və dərəcəsini müəyyən etmək üçün bir sıra parametrlər monitorinq edilir. Bunlara elektrik və maqnit sahəsinin gərginliyi, güc sıxlığı, maneə signalının tezlik spektri, amplitudası, modulyasiya növü və təsir müddəti daxildir. Eyni zamanda, təsirə məruz qalan avadanlığın özünün kritik funksional parametrlərindəki (məsələn, çıxış signalının keyfiyyəti, xətlərin sayı, sistemin reaksiyası və s.) dəyişikliklər də izlənilməlidir ki, EMS hadisəsi ilə potensial nasazlıq arasında əlaqə qurula bilsin [8].

EMS monitorinqi və EMU testləri üçün ənənəvi olaraq istifadə olunan metodlar əsasən laboratoriya şəraitində aparılan sınaqlara və ya sahədə periodik ölçmələrə əsaslanır. Genişzolaqlı antenalar, spektr analizatorları, sahə gərginliyi ölçənləri kimi xüsusi avadanlıqlar EMS parametrlərinin yüksək dəqiqliklə ölçülməsinə imkan versə də, bu yanaşmaların bir sıra fundamental məhdudiyyətləri vardır. Birincisi, real istismar mühitində EMS çox dinamikdir; maneə mənbələri qəflətən yaranır və ya yox ola bilər. Həmçinin, onların intensivliyi və spektral xarakteristikaları sürətlə dəyişə bilər. Periodik ölçmələr bu cür qısamüddətli, lakin potensial təhlükəli hadisələri aşkarlamaya bilər. İkincisi, müasir elektromaqnit mühit çoxsaylı müxtəlif mənbələrdən (mobil rabitə, Wi-Fi, TV/Radio yayımı, radarlar, sənaye qurğuları və s.) gələn signalın kompleks qarışığından ibarətdir [9, 10]. Bu signalın birgə, kumulyativ və intermodulyasiya təsirlərini qiymətləndirmək ənənəvi metodlarla çox çətindir. Üçüncüsü, bu cür ölçmələr adətən yüksək ixtisaslı personal və bahalı avadanlıq tələb edir ki, bu da geniş ərazilərdə və çoxsaylı obyektlərdə davamlı monitorinqin aparılmasını qeyri-iqtisadi edir [11]. Nəhayət, əksər hallarda monitorinq reaktiv xarakter daşıyır – yəni, problem (məsələn, avadanlığın nasazlığı) artıq baş verdikdən sonra onun EMS ilə əlaqəsi araşdırılır.

Bu məhdudiyyətlər, EMS təsirinin davamlı, real zaman rejimində, avtomatlaşdırılmış və intellektual analiz imkanları ilə monitorinqini həyata keçirə bilən yeni nəsil sistemlərə olan tələbatı açıq şəkildə ortaya qoyur. Ənənəvi avtomatlaşdırılmış monitorinq sistemlərinin (AMS) arxitekturası – vericilər (sensorlar), informasiyanın emalı qurğuları, indikasiya və qeydiyyat vasitələri – EMS monitorinqi üçün bir baza rolunu oynaya bilər, lakin bu sistemlər EMS-ə spesifik sensorlar, xüsusi signal emalı alqoritmləri və ən əsası, intellektual analiz və proqnozlaşdırma qabiliyyətləri ilə təkmilləşdirilməlidir. Nəzərdə tutulan elektromaqnit sahəsinin ölçülməsinin ümumi struktur sxemi şəkil 1-də göstərilmişdir.



Şəkil 1. Elektromaqnit sahəsinin ölçülməsinin ümumi struktur sxemi

3. İntellektual EMS monitorinq sisteminin arxitekturası və iş prinsipləri

Təklif olunan intellektual EMS monitorinq sistemi, URTT obyektlərinin yerləşdiyi ərazilərdə paylanmış, çoxsəviyyəli arxitektura üzərində qurulur. Bu arxitektura, məlumatların toplanmasından tutmuş, dərin analiz və qərar dəstəyinə qədər bütün prosesi əhatə edir və əsasən üç səviyyədən ibarətdir: sensor səviyyəsi, lokal analitik səviyyə və mərkəzi nəzarət səviyyəsi.

Sensor səviyyəsi monitorinq edilən URTT obyektlərinin və ya potensial EMS mənbələrinin yaxınlığında yerləşdirilmiş çoxsaylı avtonom və ya yarı-avtonom ağıllı sensor nodlarından təşkil olunur. Hər bir nodun əsasını STM32 (məsələn, yüksək performanslı STM32H7 və ya enerji səmərəli STM32L4 seriyası) mikrokontrolleri təşkil edir [12]. Bu nodların əsas funksiyaları aşağıdakılardır:

- EMS parametrlərinin ölçülməsi. Hər bir şəbəkə, genişzolaqlı və ya seçici antenalarla təchiz edilmiş EMS sensorları (məsələn, M₀ log-periodik antenalar və ya xüsusi dövrəli sahə zondları) vasitəsilə elektrik və maqnit sahəsinin gərginliyini, güc sıxlığını və maraq doğuran tezlik zolaqlarında spektral tərkibi ölçür.

- Tədqiq olunan obyektin parametrlərinin monitorinqi. Eyni zamanda, STM32 nodu, yaxınlıqdakı URTT obyektinin bəzi kritik iş parametrlərini (məsələn, qida gərginliyindəki dəyişikliklər, çıxış signalının keyfiyyət göstəriciləri, daxili temperatur) müvafiq sensorlar vasitəsilə izləyir. Real zaman müddətində STM32, daxili ARÇ-ləri vasitəsilə sensor signallarını yüksək sürətlə rəqəmsallaşdırır. Daha sonra, CMSIS-DSP kitabxanasından istifadə edərək, signalardakı küyü azaltmaq üçün rəqəmsal süzgəcləmə və zərurət olduqda, ilkin spektral analiz aparılır [13].

- Məlumatların ötürülməsi. Emal edilmiş məlumatlar, aşkarlanan anomaliyalar və ilkin klassifikasiya nəticələri, aşağı enerji sərfiyyatlı uzaq mənzilli rabitə protokolları (məsələn, LoRaWAN) və ya daha yüksək sürətli protokollar (Wi-Fi, Ethernet) vasitəsilə lokal analitik səviyyəyə (Raspberry Pi) ötürülür [14].

Lokal analitik səviyyə bir və ya bir neçə STM32 sensor nodundan məlumatları toplayan, daha dərin analiz və qərar dəstəyi funksiyalarını yerinə yetirən Raspberry Pi əsaslı lokal mərkəzlərdən ibarətdir.

Məlumatların sinxronizasiyası və arxivləşdirilməs iməqsədi ilə Raspberry Pi, müxtəlif sensor şəbəkələrində gələn məlumat axınlarını qəbul edir, zaman ştamplarına görə sinxronizasiya edir və uzunmüddətli analiz üçün lokal verilənlər bazasında saxlayır.

EMS analizi və şüalanma mənbələrinin təyini üçün Raspberry Pi-də toplanmış spektral məlumatlar və digər elektromaqnit sahəsinin parametrləri daha detallı təhlil edilərək, potensial maneə mənbələrinin xarakteristikaları təyin edilir. Sonra isə anomaliya aşkarlama, nasazlıqların proqnozlaşdırılması, EMS təsirinin klassifikasiyası və risk qiymətləndirilməsi üçün daha mürəkkəb maşın təlimi modelləri qurulur [15, 16].

Veb-interfeys vasitəsilə operatorlar real zaman rejimində EMS vəziyyətini, obyektlərin statusunu, aşkarlanan anomaliyaları, proqnozları və risk səviyyələrini izləyərək lokal Raspberry Pi mərkəzlərinə, zərurət olduqda isə emal edilmiş və ümumiləşdirilmiş məlumatları daha yuxarı səviyyəli mərkəzi nəzarət sisteminə ötürürlər.

Mərkəzi nəzarət səviyyəsi böyük və mürəkkəb URTT infrastrukturuları üçün nəzərdə tutulur və adətən güclü serverlər və ya bulud platformaları üzərində reallaşdırılır. Onun əsas funksiyaları qlobal analiz, uzunmüddətli trendlərin təhlili və strateji qərarların qəbul edilməsidir [17].

STM32 mikrokontrollerində real zaman müddətində siqnalların emalı və zəruri informasiyanın aşkarlanması və maneələrin yatırılması üçün texniki və proqram üsulları ilə rəqəmsal süzgüləmə həyata keçirilir. Tədbiq olunan süzgülə, son N ölçmənin orta qiymətini hesablayaraq təsadüfi küyləri hamarlayır və göstərilən sadələşdirilmiş ifadə ilə həyata keçirilir:

$$y[i] = \frac{1}{N} \sum_{j=0}^{N-1} x[i - j] \quad (1)$$

Burada, N-süzgüclənməyə məruz qalan nümunələrin sayı, i -süzgüclənmiş siqnalın cari qiyməti, j- isə cəmləmə əməliyyatında istifadə olunan dəyişənlərin sayıdır.

Süzgüclənmiş siqnalın effektiv qiyməti (orta kvadrat kök), rəqəmsallaşdırılmış nümunələr üçün aşağıdakı sadələşdirilmiş düsturla hesablanır:

$$V_{okk} = \sqrt{\frac{1}{N} (v_1^2 + v_2^2 + \dots + v_N^2)} \quad (2)$$

Tədbiq olunan tezliklərdə EMS intensivliyini qiymətləndirmək üçün sadə spektral analizdən istifadə olunur, yəni diskret Furye çevirməsi (DFÇ) tətbiq olunur. DFÇ, siqnalı tezlik komponentlərinə ayırır və aşağıda göstərilən düsturla hesablanır:

$$X_k = \sum_{n=0}^{N-1} x_n \cdot e^{-i \frac{2\pi kn}{N}} \quad (3)$$

Burada, N-məlumatların sayı, n - siqnalın daxilindəki hər bir nöqtənin sıra nömrəsi, x_n - siqnalın n-ci qiyməti, k- siqnalın tezlik indeksi, i isə kök altında mənfi vahidə bərabərdir. $e^{-i \frac{2\pi kn}{N}}$ - eksponenti sinus və kosinusların qarışığıdır. Sonuncu ifadə ilə istənilən tezlikdə siqnalın gücünü təyin etmək mümkündür.

EMS parametrləri ilə texniki vasitənin iş göstəriciləri arasında əlaqənin gücünü ölçmək üçün aşağıda göstərilən sadələşdirilmiş ifadə ilə korrelyasiya əmsalı hesablanı bilər.

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (4)$$

Təklif olunan sistemin iş prinsipini və potensial effektivliyini nümayiş etdirmək məqsədilə, hava hərəkətini idarəetmə (HHİ) xidmətinin yerüstü VHF səs rabitəsi (ötürücü-qəbuledici) stansiyasına yaxın məsafədə yerləşən və qeyri-müntəzəm işləyən güclü sənaye avadanlığının yaratdığı elektromaqnit maneəsinin təsirinin monitorinqi üçün simulyasiya edilmiş bir təcrübə ssenari təqdim olunur [18, 19].

Tədqiqat obyekti kimi URTT obyekti seçilmişdir və HHİ üçün istifadə olunan yerüstü VHF (118-137 MHz diapazonlu) amplitud modulyasiyalı (AM) səs rabitəsi qəbuledicisi götürülmüşdür. Bu qəbuledicinin həssaslığı və signal/küy nisbəti (SNR) onun normal fəaliyyəti üçün kritik parametrlərdir.

Monitorinq edilən obyektin parametrləri (qəbuledicisi üçün) aşağıda sadalananlardır:

- qəbul edilən faydalı signalın səviyyəsi (dBm);
- qəbuledicinin çıxışındakı signal/küy nisbəti (SNR, dB).
- avtomatik gücləndirmə tənzimləyicisinin (AGC) gərginliyi (maneə səviyyəsinin indikatoru kimi);
- demodulyasiya edilmiş səs signalındakı təhriflərin səviyyəsi (ümumi harmonik təhrif + küy, THD+N, %).

EMS mənbəyi kimi induktiv yükə malik sənaye avadanlığı seçilmişdir və bu avadanlıq işə düşdükdə və ya dayandıqda, həmçinin iş prosesində qida şəbəkəsində kommutasiya prosesləri nəticəsində genişzolaqlı impuls və qısamüddətli harmonik maneələr yaradır. Maneənin spektral tərkibi VHF diapazonunu da əhatə edə bilər. Avadanlıq işə düşmə zamanı 50 mks - 2 ms davamiyyətli, 1 kV/mks-ə qədər artma sürətli impuls gərginlikləri, iş zamanı isə 1 MHz-dən 300 MHz-ə qədər diapazonda müxtəlif harmonikalardan və genişzolaqlı küyden ibarət şüalanan maneələr yaradır.

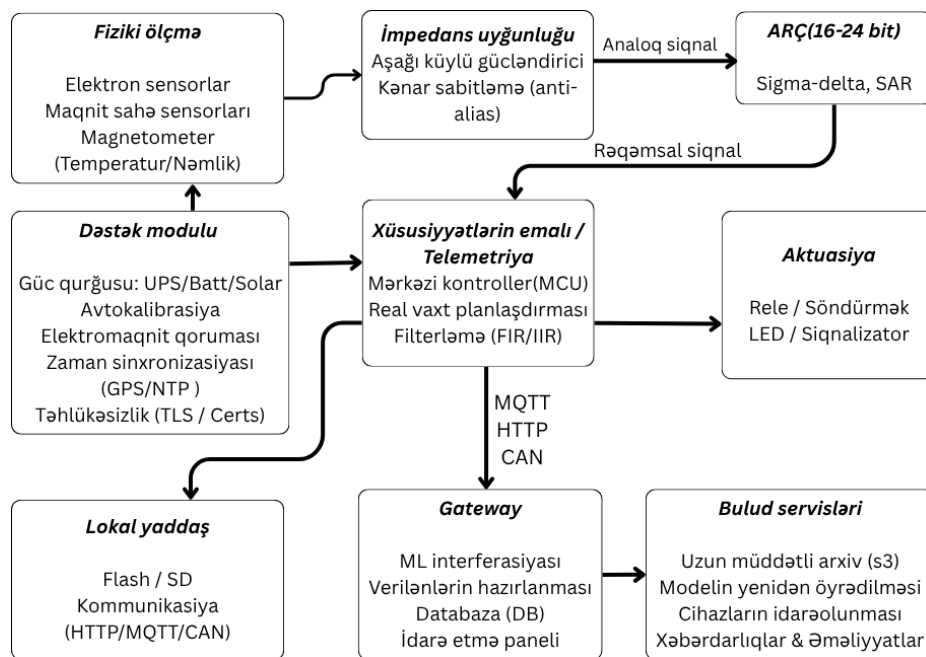
Simulyasiya Python proqramlaşdırma dili və SciPy, NumPy kitabxanaları istifadə edilərək həyata keçirilir. EMS mənbəyinin yaratdığı keçiriciliklə və şüalanma ilə yayılan maneələrin rabitə qəbuledicisinin müxtəlif dövrələrinə (giriş süzgəcləri, gücləndiricilər, demodulyator) təsiri sadələşdirilmiş analitik modellər və empirik asılılıqlar əsasında modelləşdirilir. Məsələn, şüalanan sahənin təsiri nəticəsində qəbuledicinin antenasında induksiyaalanan maneə gərginliyi hesablanır və bu gərginliyin SNR və THD+N-ə təsiri qiymətləndirilir. Ümumi sistemin müəyyənləşdirilmiş struktur sxemi şəkil 2-də təsvir edilmişdir.

İlkin verici mənbəyi kimi (simulyasiya üçün) STM32H7 əsaslı şəbəkə, VHF diapazonunu əhatə edən antenna və aşağıda göstərilən virtual sensorlar götürülür [20]:

- genişzolaqlı EMS sensoru (sahə gərginliyinin orta (RMS) və pik qiymətlərini ölçən);
- rabitə qəbuledicisinin giriş gərginliyinin tənzimlənmə səviyyəsini, çıxışdakı signal maneə nisbətini (SNR) və çıxış signalının təmizliyini (müvafiq çeviricilər vasitəsilə THD+N səviyyələrini) ölçən interfeyslər.

Sənaye avadanlığı işləmədiyi zaman STM32, bir neçə dəqiqə ərzində EMS fonunu və rabitə qəbuledicisinin stabil iş parametrlərini qeydə alır. Bu məlumatlar əsasında RMS və pik qiymətləri üçün normal keçiricilik və buraxıla bilən hədlər (məsələn, orta qiymət $\pm 3\sigma$) hesablanır.

Avadanlıq işə düşdükdə, EMS sensoru tərəfindən qısa müddətli, yüksək amplitudlu impuls pikləri qeydə alınır. Eyni zamanda, qəbuledicinin AGC gərginliyində kəskin sıçrayış, SNR-də ani enmə və THD+N-də artım müşahidə olunur. Pik aşkarlama alqoritmi impulsun mövcud olduğunu təsdiqləyir. Bu məlumatlar dərhal Raspberry Pi-yə ötürülür və emal müddəti 10-20 ms olması gözlənilir.



Şəkil 2. Ümumi sistemin müəyyənləşdirilmiş struktur sxemi

STM32 üzərində qurulmuş neyron şəbəkəsi, ölçülən EMS parametrləri (RMS, pik, əsas harmoniklərin amplitudası) və qəbuledicinin SNR/THD+N qiymətləri əsasında vəziyyəti "Normal", "Yüngül maneə təsiri" (SNR bir qədər azalıb, lakin rabitə mümkündür) və ya "Ciddi maneə təsiri" (SNR kritik həddən aşağıdır, rabitə pozulub) kimi klassifikasiya edir. Bu klassifikasiya nəticəsinin ən azı 90-95% dəqiqliklə əldə olunması hədəflənir.

Nəticə

1. Bu tədqiqat işində, uçuşların radiotexniki təminat sistemləri kimi kritik infrastruktur obyektlərinə elektromaqnit sahəsinin təsirinin müasir mikrokontrollerlər (STM32) və tək lövhəli kompüterlər (Raspberry Pi) vasitəsilə intellektual monitorinqi, analizi və proqnozlaşdırılması üçün kompleks bir metodoloji çərçivə və sistem arxitekturası təklif edilmişdir. Aparılan nəzəri təhlillər və simulyasiya edilmiş təcrübə ssenarilər göstərir ki, təklif olunan yanaşma, EMS ilə bağlı potensial təhdidlərin real zaman rejimində aşkarlanması, təsirin dərəcəsinin təhlili, nasazlıq risklərinin qiymətləndirilməsi və proaktiv qərarların qəbul edilməsi üçün əhəmiyyətli imkanlar yaradır.

2. Sistemin əsasını təşkil edən STM32 mikrokontrollerləri əsaslı ağıllı sensor nodları, EMS parametrlərinin və obyektin kritik göstəricilərinin lokal səviyyədə davamlı ölçülməsini, ilkin siqnal emalını və TinyML alqoritmləri vasitəsilə sürətli hadisə aşkarlanmasını təmin edir. Raspberry Pi əsaslı lokal analitik mərkəzlər isə toplanmış məlumatların aqreqasiyasını, daha mürəkkəb maşın

öyrənməsi modelləri (anomaliya aşkarlama, klassifikasiya, proqnozlaşdırma) vasitəsilə dərin analizini və operatorlar üçün qərar dəstək funksiyalarını həyata keçirir.

3. Tədqiqatın əsas elmi yeniliyi, EMS monitorinqinin intellektuallaşdırılması üçün aşağı və yuxarı səviyyəli hesablama platformalarının sinergetik istifadəsini, URTT sistemləri üçün spesifik MÖ alqoritmlərinin adaptasiyasını və EMS hadisələri ilə avadanlıq reaksiyaları arasında səbəb-nəticə əlaqələrinin avtomatlaşdırılmış təhlilini əhatə edir.

Yekun olaraq qeyd etmək olar ki, elektromaqnit sahəsinin texniki vasitələrə təsirinin müasir mikrokontrollerlər və tək lövhəli kompüterlər vasitəsilə intellektual monitorinqi, URTT sistemlərinin təhlükəsiz, etibarlı və fasiləsiz işinin təmin edilməsi istiqamətində mühüm və perspektivli bir elmi-texniki istiqamətdir.

ƏDƏBİYYAT

1. Paşayev A.M., Mehdiyev A.Ş., Nəbiyev R.N., Ramazanov K.Ş. Aeroportların radionaviqasiya avadanlıqlarının texniki vəziyyətinin avtomatlaşdırılmış monitorinqi. MAA, Monoqrafiya, 236 səh. Bakı: 2015.
2. Ramazanov K.Ş. Uçuşların yerüstü rabitə və radiotexniki təminatının texniki vəziyyətinə intellektual operativ monitorinqin üsul və vasitələri. MAA, Elmi Məcmuə Cild 26, №1, 2024, DOI: 10.30546/JNAA.2024.26.1.47.
3. R.J. Perez (Ed.), *Handbook of Aerospace Electromagnetic Compatibility*, John Wiley & Sons, 2019. ISBN: 978-1118910511. M. Solkin, "Electromagnetic interference hazards in flight and the 5G mobile phone: review of critical issues in aviation security," *Transportation Research Procedia*, vol. 59, pp. 310–318, 2021.
4. Paşayev A.M., Nəbiyev R.R., Ramazanov K.Ş., Rüstəmov R.R., Avtomatlaşdırılmış mühafizə-xəbərdarlıq sisteminin etibarlılığının qiymətləndirilməsi. Milli Aviasiya Akademiyasının Elmi Əsərləri. 2018, №2, səh. 11-27.
5. D. Mandaris, W. R. Hutomo, Y. Chia et al., "Electromagnetic test environments analysis for EMI measurements," *Instrumentasi*, vol. 45, no. 1, pp. 21–31, Jul. 2021
6. S.M. Kuo, W.-S. Gan and S.Y. Lee, *Real-Time Digital Signal Processing: Fundamentals, Implementations and Applications*, 3rd ed., Wiley, 2019. ISBN: 978-1118414326
7. IEC 61000-4-3, "Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-3: Testing and measurement techniques – Radiated, radio-frequency, electromagnetic field immunity test," International Electrotechnical Commission, IEC 61000-4-3:2020.
8. Department of Defense, "MIL-STD-461G – Requirements for the Control of Electromagnetic Interference Characteristics of Subsystems and Equipment," U.S. DoD, Dec. 2015
9. L. Malburg, N. Moonen and F. Leferink, "The changing electromagnetic environment onboard all-electric aircraft – an EMC perspective," in *Proc. IEEE Int. Joint EMC/SI/PI Symp.*, 2021, pp. 845–850.
10. M. Solkin, "Electromagnetic interference hazards in flight and the 5G mobile phone: review of critical issues in aviation security," *Transportation Research Procedia*, vol. 59, pp. 310–318, 2021.
11. Z. Ma et al., "Electromagnetic interference effect of portable electronic devices on aircraft systems: simulation and experimental study," *Sensors*, vol. 25, no. 14, art. 4438, 2025

12. STMicroelectronics, "AN4841 – Digital signal processing for STM32 microcontrollers using CMSIS," Application Note, Rev.2, Mar. 2016.
13. NXP Semiconductors, "AN12383 – Computing FFT with PowerQuad and CMSIS-DSP," Application Note, Sep. 2023
14. LoRa Alliance, "LoRaWAN® Specification v1.0.3," LoRa Alliance, July 2018 (specification for low-power wide-area sensor telemetry)
15. R. David, J. Duke, A. Jain, V. Janapa Reddi, N. Jeffries, J. Li, N. Kreeger, I. Nappier, M. Natraj, S. Regev, R. Rhodes and T. Wang, "TensorFlow Lite Micro: Embedded machine learning for TinyML systems," in *Proc. MLSys*, 2021.
16. P. Warden and D. Situnayake, *TinyML: Machine Learning with TensorFlow Lite on Arduino and Ultra-Low-Power Microcontrollers*, O'Reilly Media, 2019. ISBN: 978-1492052043.
17. Singh, "Edge AI: A survey," *Computing Surveys / Elsevier (survey)*, 2023=
18. P. Malhotra, L. Vig, P. Agarwal et al., "LSTM-based encoder-decoder for multi-sensor anomaly detection," *arxiv:1607.00148*, 2016
19. A. B. Neloy et al., "A comprehensive study of auto-encoders for anomaly detection," *Journal / Elsevier*, 2024.
20. Z. Wang, D. Jiang, Z. Liu, X. Zhao, G. Yang and H. Liu, "A review of EMI research of high power density motor drive systems for electric actuator," *Actuators*, vol. 12, no. 11, art. 411, Nov. 2023.

REFERENCES

1. Pashayev A.M., Mehdiyev A.Sh., Nebiyev R.N., Ramazanov K.Sh. Aeroportların radionavigasiya avadanlıqlarının texniki vəziyyətinin avtomatlaşdırılmış monitoringi. MAA, Monografiya, 236 page. Bakı: 2015.
2. Ramazanov K.Sh. Uçuşların yerüstü rabitə və radiotexniki təminatının texniki vəziyyətinə intellektual operativ monitoringin üsul və vasitələri. MAA, Scientific Journal Vol 26, №1, 2024, DOI: 10.30546/JNAA.2024.26.1.47.
3. R. J. Perez (Ed.), *Handbook of Aerospace Electromagnetic Compatibility*, John Wiley & Sons, 2019. ISBN: 978-1118910511. M. Solkin, "Electromagnetic interference hazards in flight and the 5G mobile phone: review of critical issues in aviation security," *Transportation Research Procedia*, vol. 59, pp. 310–318, 2021.
4. Pashayev A.M., Nabiyev R.R., Ramazanov K.Sh., Rustamov R.R., Avtomatlaşdırılmış mühafizə-xəbərdarlıq sisteminin etibarlılığının qiymətləndirilməsi. Milli Aviasiya Akademiyasının Elmi Əsərləri. 2018, №2, page. 11-27.
5. D. Mandaris, W. R. Hutomo, Y. Chia et al., "Electromagnetic test environments analysis for EMI measurements," *Instrumentasi*, vol. 45, no. 1, pp. 21–31, Jul. 2021
6. S. M. Kuo, W.-S. Gan and S. Y. Lee, *Real-Time Digital Signal Processing: Fundamentals, Implementations and Applications*, 3rd ed., Wiley, 2019. ISBN: 978-1118414326
7. IEC 61000-4-3, "Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-3: Testing and measurement techniques – Radiated, radio-frequency, electromagnetic field immunity test," International Electrotechnical Commission, IEC 61000-4-3:2020.

8. Department of Defense, "MIL-STD-461G – Requirements for the Control of Electromagnetic Interference Characteristics of Subsystems and Equipment," U.S. DoD, Dec. 2015
9. L. Malburg, N. Moonen and F. Leferink, "The changing electromagnetic environment onboard all-electric aircraft – an EMC perspective," in *Proc. IEEE Int. Joint EMC/SI/PI Symp.*, 2021, pp. 845–850.
10. M. Solkin, "Electromagnetic interference hazards in flight and the 5G mobile phone: review of critical issues in aviation security," *Transportation Research Procedia*, vol. 59, pp. 310–318, 2021.
11. Z. Ma et al., "Electromagnetic interference effect of portable electronic devices on aircraft systems: simulation and experimental study," *Sensors*, vol. 25, no. 14, art. 4438, 2025
12. STMicroelectronics, "AN4841 – Digital signal processing for STM32 microcontrollers using CMSIS," Application Note, Rev.2, Mar. 2016.
13. NXP Semiconductors, "AN12383 – Computing FFT with PowerQuad and CMSIS-DSP," Application Note, Sep. 2023
14. LoRa Alliance, "LoRaWAN® Specification v1.0.3," LoRa Alliance, July 2018 (specification for low-power wide-area sensor telemetry)
15. R. David, J. Duke, A. Jain, V. Janapa Reddi, N. Jeffries, J. Li, N. Kreeger, I. Nappier, M. Natraj, S. Regev, R. Rhodes and T. Wang, "TensorFlow Lite Micro: Embedded machine learning for TinyML systems," in *Proc. MLSys*, 2021.
16. P. Warden and D. Situnayake, *TinyML: Machine Learning with TensorFlow Lite on Arduino and Ultra-Low-Power Microcontrollers*, O'Reilly Media, 2019. ISBN: 978-1492052043.
17. Singh, "Edge AI: A survey," *Computing Surveys / Elsevier (survey)*, 2023
18. P. Malhotra, L. Vig, P. Agarwal et al., "LSTM-based encoder-decoder for multi-sensor anomaly detection," *arxiv:1607.00148*, 2016
19. A. B. Neloy et al., "A comprehensive study of auto-encoders for anomaly detection," *Journal / Elsevier*, 2024.
20. Z. Wang, D. Jiang, Z. Liu, X. Zhao, G. Yang and H. Liu, "A review of EMI research of high power density motor drive systems for electric actuator," *Actuators*, vol. 12, no. 11, art. 411, Nov. 2023.

**INTELLECTUAL MONITORING AND ANALYSIS OF THE IMPACT OF THE
ELECTROMAGNETIC FIELD ON TECHNICAL DEVICES USING MODERN
MICROCONTROLLERS AND SINGLE-BOARD COMPUTERS**

Hagverdiyev H.N., Ramazanov K.Ş.

National Aviation Academy

This article is devoted to the problem of increasing the resistance of highly critical infrastructure facilities, such as radio-technical support of flights, to the effects of the electromagnetic field in the conditions of the increasingly complex electromagnetic environment in modern times. Since existing aviation and radio-technical systems are sensitive to both natural electromagnetic phenomena and intense field changes caused by man-made sources, real-time monitoring and prediction of these effects is of particular importance. The main goal of the research is to propose a

synergetic architecture that combines the high-speed sensor interfaces and low-level signal processing capabilities of STM32-type microcontrollers with the computing power of single-board computers such as Raspberry Pi. This architecture is intended for accurate measurement, reliable collection, multi-level filtering and processing of electromagnetic field parameters, as well as anomaly detection and early prediction of failures using machine learning methods.

The article systematically analyzes technical aspects such as the physical characteristics of electromagnetic effects, sensor configuration, real-time synchronization of data, compensation of external influences, and optimization of multi-channel data flows. Also, experimental scenarios adapted to the radiotechnical support facilities of flights for the application of the system are modeled and the expected quantitative results of the proposed approach are evaluated. The analysis shows that the microcontroller-based hybrid monitoring system acts as a promising solution in electromagnetic risk management, providing higher resolution, wider functionality and adaptability compared to traditional equipment. These results justify the feasibility of creating a new generation of integrated monitoring platforms to improve electromagnetic safety in the aviation sector.

Keywords: *electromagnetic field (EMS), electromagnetic compatibility (EMU), intelligent monitoring, microcontroller (STM32), single-board computer (Raspberry Pi), machine learning, anomaly detection, predictive diagnostics, radio technical support systems, risk analysis.*

Müəlliflər haqqında məlumat

Soyadı, adı, atasının adı	İş yeri	Vəzifəsi, elmi dərəcəsi, elmi adı	Əlaqə
Haqverdiyev Hüseynağa Novruz oğlu	Azintelecom	Proqramçı, Milli Aviasiya Akademiyasının doktorantı	huseynaga.hagverdiyev60225 @naa.edu.az
Ramazanov Kəmaləddin Şirin oğlu	Milli Aviasiya Akademiyası	“Aerokosmik cihazlar” kafedrasının dosenti, t.f.d	kramazanov@naa.edu.az

UOT: 621.382

DOI:10.30546/EMNAA.2025.25.04.421

ÜZVİ YARIMKEÇİRİCİ SAHƏ TRANZİSTORU ƏSASINDA QURULMUŞ MÜASİR SENSORLAR

Zeynalova Ş.H., Mustafayev M.M.

Milli Aviasiya Akademiyası

Sensor texnologiyalarının gələcək tədqiqi yürüklük, funksionallıq və yüksək dəqiqlik kimi meyarlara əsaslanır. Üzvi sahə tranzistorları (ÜST) bu baxımdan müasir elmi tədqiqatların mərkəzində dayanaraq, elastik elektronika sahəsində geniş tətbiq imkanları vəd edir. Bu məqalədə ÜST əsaslı temperatur və gərginlik sensorlarının strukturu, komponent tərkibi və iş prinsipi sistemli şəkildə araşdırılmışdır. Xüsusilə pentasen, CuPc və F16CuPc kimi üzvi yarımkeçirici materialların sensorlarda yaratdığı effektlər təhlil olunmuşdur. Bu sensorlar 0-180 °C intervalında yüksək termal sabillik nümayiş etdirir, bu da onların davamlılıq və etibarlılıq baxımından üstünlüyünü göstərir. Temperatur artdıqda, hədd gərginliyinin sürüşməsi və yükdaşıyıcıların yürüklüyündə dəyişikliklər çıxış signalında əhəmiyyətli fərqlər yaradır. Bu hadisə interfeys səviyyəsində polyarizasiya effektləri və defekt mərkəzlərində yaranan tələtutma prosesləri ilə əlaqədardır və yükdaşınma dinamikasının modulyasiyasına bilavasitə təsir göstərir. ÜST əsaslı tenzometrik sensorlar mexaniki deformasiyaya və dövrü yüklənmələrə qarşı yüksək davamlılıq nümayiş etdirir. Onların struktur elastikliyi təkrarlanan mexaniki təsirlər altında elektrik sabitliyini qorumağa imkan verir ki, bu da aerokosmik və elastik elektronika tətbiqləri üçün əhəmiyyətlidir. Yarımkeçirici və dielektrik təbəqələrin sinergetik dizaynı sensorun reaksiya müddətini və signal-küy nisbətini artırır. Aşağı temperaturlu istehsal prosesi elastik polimer altlıqların homojen strukturunu qoruyur. Bu xüsusiyyətlər ÜST əsaslı sensorları kompakt, dayanıqlı və integrasiya oluna bilən diaqnostik platformalar kimi səciyyələndirir. Ümumilikdə, ÜST əsaslı sensorlar tibbi diaqnostika və intellektual sistemlər üçün davamlı və səmərəli texnoloji həllər təqdim edir.

Açar sözlər: *hədd gərginliyi, tenzometrik sensor, temperatur sensoru, üzvi yarımkeçirici, elastik, üzvi sahə tranzistoru, mikro-molekullu birləşmə, yürüklük.*

Giriş

Gərilmə və təzyiq kimi mexaniki deformasiya göstəricilərinin yüksək dəqiqliklə qeyd edilməsi və ölçülməsi, müasir multidissiplinar sahələrdə - “elastiki robototexnika”, yeni nəsil geyilə bilən biotibbi qurğular, elastiki elektronika və intellektual infrastruktur sistemlərində — mümkün zaman diapazonunda daha həyati əhəmiyyət kəsb edir [1]. Belə sistemlərdə sensorlar ilk növbədə qarşıya qoyulan tələblərdən asılı olaraq, yüksək həssaslıq və reaksiya müddətinə, eyni zamanda sistem daxili mexaniki müvazinətə, uzunmüddətli sabillik göstəricisinə və aşağı enerji sərfiyyatı kimi əsas tələblərə cavab verməlidir. Xüsusilə qeyd etsək, elastiki altlıqlara integrasiya edilməsi kimi. Sözsüz ki, makromolekullu birləşmələrin (polimer tip) mühüm nüfuz əldə etdiyi, həmçinin sensorlara tətbiq edildiyi dövrə qədər pyezorezistiv, pyezoelektrik, tutum və optik prinsiplərə əsaslanan ənənəvi sensorlar bir sıra tətbiq sahələrində əhəmiyyətli dərəcədə irəliləyişlər əldə etmişdir [2]. Silisium, metal oksidləri və keramik kimi qeyri-üzvi materialların seçimi qeyd edilən sensorların elastiklik və əyilgənlik xüsusiyyətlərinə əngəl yaradır. Digər tərəfdən isə, istehsal texnologiyaları çox zaman mürəkkəb və enerji baxımından isə yüksək sərfiyyatlı olduğuna görə, bu sensorların geniş miqyaslı

istifadəsi, səmərəli və sərfəli istehsalı və dinamik səthlərə birbaşa tətbiq edilməsi məqsəduyğun və əlverişli sayılır. Buna görə də qeyd edilən texnoloji məhdudiyyətlər, dövrü yüklənmələr zamanı sistem daxili gedən fiziki proseslərin zəifləməsi (siqnal-küy nisbətinin azalması), habelə histerizis kimi problemlər, innovativ üsulların tətbiqinə, həllərin tapılmasına və həmçinin müasir alternativ sensor platformalarına olan marağı artırır. Çıxış nöqtəsini bu istiqamətdən götürən və son dövrlərdə perspektivli texnologiya kimi qəbul edilən üzvi sahə tranzistoru (ÜST) əsasında qurulmuş sensorları xüsusi diqqət cəlb etmişdir. Mexaniki elastiklik xüsusiyyəti ÜST-na elastiki elektronika sahəsində istifadəsinə xüsusi özəllik verir. Ən üstün cəhətlərindən biri də həssaslıqla yanaşı daxili güclənmənin (siqnalın gücləndirilməsi) eyni zamanda təmin edilməsidir. Bu integrasiya sensorun dizaynını sadələşdirir, həssaslıq və reaksiya müddətini artırır və əlavə kompleks gücləndirici dövrləri istifadədən kənarlaşdırır.

Bu sahədəki son irəliləyişlər onu göstərir ki, ÜST əsaslı sensorlar aşağı təzyiqlərdə kiçik dəyişikləri yüksək həssaslıqla müəyyən edir, mexaniki təsirlərə məruz qaldıqda isə öz elastikliyi qoruyub saxlayır.

İşin məqsədi – üzvi sahə tranzistorlar əsasında qurulmuş elastik və funksional sensorların — xüsusilə temperatur və gərilmə sensorlarının — strukturlarını, material seçimini, işləmə mexanizmlərini və texnoloji üstünlüklərini sistemli şəkildə təhlil edərək, onların müasir sensor texnologiyalarına integrasiya etməkdir.

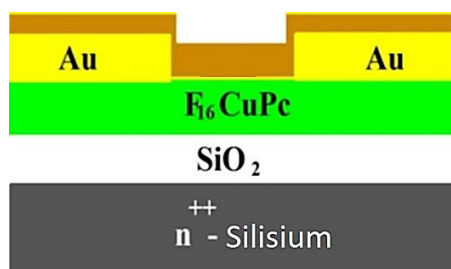
ÜST əsasında qurulmuş temperatur sensorları. Temperaturun müəyyən edilməsi müasir sensor texnologiyalarının ən geniş tətbiq sahələrindən biri hesab olunur. Xüsusi olaraq, tibbi diaqnostikada yüksək dəqiqliyə və reaksiya müddətinə malik temperatur sensorlarına böyük ehtiyac vardır. Məsələn, COVID-19 pandemiyası dövründə invaziv və qeyri-invaziv üsullarla temperaturun monitorinqi geniş tətbiq olunmuş və bu texnologiyanın əhəmiyyətini bir daha ortaya qoymuşdur. Bundan əlavə, elektron dəri texnologiyalarının inkişafı, yalnız temperaturu deyil, eyni zamanda təzyiq və rütubət kimi göstəricilərə qarşı həssaslıq göstərə bilən elastiki sensorlara olan tələbatı artırmışdır [3,4]

Temperaturun dəqiq müəyyən edilməsi, təzyiq, rütubət və qaz konsentrasiyası kimi digər mühüm fiziki parametrlərin ölçülməsində əsaslı rol oynayır, çünki bu parametrlərin qiyməti temperaturdan asılı olaraq dəyişir [5]. Məsələn, metal-oksit yarımkeçirici əsaslı qaz sensorlarında selektivlik və həssaslıq temperaturun təsiri ilə dəyişdiyindən (ətraf mühitdə), onların normal rejimdə işləməsi üçün kalibrəlmə prosesi həyata keçirilir.

Üzvi yarımkeçirici temperatur sensorları üçün mikro və makromolekullu materiallar geniş tətbiq edilir. Sensorlar üçün seçilmiş materiallar siyahısında makro-molekullu birləşmələrlə müqayisədə üzvi mikro-molekullu kimyəvi strukturlar, onların sintezinin, saflaşdırılma mexanizminin tez başa gəlməsi və yüksək yük yüklüyü baxımından daha əlverişli sayılır. Bu kontekstdə etalon kimi pentasen tipli material seçilir [6-9]. Laboratoriya diaqnostikasında isə ÜST əsaslı temperatur sensorunda pentasen polietilen naftalat tərkibli elastik altlıq üzərinə çökdürülmüş yarımkeçirici təbəqə kimi çıxış edir [10]. Sənaye tətbiqlərində müəyyən sahələr üçün təsnif edilmiş temperatur sensorlarında pentasen çox zaman ÜST-nun rəzə elektrodunda dielektrik rolunu oynayan polivinilfenol təbəqəsinin üzərinə 50 nm qalınlığında çökdürülür [11]. Baxılan struktur ÜST-ları üçün uyğundur, çünki dielektrik qat yarımkeçiricidə yük axınına idarə etməyə kömək edir. Digər tərəfdən, belə konfigurasiyada rəzə elektrodu üzvi sahə tranzistorunun tutumunu müəyyən edir ki, bu da tətbiq edilmiş elektrik sahəsinin təsiri ilə yarımkeçiricidə yükdaşıyıcıların sıxlığının modulyasiyasında

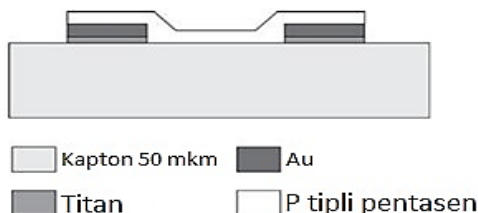
Mis-ftalosiamin (CuPc – p tip) və florlu mis-ftalosiamin (F₁₆CuPc – n tip) üzvi sahə effektiv tranzistorların (ÜST-ların) hazırlanmasında geniş istifadə olunan, uyğun olaraq arzuolunan yük yüyürüklüyünə və ekoloji cəhətdən stabil olan digər tip mikro-molekullu birləşməli materiallardır. Otaq temperaturunda qeyd edilən üzvi yarımqəçiricilər temperaturdan asılı deyil. Aktivləşmə enerjiləri (E_a) müvafiq olaraq 73 meV və 39 meV təşkil edir [14,15]. Bu göstəricilər pentasenin aktivləşmə enerjisinə nisbətən yaxındır. Buna görə də, belə materiallara əsaslanan və doyma rejimində işləyən ÜST-larının I_{MM} cərəyanının dəyişməsi otaq temperaturunda baş vermir, yəni belə sensorlar otaq temperaturunda çıxışda faydalı siqnalın alınması üçün uyğun deyil. Aparılmış tədqiqatlar göstərmişdir ki, CuPc və F₁₆CuPc materiallarında dəşik (μ_d) və elektronların (μ_e) yürüklüyü temperatur artdıqca müvafiq olaraq 1%/°C və 0.1%/°C göstəriciləri ilə artır. Bu əsasən 25–90 °C temperatur intervalında müşahidə olunur. Digər tərəfdən, CuPc üçün hədd gərginliyi (V_a) –7.6 V-dan –1.8 V-a qədər mənfi qiymət intervalında artma istiqamətində dəyişir. Müsbət temperatur əmsalı buna xarakterikdir. n-tipli F₁₆CuPc əsaslı ÜST-da isə astana gərginliyi (V_a) mənfi istiqamətdə

dəyişərək -9.9 V-dan -26.4 V-ə qədər azalır və bu dəyişmə hər 1 °C temperatur artımı üçün -0.25 V təşkil edir [16]. Mənfi temperatur əmsalı isə buna xarakterik sayılır. Nəticə etibarilə, $F_{16}CuPc$ əsaslı cihazın $CuPc$ əsaslı cihazla müqayisədə daha yüksək temperatur həssaslığına malik olduğunu göstərmək olar (şəkil 2). Ümumiyyətlə, iki yarımkeçirici materialda ilkin gərginliyin dəyişmə istiqamətlərinin müxtəlifliyi və həssaslıqların fərqli olması, yarımkeçirici ilə dielektrik təbəqə arasındakı fərqli potensial baryerlərin mövcudluğu ilə izah olunur.



Şəkil 2. $F_{16}CuPc$ mürəkkəb yarımkeçirici əsaslı temperatur sensorunun altlıq strukturu

ÜST əsaslı tenzometrik sensorlar. Müasir dövrdə həssas təbəqəsi (rezistiv) üzvi yarımkeçiricilər əsasında hazırlanmış tenzometrik tipli sensorlar xüsusi diqqət cəlb etmiş, müəyyən zaman ərzində geniş tədqiqatların aparılmasında böyük maraq doğurmuşdur [17]. Sözsüz ki, ənənəvi gərilmə ölçən cihazlar çox zaman yüksək Yunq modullu qeyri-üzvi yarımkeçiricilər və ya metallar üzərində qurulur. Lakin elastiki polimer altlıqla həssas təbəqə arasında sərtlik fərqi, zamanla altlığın arzuolunmaz deformasiyasına səbəb olur. Təkrarən baş verən yüksək səviyyəli deformasiyalar altlığı plastik deformasiyaya uğradır ki, bu da cihazın funksional xüsusiyyətlərini zəiflədir. Bundan əlavə, ənənəvi sensor strukturlarında yüksək Yunq modullu qeyri-üzvi yarımkeçirici və ya metal elementdə yaranan mexaniki gərginlik, aşağı Yunq modullu polimer altlıqda mövcud olan mexaniki gərginliklə üst-üstə düşür. Bu da öz növbəsində, ölçmələrin dəqiqliyinin azalmasına gətirib çıxarır. Bu problemlərin aradan qaldırılması məqsədilə Yunq modulu təqribən 5 GPa olan üzvi yarımkeçiricilərin sensorun tərkib hissəsi kimi istifadəsi effektiv həll kimi irəli sürülür [18]. Digər tərəfdən, həssas təbəqə kimi seçilmiş üzvi yarımkeçiricilərin aşağı elastiklik modulu altlığın fiziki xüsusiyyətlərinə uyğun olduğu üçün, induksiylanan gərginliyin konsentrasiyasını minimuma endirmək mümkün olur [19]. Bununla belə, sensorun mexaniki sabilliyi, dövrü yüklənmələrə qarşı davamlılığını artmış olur. Şəkil 3-də üzvi yarımkeçirici əsaslı tenzometrik sensorun en kəsikdən görünüşü əyani təsvir edilmişdir:



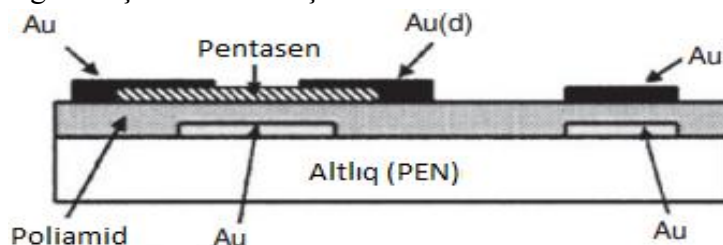
Şəkil 3. Üzvi yarımkeçirici əsaslı tenzometrik sensorun en kəsikdən görünüşü

Sensorun istehsal prosesində ilkin olaraq 50 μm qalınlığında poliamid altlıq üzərinə 2 nm qalınlığında titan əsaslı yapışdırıcı təbəqə, sonra isə 20 nm qalınlığında qızıl (Au) elektrod təbəqəsi termal buxarlanma üsulu ilə çökdürülür. Eyni üsulla 50 nm qalınlığında pentasen yarımkeçirici

təbəqəsi yaradılır. Yarımkəçirici təbəqənin (pentasen) elektrik keçiriciliyini artırmaq və onda p-tipli aşkarlıq xüsusiyyətini generasiya etdirmək üçün, hazırlanma texnologiyasında pentasen-ə 1%-lik ferroxlorid (FeCl_3) sulu məhlulu ilə təsir edilir [16]. Bütün texnoloji mərhələlərdə temperaturun maksimal həddi 110°C -dən artıq olmur. Bu da polimer əsaslı elastik altlıqların termal stabilliyini qorumağa imkan verir.

Hazırlanan sensorların mexaniki və elektrik performansı körpü konfigurasiyası vasitəsilə sınaqdan keçirilir. Sınaq əsasən, aşağı temperaturalarda, aşağı Yung moduluna malik altlıqlar üzərində eyni mexaniki xüsusiyyətlərə malik olan üzvi yarımkəçiricilər əsasında tenzometrik sensorların işlənilib hazırlanması məqsədini daşıyır.

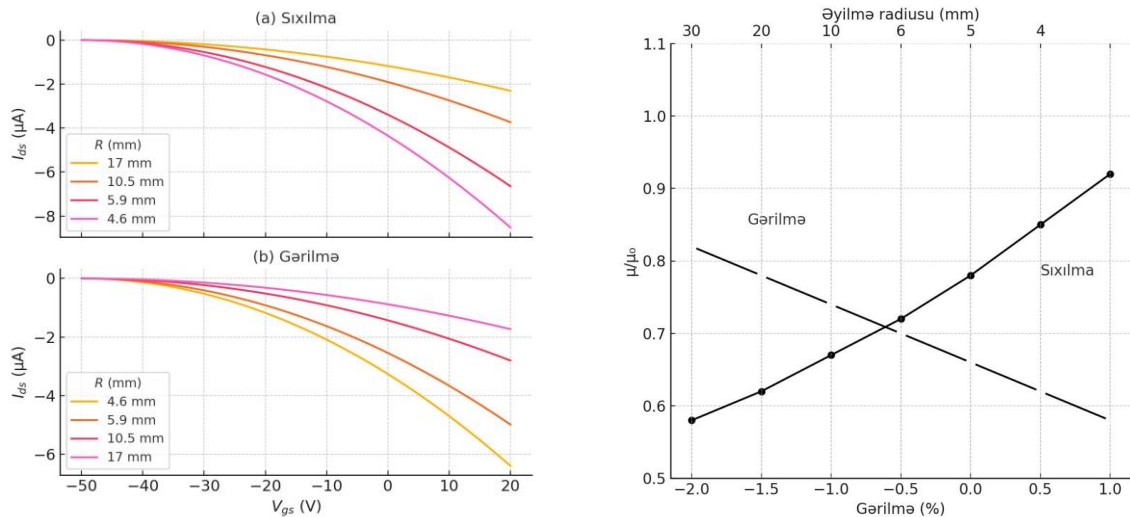
Digər tip tenzometrik sensorlar pentasen tərkibli üzvi sahə tranzistorları əsasında qurulur. Belə tip strukturlarda elastik altlıqlara tətbiq olunan gərginlikdən asılı olaraq, əyilmə radiusunu sistemli şəkildə dəyişməklə, tranzistorun elektrik parametrlərində baş verən dəyişiklikləri tədqiq etmək mümkün olur. Qeyd etmək lazımdır ki, yeni nəsil elastik elektron qurğuların layihələndirilməsində və etibarlılığının təmin olunmasında ÜST əsaslı tenzometrik sensorlar həlledici rol oynayır. Şəkil 4-də cihazın en kəsikdən görünüşü əks olunmuşdur.



Şəkil 4. ÜST əsaslı tenzometrik sensorun en kəsikdən görünüşü

Sensorun hazırlanma texnologiyasına gəlinə, ilkin olaraq $125\ \mu\text{m}$ qalınlığında polietilen-naftalat (PEN) əsaslı altlığın üzərinə vakuum buxarlanması üsulu ilə $5\ \text{nm}$ qalınlığında xrom (Xr) yapışdırıcı qatı, daha sonra isə rəzə elektrodunu formalaşdırmaq üçün $100\ \text{nm}$ qalınlığında qızıl (Au) təbəqəsi çökdürülür. Duru məhlul şəklində olan poliamid fırlanan mexanizimlər vasitəsilə səthə yayılır və qalınlığı təxminən $900\ \text{nm}$ olan, rəzə elektrodu ilə yarımkəçirici təbəqə arasında izolyasiya funksiyasını yerinə yetirən yüksək keyfiyyətli dielektrik təbəqə əldə etmək üçün 180°C -də qurudulur [16]. Aktiv yarımkəçirici təbəqə kimi istifadə olunan pentasen materialı $50\ \text{nm}$ qalınlığında olmaqla, yüksək vakuum şəraitində sublimasiya prosesi vasitəsilə altlığın üzərinə çökdürülür. Bu texnologiya pentasenin əvvəlcə bərk haldan birbaşa buxar fazasına keçərək səthdə homogen və yüksək kristal keyfiyyətə malik nazik təbəqə şəklində çökməsini təmin edir. Sonra isə tranzistorun elektrik kontaktlarını təşkil edən mənbə və mənsəb elektrodları $60\ \text{nm}$ qalınlığında qızıl (Au) metalı əsasında formalaşdırılır. Bu metal təbəqələr “Delta” texnologiyası vasitəsilə buxarlandırılaraq müəyyən olunmuş sahələrə çökdürülür. Bu mərhələ ilə birlikdə, üzvi sahə tranzistor (ÜST) quruluşunun əsas funksional komponentləri tam şəkildə formalaşdırılmış olur.

Sensor mexaniki deformasiyaya və yaxud gərginliyə məruz qaldıqda, kanalın eni və uzunluğu, dielektrik təbəqəsinin qalınlığı dəyişir, mənsəb cərəyanı isə kəskin artır. Həmçinin belə tip xarici təsirlər zamanı yükdaşıyıcıların yürüklük qabiliyyəti monoton olaraq artır (şəkil 5).



Şəkil 5. Sıxılma və gərilməyə məruz qaldıqda yürüklük qabiliyyətinin və tranzistorun elektrik parametrlərinin dəyişməsi

Nəticə. Üzvi sahə transistorlarına (ÜST) əsaslanan temperatur və tenzometrik sensorlar müasir dövrün elastiki elektronikasında çoxşaxəli və güclü platforma kimi çıxış edir. Məqalədə elastik altlıqlar üzərində üzvi sahə effektiv tranzistorları (ÜST) əsasında qurulmuş temperatur və tenzometrik sensorların strukturu, funksional komponentləri və iş prinsipləri sistemli şəkildə araşdırılmışdır. Aparılan təhlillər göstərmişdir ki, mikro-molekullu üzvi yarımqeçiricilərdən – o cümlədən pentasən, CuPc və $F_{16}CuPc$ – istifadə olunmaqla hazırlanmış bu sensorlar yüksək elastikliyə, aşağı histerezisə, yüksək siqnal-küy nisbətinə və mexaniki gərginliyə qarşı yüksək davamlılığa malikdir. Bu xüsusiyyətlər sayəsində ÜST əsaslı qurğular təkcə funksional siqnal emalı üçün deyil, eyni zamanda müasir tibbi diaqnostikada, elastiki elektron sistemlərdə və ağıllı sensor şəbəkələrində etibarlı texnoloji baza kimi çıxış edir.

Yüksək temperaturlara qarşı həssaslığı ($0-180\text{ }^{\circ}\text{C}$ diapazonunda), buna müvafiq olaraq cərəyanın minimum həddə dəyişməsi ($10^{-10}-10^{-8}\text{ A}$) və daxili siqnal gücləndirmə qabiliyyəti, bu cihazların mürəkkəb xarici sxemlərə ehtiyac olmadan səmərəli şəkildə işləməsinə imkan verir. Həmçinin aşağı temperaturalarda istehsal prosesi altlıqların struktur bütövlüyünü qoruyur və cihazların elastikliyinə artırır.

Müsbət inkişaf dinamikasında tədqiqatların davam etdirilməsi üçün aşağıdakı təklifləri vermək olar:

1. Yeni materialların sintezi – Yüksək yük yürüklüyünə və ekoloji cəhətdən stabil olan innovativ üzvi yarımqeçiricilərin işlənilib hazırlanması, xüsusilə DPP, BT və izoindigo əsaslı kiçik molekullu və DPP-DTT, N2200 kimi konyuqə edilmiş polimerlərin sintezi, həm p-tip, həm də n-tip tranzistorlarda yüksək performans əldə olunmasına imkan yarada bilər.

2. Çoxfunksiyalı sistemlərin inteqrasiyası – Müxtəlif fiziki parametrləri eyni anda aşkar edə bilən sensor platformalarının layihələndirilməsi. Bu məqsədlə temperatur, gərginlik, rütubət və kimyəvi analiz üçün müxtəlif yarımqeçirici qatların kombinasiyası ilə birləşdirilmiş sensor matrisləri hazırlanaraq, kompleks və real vaxt monitoring sistemləri formalaşdırıla bilər.

ƏDƏBİYYAT

1. Səmidov, A. (2025, May 23). Rəqəmsal Tibb 4.0 mühitində təcili tibbi yardım xidməti: çağırışlar, imkanlar və perspektivlər. “Rəqəmsal tibb 4.0: problemlər, imkanlar və perspektivlər” II respublika elmi-praktiki konfransı, Bakı, Azərbaycan, 254–257. <https://doi.org/10.25045/SPCDH4.0.2025.53>
2. Zeynalova, Ş. H., Mustafayev, M. M. (2025). Polianilin-tərkat karbon nanoboru əsaslı hibrid qaz sensorunun sintezi və xarakteristikaları. Elmi Məcmuə, Milli Aviasiya Akademiyası, 27(2), 19-30. <https://doi.org/10.30546/EMNAA.2025.27.02.210>
3. Harada, S.; Kanao, K.; Yamamoto, Y.; Arie, T.; Akita, S.; Takei, K. Fully Printed Flexible Fingerprint-like Three-Axis Tactile and Slip Force and Temperature Sensors for Artificial Skin. ACS Nano 2014, 8, 12851–12857.
4. Kanao, K.; Harada, S.; Yamamoto, Y.; Honda, W.; Arie, T.; Akita, S.; Takei, K. Highly Selective Flexible Tactile Strain and Temperature Sensors against Substrate Bending for an Artificial Skin. RSC Adv. 2015, 5, 30170–30174.
5. Mansoor, M.; Haneef, I.; Akhtar, S.; De Luca, A.; Udrea, F. Silicon Diode Temperature Sensors - A Review of Applications. Sens. Actuators A Phys. 2015, 232, 63–74.
6. Baeg, K.-J.; Noh, Y.-Y.; Ghim, J.; Kang, S.-J.; Lee, H.; Kim, D.-Y. Organic Non-Volatile Memory Based on Pentacene Field-Effect Transistors Using a Polymeric Gate Electret. Adv. Mater. 2006, 18, 3179–3183.
7. Schroeder, R.; Majewski, L.A.; Grell, M. A Study of the Threshold Voltage in Pentacene Organic Field-Effect Transistors. Appl. Phys. Lett. 2003, 83, 3201–3203.
8. Shi, W.; Yu, J.; Katz, H.E. Sensitive and Selective Pentacene-Guanine Field-Effect Transistor Sensing of Nitrogen Dioxide and Interferent Vapor Analytes. Sens. Actuators B Chem. 2018, 254, 940–948.
9. Wang, Y.; Kang, L.; Liu, Z.; Wan, Z.; Yin, J.; Gao, X.; Xia, Y.; Liu, Z. Enhancement of Memory Properties of Pentacene Field-Effect Transistor by the Reconstruction of an Inner Vertical Electric Field with an n-Type Semiconductor Interlayer. ACS Appl. Mater. Interfaces 2021, 13, 13452–13458.
10. Jung, S.; Ji, T.; Varadan, V.K. Point-of-Care Temperature and Respiration Monitoring Sensors for Smart Fabric Applications. Smart Mater. Struct. 2006, 15, 1872–1876.
11. Polena, J.; Afzal, D.; Ngai, J.H.L.; Li, Y. Temperature Sensors Based on Organic Field-Effect Transistors. Chemosensors 2022, 10, 12. <https://doi.org/10.3390/>
12. Sharma, A., Sreenivas, K., Gupta, V., & Mansingh, A. (2008). Temperature-dependent characteristics of pentacene thin-film transistors with polymeric gate dielectric. Organic Electronics, 9(2), 217–222. <https://doi.org/10.1016/j.orgel.2007.11.002>
13. Jung, S.; Ji, T.; Varadan, V.K. Temperature Sensor Using Thermal Transport Properties in the Subthreshold Regime of an Organic Thin Film Transistor. Appl. Phys. Lett. 2007, 90, 062105.
14. Kwak, T.H.; Kang, H.S.; Kim, K.; Cho, M.Y.; Lee, J.W.; Joo, J. Copper-Phthalocyanine Based Organic Thin Film Transistor. In proceedings of the 2006 IEEE Nanotechnology Materials and Devices Conference, Gyeongju, Korea, 22–25 October 2006; pp. 630–631.

- Ye, R.; Baba, M.; Ohishi, Y.; Mori, K.; Suzuki, K. On the Correlation between Morphology and Electronic Properties of Fluorinated Copper Phthalocyanine (F16CuPc) Thin Films. *Mol. Cryst. Liq. Cryst.* 2006, 444, 203–210
15. Shinar, R., & Shinar, J. (2009). *Organic electronics in sensors and biotechnology*. McGraw-Hill Professional.
16. S. Jung and T. Jackson, *Dev. Res. Conf. Digest, IEEE*, 1:149 (2005).
17. Shinar, R., & Shinar, J. (Eds.). (2009). *Organic electronics in sensors and biotechnology*. McGraw-Hill Professional. ISBN 978-0-07-159676-3
18. T. Sekitani, Y. Kato, S. Iba, H. Shinaoka, T. Someya, T. Sakurai, and S. Takagi, *Appl. Phys. Lett.*, 86:073511 (2005).
- 19.

REFERENCES

1. Səmidov, A. (2025, May 23). Rəqəmsal Tibb 4.0 mühitində təcili tibbi yardım xidməti: çağırışlar, imkanlar və perspektivlər. “Rəqəmsal tibb 4.0: problemlər, imkanlar və perspektivlər” II respublika elmi-praktiki konfransı, Bakı, Azərbaycan, 254–257. <https://doi.org/10.25045/SPCDH4.0.2025.53>
2. Zeynalova, Ş. H., Mustafayev, M. M. (2025). Polianilin-təkqat karbon nanoboru əsaslı hibrid qaz sensorunun sintezi və xarakteristikaları. *Elmi Məcmuə, Milli Aviasiya Akademiyası*, 27(2), 19-30. <https://doi.org/10.30546/EMNAA.2025.27.02.210>
3. Harada, S.; Kanao, K.; Yamamoto, Y.; Arie, T.; Akita, S.; Takei, K. Fully Printed Flexible Fingerprint-like Three-Axis Tactile and Slip Force and Temperature Sensors for Artificial Skin. *ACS Nano* 2014, 8, 12851–12857.
4. Kanao, K.; Harada, S.; Yamamoto, Y.; Honda, W.; Arie, T.; Akita, S.; Takei, K. Highly Selective Flexible Tactile Strain and Temperature Sensors against Substrate Bending for an Artificial Skin. *RSC Adv.* 2015, 5, 30170–30174.
5. Mansoor, M.; Haneef, I.; Akhtar, S.; De Luca, A.; Udrea, F. Silicon Diode Temperature Sensors - A Review of Applications. *Sens. Actuators A Phys.* 2015, 232, 63–74.
6. Baeg, K.-J.; Noh, Y.-Y.; Ghim, J.; Kang, S.-J.; Lee, H.; Kim, D.-Y. Organic Non-Volatile Memory Based on Pentacene Field-Effect Transistors Using a Polymeric Gate Electret. *Adv. Mater.* 2006, 18, 3179–3183.
7. Schroeder, R.; Majewski, L.A.; Grell, M. A Study of the Threshold Voltage in Pentacene Organic Field-Effect Transistors. *Appl. Phys. Lett.* 2003, 83, 3201–3203.
8. Shi, W.; Yu, J.; Katz, H.E. Sensitive and Selective Pentacene-Guanine Field-Effect Transistor Sensing of Nitrogen Dioxide and Interferent Vapor Analytes. *Sens. Actuators B Chem.* 2018, 254, 940–948.
9. Wang, Y.; Kang, L.; Liu, Z.; Wan, Z.; Yin, J.; Gao, X.; Xia, Y.; Liu, Z. Enhancement of Memory Properties of Pentacene Field-Effect Transistor by the Reconstruction of an Inner Vertical Electric Field with an n-Type Semiconductor Interlayer. *ACS Appl. Mater. Interfaces* 2021, 13, 13452–13458.
10. Jung, S.; Ji, T.; Varadan, V.K. Point-of-Care Temperature and Respiration Monitoring Sensors for Smart Fabric Applications. *Smart Mater. Struct.* 2006, 15, 1872–1876.

11. Polena, J.; Afzal, D.; Ngai, J.H.L.; Li, Y. Temperature Sensors Based on Organic Field-Effect Transistors. *Chemosensors* 2022, 10, 12. <https://doi.org/10.3390/>
12. Sharma, A., Sreenivas, K., Gupta, V., & Mansingh, A. (2008). Temperature-dependent characteristics of pentacene thin-film transistors with polymeric gate dielectric. *Organic Electronics*, 9(2), 217–222. <https://doi.org/10.1016/j.orgel.2007.11.002>
13. Jung, S.; Ji, T.; Varadan, V.K. Temperature Sensor Using Thermal Transport Properties in the Subthreshold Regime of an Organic Thin Film Transistor. *Appl. Phys. Lett.* 2007, 90, 062105.
14. Kwak, T.H.; Kang, H.S.; Kim, K.; Cho, M.Y.; Lee, J.W.; Joo, J. Copper-Phthalocyanine Based Organic Thin Film Transistor. In proceedings of the 2006 IEEE Nanotechnology Materials and Devices Conference, Gyeongju, Korea, 22–25 October 2006; pp. 630–631.
15. Ye, R.; Baba, M.; Ohishi, Y.; Mori, K.; Suzuki, K. On the Correlation between Morphology and Electronic Properties of Fluorinated Copper Phthalocyanine (F16CuPc) Thin Films. *Mol. Cryst. Liq. Cryst.* 2006, 444, 203–210
16. Shinar, R., & Shinar, J. (2009). *Organic electronics in sensors and biotechnology*. McGraw-Hill Professional.
17. S. Jung and T. Jackson, *Dev. Res. Conf. Digest, IEEE*, 1:149 (2005).
18. Shinar, R., & Shinar, J. (Eds.). (2009). *Organic electronics in sensors and biotechnology*. McGraw-Hill Professional. ISBN 978-0-07-159676-3
19. T. Sekitani, Y. Kato, S. Iba, H. Shinaoka, T. Someya, T. Sakurai, and S. Takagi, *Appl. Phys. Lett.*, 86:073511 (2005).

MODERN SENSORS BASED ON ORGANIC SEMICONDUCTOR FIELD-EFFECT TRANSISTORS

Zeynalova Sh.H., Mustafayev M.M.
National Aviation Academy

The future development of sensor technologies is guided by key criteria such as mobility, functionality, and precision. In this context, organic field-effect transistors (OFETs) have become a focal point of modern research, offering broad application potential in flexible electronics. This study systematically examines the structure, composition, and operating principles of temperature and strain sensors based on OFETs. The influence of organic semiconductors such as pentacene, CuPc, and F16CuPc on device performance is analyzed. These sensors exhibit high thermal stability within 0 – 180 °C, demonstrating robustness and reliability under sustained thermal conditions. As temperature rises, threshold-voltage shifts and variations in charge-carrier mobility produce noticeable output changes, reflecting the intrinsic sensitivity of organic layers to interfacial polarization and trap-state modulation. OFET-based strain sensors further display superior resistance to mechanical deformation and cyclic loading compared with conventional devices. Their structural elasticity ensures long-term operation under repetitive stress, maintaining electrical integrity essential for aerospace and wearable applications. The synergistic design of semiconductor and dielectric layers enhances response speed and signal-to-noise ratio, while low-temperature fabrication preserves the uniform structure of polymer substrates. Together, these characteristics establish OFET-based sensors as compact, sustainable, and integrable platforms bridging materials

science and intelligent diagnostics. Overall, they provide durable, efficient solutions with strong potential for next-generation medical and adaptive electronic systems.

Keywords: *threshold voltage, strain sensor, temperature sensor, organic semiconductor, flexible, organic field-effect transistor (OFET), small-molecule compound, charge carrier mobility*

Müəlliflər haqqında məlumat

Soyadı, adı, atasının adı	İş yeri	Vəzifəsi, elmi dərəcəsi, elmi adı	Əlaqə
Zeynalova Şəhla Hamlet qızı	Milli Aviasiya Akademiyası	“Aerokosmik cihazlar” kafedrası, t.f.d., dos.	shzeynalova@naa.edu.az mob: (+994) 51 355-55-06
Mustafayev Mirsədi Mirqoşun oğlu	Milli Aviasiya Akademiyası	Doktorant	mirsedimustafayev@gmail.com mob: (+994) 50 961-21-69

TƏDRİSİN METODİKASI

UOT372.8:355

DOI:10.30546/EMNAA.2025.25.04.426

AZƏRBAYCANDA ALİ HƏRBİ TƏHSİLİN NƏZƏRİ VƏ METODOLOJİ ƏSASLARI SAHƏSİNDƏ STANDARTLARIN HAZIRLANMASI

Məmmədzadə M.Ə.

Azərbaycan İdman Akademiyası

Azərbaycanda ali hərbi təhsilin inkişafı ölkənin müdafiə qabiliyyətinin gücləndirilməsi və beynəlxalq təhlükəsizlik sistemlərinə integrasiyası baxımından strateji əhəmiyyətə malikdir. Bu məqalədə ali hərbi təhsilin nəzəri və metodoloji əsasları kontekstində milli təhsil standartlarının hazırlanması zərurəti araşdırılmışdır. Məlum olmuşdur ki, mövcud hərbi tədris proqramları və təlim strukturları müxtəlif dövlət sənədlərinə və praktiki tələblərə əsaslansa da, onların elmi-metodoloji baxımdan vahid sistem halında tərtib olunmaması ali hərbi təhsildə keyfiyyətin və səmərəliliyin artırılmasına mane olur.

Tədqiqat göstərir ki, nəzəri çərçivənin – xüsusilə hərbi pedaqogika, sərəştə əsaslı təlim və strateji planlaşdırma kimi sahələrin – ali hərbi təhsil sistemində strukturlaşdırılmış şəkildə tətbiqi təlimin effektivliyini yüksəldə bilər. Eyni zamanda, beynəlxalq təcrübənin, xüsusilə NATO və Bolonya sistemi çərçivəsində formalaşmış təhsil standartlarının lokal şəraitə uyğunlaşdırılması tədris proqramlarının global standartlara cavab verməsinə şərait yarada bilər. Azərbaycan bu baxımdan müəyyən addımlar atsa da, hazırkı mərhələdə tədris nəticələrinin qiymətləndirilməsi, təlimin modulyar qurulması, müəllim hazırlığı və elmi tədqiqatların tədrisə integrasiyası sahələrində müəyyən boşluqlar müşahidə olunur.

Məqalədə vurğulanır ki, ali hərbi təhsil üçün milli standartların hazırlanması yalnız tədris proqramlarının vahid şəkildə normalaşdırılmasını deyil, həm də təlimin nəzəri və metodoloji təminatının gücləndirilməsini ehtiva etməlidir. Bunun üçün metodoloji işçi qruplarının yaradılması, beynəlxalq ekspertiza ilə əməkdaşlıq, müasir qiymətləndirmə mexanizmlərinin tətbiqi və müəllim heyətinin peşəkarlığının artırılması tövsiyə olunur. Həmçinin, elmi tədqiqatların tətbiqinə və innovativ texnologiyaların təlim prosesinə integrasiyasına xüsusi önəm verilməlidir.

Nəticə etibarilə, sistemli və nəzəri cəhətdən əsaslandırılmış təhsil standartları Azərbaycanda ali hərbi təhsilin keyfiyyətini yüksəltməklə, həm də strateji səviyyədə milli təhlükəsizlik və müdafiə sahəsində insan resurslarının dayanıqlı şəkildə formalaşmasına şərait yaradacaqdır. Məqalə bu sahədə aparılacaq islahatların elmi əsaslarını təqdim etməklə yanaşı, praktik mexanizmləri də təklif edir.

Açar sözlər: *Ali hərbi təhsil, təhsil standartları, metodoloji əsaslar, hərbi pedaqogika, sərəştə əsaslı təlim, bolonya prosesi, müdafiə strategiyası, tədris proqramları, qiymətləndirmə sistemi.*

Giriş

Müasir dövrdə milli təhlükəsizlik və hərbi strategiyanın effektivliyi, birbaşa ali hərbi təhsilin səviyyəsi ilə bağlıdır. Hərbi təhsil yalnız taktiki və texniki biliklərin ötürülməsi ilə məhdudlaşmır, həm də strateji düşüncə tərzinin, liderlik bacarıqlarının və milli ideoloji dəyərlərin formalaşmasında əsaslı rol oynayır [1]. Qlobal təhlükəsizlik çağırışları fonunda Azərbaycan Respublikası Silahlı Qüvvələrinin peşəkar kadr potensialının formalaşdırılması məqsədilə ali hərbi təhsilin nəzəri və metodoloji əsaslarının elmi əsaslarla inkişaf etdirilməsi və bu sahədə vahid standartların müəyyənəndirilməsi aktual elmi və praktiki tələblərdəndir [2].

Araşdırmanın məqsədi – Azərbaycanda ali hərbi təhsilin struktur və məzmun baxımından təhlili, metodoloji çərçivənin və təhsil standartlarının beynəlxalq yanaşmalara uyğunlaşdırılma

səviyyəsinin öyrənilməsi və bu sahədə mövcud boşluqların müəyyənəşdirilməsidir. Xüsusilə, NATO və tərəfdaş ölkələrin (məsələn, Türkiyə) hərbi təhsil modellərinə integrasiya səyləri, kurikulumun döyüş şəraitinə uyğunlaşma dərəcəsi və tədrisin texnologiya ilə integrasiyası kimi aspektlər təhlil olunur [3].

Tədqiqat hərbi təhsil sistemində keyfiyyətin yüksəldilməsi üçün nəzəri modellərin və pedaqoji yanaşmaların tətbiq imkanlarını araşdırmağa yönəlmişdir. Eyni zamanda, beynəlxalq təcrübəyə əsaslanaraq milli təhsil standartlarının yaradılması üçün metodoloji prinsiplərin işlənməsi hədəflənmişdir. Məqalə həm mövcud vəziyyətin analitik qiymətləndirilməsini, həm də inkişaf istiqamətləri üzrə praktik tövsiyələrin verilməsini nəzərdə tutur. Tədqiqat ali hərbi təhsilin modernləşdirilməsi prosesinə elmi əsaslı töhfə verməyi qarşısına məqsəd qoyur.

Metodoloji yanaşma əsasən analitik və müqayisəli təhlil üsullarına əsaslanır. Tədqiqat çərçivəsində həm milli normativ-hüquqi sənədlər – “Təhsil haqqında” Azərbaycan Respublikasının Qanunu (2009), “Hərbi vəzifə və hərbi xidmət haqqında” Qanun (2011), Milli Müdafiə Universitetinin nizamnamələri və əmrləri – həm də beynəlxalq sənədlər və ekspert qiymətləndirmələri əsas kimi götürülmüşdür. Eyni zamanda, pedaqoji və psixoloji tədqiqatlara əsaslanan akademik mənbələr – məsələn, Vygotskinin mədəni-tarixi nəzəriyyəsi və konstruktivist təlim modelləri – metodoloji əsas kimi istifadə olunmuşdur [4].

Məqalədə NATO-nun Müdafiə Təhsilini Genişləndirmə Proqramı (DEEP) çərçivəsində Azərbaycanın ali hərbi təhsil sisteminə tətbiq olunan metodoloji yanaşmalar təhlil edilir. Eyni zamanda, MMU nəzdində aparılan təlim-tədris və təhlil nəticələri əsasında Azərbaycanda hərbi pedaqogika və kurikulumların yenilənməsi istiqamətində həyata keçirilən proseslər araşdırılır [5].

Nəticə etibarilə, bu tədqiqat Azərbaycanda ali hərbi təhsilin strateji inkişafı üçün elmi əsaslara söykənən normativ və metodoloji baza formalaşdırmaq məqsədi daşıyır və bu sahədə yeni yanaşmaların tətbiqinin zəruriliyini ortaya qoyur.

Azərbaycanda ali hərbi təhsilin tarixi inkişafı

Azərbaycan Respublikasında ali hərbi təhsilin formalaşması və inkişafı ölkənin hərbi-strateji maraqları ilə sıx bağlı olmuşdur. Tarixi baxımdan bu sahənin əsasları Sovet İttifaqı dövründə qoyulmuş, lakin müstəqillikdən sonra milli maraqlara uyğun yeni struktur və məzmun çərçivəsində yenidən qurulmuşdur. Belə ki, İkinci Dünya Müharibəsi illərində Azərbaycanda qısamüddətli döyüş hazırlığı kursları təşkil olunurdu. Bakıda və Gəncədə hərbi mühəndislik və texniki hazırlıq kursları açıldı. Bu dövrdə minlərlə azərbaycanlı sovet ordusu sıralarında iştirak edib və onların çoxu zabıt rütbəsi alıb. 123 nəfər Sovet İttifaqı Qəhrəmanı adına layiq görülüb. Müharibədən sonra sovet ordusunun yenidən təşkili ilə Azərbaycan gəncləri SSRİ-nin tanınmış hərbi məktəblərinə (Moskva, Sankt-Peterburq, Odessa və s.) göndərilib. 1960-1970-ci illərdə Azərbaycanın hərbi qulluqçuları SSRİ müdafiə sənayesində və qərargahında mühüm rol oynayırdılar. Sovet Hava Hücumundan Müdafiə Qüvvələrinin tərkibində Bakıda strateji döyüş bazaları yaradıldı. SSRİ-nin son illərində hərbi təhsildə ideologiya zəifləməsi başladı. Azərbaycan gəncləri arasında milli birlik hissləri artmağa başladı. SSRİ-nin dağılması ərəfəsində ordu sıralarında, zabıtlar arasında fikir ayrılıqları yarandı. Bu dövrdə Saratov, Minsk, Odessa, Moskva, Leninqrad Hərbi Akademiyaları – azərbaycanlıların oxuduğu əsas məktəblər idi. Bakı Ali Hərbi Dənizçilik Məktəbi - SSRİ-nin Qafqazda yeganə hərbi dəniz hazırlığı müəssisəsi 1939-cu ildə yaradılmışdı. Bakıda Müharibə Hazırlıq Məktəbləri və texniki kurslar həm ordunun, həm də müdafiə sənayesinin tələblərinə uyğun ixtisaslaşdırılmış hazırlıqlar təşkil edirdi [6].

1991-ci ildən sonra Azərbaycan Ordusunun təşkili ilə yanaşı, kadr təminatı məsələsi də prioritet istiqamət kimi müəyyənəşdirilmişdir. İlk mərhələdə hərbi kadrlar əsasən xarici ölkələrdə, xüsusilə Türkiyə Respublikasında hazırlanmış, bu da ölkənin hərbi təhsil sisteminə NATO standartlarının elementlərini gətirmişdir [7, 8]. 1999-cu ildə yaradılan Heydər Əliyev adına Ali Hərbi Məktəb və digər ixtisaslaşdırılmış təhsil müəssisələri bu prosesin daxilində inkişafını təmin etmişdir.

2022-ci ildə Prezident İlham Əliyevin fərmanı ilə Milli Müdafiə Universitetinin (MMU) yaradılması ali hərbi təhsilin keyfiyyətə yeni mərhələyə keçidini simvolizə etdi. MMU-nun yaradılması ilə bütün hərbi təhsil müəssisələrinin vahid strukturda birləşdirilməsi, koordinasiyalı təlim və tədqiqat mühiti formalaşdırılması məqsəd kimi qoyuldu. Bu yanaşma yalnız strukturun deyil, həm də məzmunun - yəni təlim proqramları, metodoloji baza və qiymətləndirmə meyarlarının standartlaşdırılmasına yönəlib.

Əlavə olaraq, Hərbi Elmi Tədqiqat İnstitutu (HETİ) nəzdində aparılan fundamental və tətbiqi tədqiqatlar ali hərbi təhsilin nəzəri əsaslarının elmi müstəvidə inkişafına xidmət edir. İnstitutun fəaliyyəti həm də müasir hərbi çağırışlara uyğun metodologiyanın hazırlanmasına və yeni təhsil texnologiyalarının tətbiqinə yönəlmişdir.

Beləliklə, Azərbaycanda ali hərbi təhsil sisteminin tarixi inkişafı mərhələli şəkildə Sovet modelindən milli və beynəlxalq yanaşmaların sintezinə doğru inkişaf etmiş, bu proses strateji planlaşdırma, normativ baza və elmi-metodoloji əsaslarla müşayiət olunmuşdur.

Nəzəri və metodoloji əsaslar

Müstəqil və peşəkar silahlı qüvvələrin təşkili, onların idarəetmə və döyüş qabiliyyətinin artırılması ali hərbi təhsilin keyfiyyətindən və məzmunundan birbaşa asılı olmuşdur. Bu baxımdan, ali hərbi təhsil sahəsində nəzəri və metodoloji əsasların elmi şəkildə müəyyən olunması, bu əsasların üzərində qurulmuş standartların hazırlanması müasir hərbi-pedaqoji sistemin dayanıqlılığını təmin edən başlıca amillərdən biri hesab edilir. Həm pedaqoji, həm də strateji baxımdan ali hərbi təhsil sisteminin milli maraqlara uyğunlaşdırılması, onun beynəlxalq hərbi təhsil strukturlarına inteqrasiyası ilə yanaşı, lokal ehtiyaclara cavab verməsi üçün kompleks standartlaşdırma mexanizmləri zəruri olmuşdur.

Ali hərbi təhsildə nəzəri əsaslar dedikdə, hərbi pedaqogikanın fundamental prinsipləri – vətənpərvərlik, intizam, komandanlıq mədəniyyəti, taktiki və strateji təfəkkürün formalaşması – nəzərdə tutulur. Bu prinsiplər hərbi kadr hazırlığında yalnız fənn bilikləri ilə deyil, həm də peşəkar dünyagörüş və davranış modellərinin tədrisi ilə bağlıdır. Müasir hərbi pedaqogika, yalnız klassik didaktikaya əsaslanmır, eyni zamanda interaktiv, layihə əsaslı və fənlərarası yanaşmalarla zənginləşmişdir. Azərbaycanda bu baxışların tətbiqi ilə bağlı ilk metodoloji çərçivə 1990-cı illərin sonlarında Azərbaycan Ali Hərbi Məktəbinin, daha sonra isə Silahlı Qüvvələrin Hərbi Akademiyasının fəaliyyətində müşahidə olunmuşdur. Bu yanaşmaların sistemləşdirilməsi və ümumi tətbiqi üçün vahid tədris standartlarının hazırlanması isə son on ildə prioritet istiqamətə çevrilmişdir.

Ali hərbi təhsil sahəsində metodoloji əsasların formalaşdırılması müasir tədris texnologiyalarının tətbiqinə, təlim-təربiyə prosesinin planlaşdırılması və qiymətləndirilməsinin vahid metodlarla tənzimlənməsinə əsaslanır. Bu sahədə milli təlim metodlarının beynəlxalq sistemlərlə uyğunlaşdırılması məsələsi xüsusilə vacibdir [9]. NATO-nun Təhsil və Təlim üzrə Planlaşdırma Prosesi (ETPP), eləcə də Böyük Britaniya, Türkiyə, Almaniya kimi ölkələrin hərbi akademiyalarında istifadə olunan kurikulum modelləri nümunə olaraq təhlil edilmiş, 2022-ci ildən etibarən Milli Müdafiə Universiteti çərçivəsində bu modellərin bəzi komponentləri tətbiqə keçirilmişdir. Eyni zamanda, bu modellər Azərbaycan hərbi təhsilinin özünəməxsusluğu – lokal təhlükəsizlik konteksti, regional siyasi-coğrafi şərtlər, milli hərbi-doktrinər baxışlar – ilə sintez olunmuşdur.

Standartların hazırlanması prosesində ali hərbi təhsil pillələri üzrə strukturlaşdırılmış yanaşma tətbiq edilir. Bu pillələr – bakalavriat səviyyəsində təməl hərbi biliklər və komandirlik bacarıqları; magistratura səviyyəsində idarəetmə və qərargah fəaliyyəti; doktorantura səviyyəsində isə hərbi-strateji araşdırmalar və hərbi elm sahəsində tədqiqatçılıq fəaliyyətidir. Hər bir pillənin təlim nəticələri, fənn yükləri, metodiki vəsaitləri, qiymətləndirmə meyarları xüsusi standartlar formasında tərtib edilir. Bu sənədlər Azərbaycan Respublikası Müdafiə Nazirliyinin təsdiqlədiyi və NATO STANAG sənədləri ilə əlaqələndirilmiş əsasnamələrə əsaslanır [10]. Tədris proqramlarında tədrisən kompetensiya əsaslı yanaşmaya keçid baş vermiş, təhsilalanların analitik düşünmə, liderlik, kommunikasiya və adaptiv qərarvermə bacarıqları öyrənmə hədəflərinin mərkəzinə çəkilmişdir.

Eyni zamanda, təhsil standartlarının hazırlanmasında informasiya-kommunikasiya texnologiyalarının (İKT) və simulyasiya təlim vasitələrinin tədris prosesinə inteqrasiyası ilə bağlı xüsusi metodoloji sənədlər işlənmişdir. Kompüter dəstəqli təlim, virtual reallıq (VR) və artırılmış reallıq (AR) texnologiyalarının tədrisdə istifadəsi üzrə təlimat kitabçaları, müəllim heyətinin texniki hazırlıq səviyyəsini yüksəltmək üçün peşəkar inkişaf proqramları təşkil edilmişdir [11]. Burada əsas məqsəd ali hərbi təhsilin yalnız nəzəri deyil, real döyüş şəraitinə uyğunlaşdırılmış praktiki istiqamətini gücləndirmək olmuşdur.

Azərbaycanın ali hərbi təhsil sistemində standartların hazırlanması prosesində qarşıya çıxan əsas problemlərdən biri isə vahid normativ və metodoloji bazanın ilkin mərhələdə yetərinə olmaması, pedaqoji kadr ehtiyacının bəzən nəzəri təhlillərlə deyil, empirik yanaşmalarla formalaşdırılması olmuşdur. Bunun qarşısını almaq üçün 2010-cu ildən etibarən “Hərbi təhsildə müasir pedaqoji texnologiyalar” kimi fənlər üzrə metodik vəsaitlər, dərsliklər hazırlanmış, ali məktəb müəllimləri üçün pedaqoji ixtisasartırma kursları tətbiq edilmişdir [12]. NATO ilə təhsil sahəsində əməkdaşlıq çərçivəsində hazırlanmış tövsiyələr də bu sənədlərin əsaslarını təşkil etmişdir.

Müasir dövrdə Azərbaycan Respublikasının təhsil sistemi köklü transformasiya mərhələsindən keçir. Bu transformasiya sadəcə struktur islahatı ilə kifayətlənməyib, həmçinin pedaqoji, metodoloji, texnoloji, iqtisadi və mədəni əsaslarda yenilənmə zərurətini gündəmə gətirmişdir. Cəmiyyətin dəyişən ehtiyacları, qloballaşma proseslərinin təhsilə təsiri, milli-mənəvi dəyərlərin qorunması və eyni zamanda inkişaf etmiş ölkələrin təcrübələrinin adaptasiyası Azərbaycanda təhsilin yeni paradigmasının əsasını təşkil edir. Bu baxımdan təhsil sisteminin yeni strukturunun formalaşdırılması prioritet sahələrdən birinə çevrilmişdir. Yeni struktur ailə-məktəb-ictimaiyyət birliyinə söykənən sosial tərəfdaşlıq modeli üzərində qurulur ki, bu da təlim-tərbiyə prosesinin daha davamlı və funksional şəkildə həyata keçirilməsini təmin edir [12].

Formalaşmaqda olan bu yeni tərbiyə sistemi öz mənbəyini ailə-məktəb-ictimaiyyət birliyindən alır, onun məzmununu milli-mənəvi, ümumbəşəri, dünyəvi-dini mədəniyyət nümunələrinin sintezini təşkil edir, metodoloji və texnoloji dayaqları isə insan-təbiət-cəmiyyət münasibətlərinin harmoniyasına əsaslanır. Bu yanaşma tərbiyə sistemində holistik (bütöv yanaşma) yanaşmanı önə çəkir və təhsilənlərin şəxsiyyət kimi formalaşmasını yalnız bilik əldə etməklə deyil, həm də sosial və ekoloji dəyərlərlə zənginləşdirməklə əlaqələndirir.

Yeni dövrün tələbləri əsasında formalaşdırılan təhsil islahatları çərçivəsində monitoring və qiymətləndirmə sisteminin də yenidən qurulması qaçılmaz olmuşdur. Klassik qiymətləndirmə modellərinin yerinə formativ və summativ yanaşmaları birləşdirən, eyni zamanda şagirdin bilik, bacarıq və səriştələrini əhatəli şəkildə ölçən yeni qiymətləndirmə modelləri hazırlanaraq tətbiq edilməkdədir. Bu modellər nəticəyönümlü təhsilin əsas göstəricilərinin müəyyənəşdirilməsində mühüm rol oynayır.

Innovasiyaların təhsil sahəsinə inteqrasiyası həm də elmi-tədqiqat fəaliyyətini stimullaşdırır. Müxtəlif səviyyəli təhsil müəssisələrində tətbiq olunan yeniliklər təhsil sahəsində tədqiqatların genişlənməsinə səbəb olmuş, bu da təhsil islahatlarının elmi əsaslarla müşayiət olunmasına şərait yaratmışdır [13]. Yeni pedaqoji və təlim texnologiyalarının – rəqəmsal öyrənmə, məsafədən təhsil, interaktiv platformalar, adaptiv öyrənmə alqoritmləri və s. tədris prosesinə tətbiqi nəticəsində tədrisin keyfiyyəti və əlçatanlığı əhəmiyyətli dərəcədə artmışdır.

Təlim və tədris mərkəzlərinin fəaliyyəti

Azərbaycan təhsil sistemi inkişaf etmiş ölkələrin təcrübəsindən yararlanmaqla yanaşı, milli-mənəvi xüsusiyyətləri də nəzərə almağa üstünlük verir. Məsələn, Finlandiya, Yaponiya, Almaniya, Sinqapur və digər ölkələrin təhsil modellərindən götürülən effektiv nümunələr kontekstual yanaşma əsasında adaptasiya olunmuş, Azərbaycanın mədəni və sosial xüsusiyyətləri ilə uzlaşdırılmışdır. Bu yanaşma yerli təhsil ənənələrinin qorunmasını təmin etməklə bərabər, global rəqabətə dayanıqlı təhsil sisteminin formalaşmasına da şərait yaradır.

Təhsilin inkişafı təkcə pedaqoji baxımdan deyil, iqtisadi modelin təkmilləşdirilməsi ilə də müşayiət olunur. Təhsil sisteminin yeni iqtisadi modelinin hazırlanması bu sahəyə sərf olunan vəsaitlərin səmərəli istifadəsinə, təhsil xidmətlərinin dayanıqlılığına və müəllim əməyinin stimullaşdırılmasına yönəlmişdir. Bu çərçivədə maliyyə-autonomiya mexanizmləri, büdcədən kənar resursların cəlb edilməsi və nəticəyə əsaslanan maliyyələşdirmə modelləri aktuallaşmışdır.

Eyni zamanda, yeni məzmunu uyğun integrativ fənn proqramları, dərş vəsaitləri və əyani vəsaitlərin hazırlanması istiqamətində aparılan işlər də təhsil sisteminin məzmun komponentinin yenilənməsini sürətləndirmişdir. Tədris resurslarının tələbə mərkəzli, konstruktivist yanaşmalara əsaslanan formatda tərtib olunması təhsilin humanistləşdirilməsi prosesinə töhfə verir.

İlkin pedaqoji kadr hazırlığı, yenidən hazırlanma və təcrübə keçmə modellərinin təkmilləşdirilməsi müasir müəllim obrazının formalaşması baxımından xüsusi əhəmiyyət daşıyır. Müəllimlərin səriştə əsaslı hazırlanması, kurikulumun tətbiqinə dair praktiki bacarıqlarla silahlandırılması və fasiləsiz peşəkar inkişaf imkanlarının yaradılması təhsilin keyfiyyətinə birbaşa təsir göstərir. Bundan başqa, Azərbaycanda pedaqoji fikir və məktəb tarixinin öyrənilməsi sahəsində də elmi tədqiqatların spektri genişlənməmişdir. Bu sahədə aparılan fundamental və tətbiqi araşdırmalar təhsil ənənələrinin dərk olunmasına, müasir çağırışlara daha məqsədyönlü cavabların formalaşdırılmasına zəmin yaradır. Eyni zamanda, strateji planlaşdırma və təlim-tərbiyə prosesinin keyfiyyət və səmərəliliyinin yüksəldilməsi məqsədilə təhsilin idarə olunması sahəsində də yeni yanaşmalar və idarəetmə modelləri tətbiq olunmağa başlanmışdır. Azərbaycanda təhsil sistemi yalnız texniki və struktur baxımından deyil, həm də nəzəri-metodoloji, pedaqoji və strateji istiqamətlərdə transformasiya prosesindən keçir. Bu prosesin uğurlu olması üçün milli dəyərlərlə beynəlxalq təcrübənin sintezinə əsaslanan kompleks, çoxsəviyyəli və davamlı yenilənmə modeli tətbiq edilməlidir.

Müstəqil dövlətin ən mühüm atributlarından biri olan güclü və peşəkar Silahlı Qüvvələrin təşkili prosesi hərbi elmin və təhsil sisteminin institusional inkişafı ilə sıx bağlıdır. Hərbi təhsil və elmi fəaliyyət Azərbaycan Respublikasının milli təhlükəsizlik konsepsiyasının tərkib hissəsi olaraq yalnız praktiki döyüş qabiliyyətinin artırılması məqsədini daşımır, eyni zamanda hərbi idarəetmənin, strateji planlaşdırmanın və vətənpərvərlik ideologiyasının elmi əsaslarını formalaşdırır [14]. Bu baxımdan, hərbi elm və təhsil sistemi həm də dövlətin müdafiə siyasətinin əsas strateji istiqamətlərindən biri kimi çıxış edir.

Azərbaycan Ordusunun müasir mərhələdəki inkişaf trayektoriyası hərbi təhsildə köklü islahatların aparılmasını zəruri etmişdir. İkinci Qarabağ müharibəsində əldə olunan parlaq qələbədən sonra hərbi sahədə ümumi struktur dəyişikliyi ilə yanaşı, təhsil və elmi fəaliyyətin yeni mərhələyə qədəm qoyması üçün hüquqi və təşkilati baza formalaşdırılmışdır. Bu kontekstdə Azərbaycan Respublikasının Prezidenti İlham Əliyevin 5 mart 2022-ci il tarixli 1626 nömrəli Fərmanı ilə yaradılan Milli Müdafiə Universiteti, ölkədə hərbi təhsilin vahid və müasir idarəetmə sisteminə əsaslanan struktur çərçivəsinə çevrilmişdir. Bu universitet ali və orta ixtisas təhsil səviyyələrində hərbi mütəxəssislərin hazırlanması, elmi-tədqiqat işlərinin təşkili və fundamental biliklərə əsaslanan pedaqoji fəaliyyətin həyata keçirilməsi istiqamətində fəaliyyət göstərir.

Milli Müdafiə Universiteti xüsusi təyinatlı təhsil müəssisələrinin, tədris mərkəzlərinin və elmi-tədqiqat institutlarının şəbəkəsini əhatə edir. Universitetin fəaliyyət spektri təhsil, tərbiyə, metodika, elmi-tədqiqat və nəşriyyat işlərini əhatə etməklə genişdir. Bu sistem çərçivəsində təhsilin pilləli və ardıcıl inkişaf modeli qurulmuşdur: tam orta təhsildən (Cəmsid Naxçıvanski və Heydər Əliyev adına hərbi liseylər), peşə ixtisas təhsilindən (Təlim və Tədris Mərkəzində gizir hazırlığı), orta ixtisas təhsilindən (Bakı Hərbi Kolleci, Naxçıvan Hərbi Kolleci və Gəncə Hərbi Kolleci), ali təhsilin bakalavr (Heydər Əliyev adına Hərbi İnstitut, Azərbaycan Tibb Universitetinin Hərbi tibb fakültəsi), magistr (Hərbi İdarəetmə İnstitutu) və doktorantura (Hərbi Elmi Tədqiqat İnstitutu) səviyyələrinə qədər strukturlaşdırılmış təhsil modeli formalaşdırılmışdır.

Bu təhsil sisteminin əsas məqsədi yüksək intellektual və vətənpərvər zabıt, gizir və digər hərbi qulluqçuların hazırlanması, onların müasir hərbi texnologiyalar və idarəetmə bacarıqları ilə təchiz

olunması, sistemli və fasiləsiz peşəkar inkişafının təmin edilməsidir. Hərbi təhsil eyni zamanda zabitlərin milli-mənəvi dəyərlərə bağlılıq, analitik təfəkkür və döyüş qabiliyyətinin inkişafı kimi şəxsi keyfiyyətlərini də formalaşdırmağı qarşısına məqsəd qoyur. Təlim prosesi yalnız nəzəri biliklərin verilməsi ilə deyil, eyni zamanda döyüş hazırlığının praktik komponentləri ilə müşayiət olunur.

Hərbi təhsilin idarə olunması və hüquqi əsasları "Təhsil haqqında" və "Elm haqqında" Azərbaycan Respublikası qanunları, Silahlı Qüvvələrin daxili nizamnamələri və müvafiq normativ aktlarla tənzimlənir. Bu sənədlər təhsilənlərin və heyətin hüquq və vəzifələrini, tədrisin planlaşdırılması, qiymətləndirilməsi, elmi tədqiqatların təşkili və akademik prosesin keyfiyyət təminatını müəyyənləşdirir. Qeyd etmək lazımdır ki, Azərbaycanda hərbi təhsilin təməlləri hələ sovet dövründən qoyulmuş, ulu öndər Heydər Əliyevin təşəbbüsü ilə 1971-ci ildə Cəmişid Naxçıvanski adına Hərbi Məktəbin yaradılması, azərbaycanlı gənclərin Bakı Ali Ümumqoşun və Dənizçilik Məktəblərində oxuması üçün xüsusi kvotaların ayrılması bu istiqamətdə dönüş nöqtəsi olmuşdur. Müstəqillik dövründə isə 1997–2001-ci illər arasında Hərbi Akademiyanın, Təlim-Tədris Mərkəzinin, Hərbi Tibb Fakültəsinin və digər tədris qurumlarının yaradılması müasir hərbi təhsilin struktur əsaslarını formalaşdırmışdır [15-18]. Azərbaycan Respublikasının Prezidenti İlham Əliyevin rəhbərliyi ilə bu gün təhsil sahəsinə xüsusi diqqət ayrılır. Dövlət büdcəsindən təhsilə ayrılan vəsaitin miqdarı, həyata keçirilən normativ hüquqi aktlar və struktur islahatları bunu təsdiq edir. Prezidentin "Təhsil bizim gələcəyimizdir" fikri yalnız ümumi təhsil sisteminə deyil, eyni zamanda hərbi təhsilə də şamil edilir. Bu siyasi iradə nəticəsində Azərbaycan Ordusunun döyüş hazırlığı və elmi-pedaqoji potensialı güclənmiş, təhsilənlərin və hərbi heyətin peşəkarlığı və sadıqlığı daha yüksək səviyyəyə qalxmışdır. Azərbaycan Ordusunun hərbi elm və təhsil sistemi müasir tələblərə cavab verən, pilləli, kompleks və strateji əsaslara söykənən bir model üzərində qurulmuşdur. Bu model yalnız kadr hazırlığı deyil, eyni zamanda dövlətin müdafiə qabiliyyətinin elmi əsaslarla təmin olunmasına yönəlmişdir. Gələcək inkişaf mərhələlərində bu sistemin beynəlmilləşməsi, elmi araşdırmaların gücləndirilməsi və innovativ təlim texnologiyalarının tətbiqi hərbi təhsilin davamlı inkişafını təmin edəcəkdir.

Nəticə

Azərbaycanda ali hərbi təhsilin nəzəri və metodoloji əsaslarının elmi yanaşmalarla sistemləşdirilməsi və onların üzərində qurulmuş standartların hazırlanması prosesi davam edən, lakin artıq dayanıqlı struktur qazanmış bir istiqamətdir. Bu standartlar həm tədrisin məzmununa, həm təlim metodikasına, həm də keyfiyyət təminatı sisteminə təsir göstərməkdədir. Gələcəkdə bu istiqamətdə görülməli işlər – təhsilin beynəlmilləşməsi, elmi tədqiqatlarla integrasiyası və davamlı monitoring mexanizmlərinin qurulması – ali hərbi təhsilin milli təhlükəsizlik strategiyasının aparıcı elementi kimi inkişafını təmin edəcəkdir.

Azərbaycanda ali hərbi təhsilin strukturlaşdırılmış və sistemli inkişafı ölkənin müdafiə qabiliyyətinin möhkəmləndirilməsi, regional təhlükəsizlikdə davamlı iştirak və strateji qərar vermə səviyyəsində peşəkar kadrların hazırlanması baxımından həlledici əhəmiyyətə malikdir. Tədqiqat göstərdi ki, mövcud hərbi təhsil proqramları və təlim planları əsasən funksional xarakter daşıyır və ayrı-ayrı təhsil müəssisələrinin daxili metodikaları əsasında həyata keçirilir.

Mövcud problemlərin aradan qaldırılması üçün aşağıdakı tövsiyələr irəli sürülür: milli təhsil standartlarının hazırlanması, beynəlxalq təcrübəyə əsaslanan uyğunlaşdırma, pedaqoji yanaşmaların gücləndirilməsi, müəllim hazırlığı və resurs təminatı, elmi tədqiqatların tətbiqi, qiymətləndirmə və monitoring mexanizmləri.

Nəticə etibarilə, Azərbaycanda ali hərbi təhsil sisteminin müasirləşdirilməsi və beynəlxalq standartlara uyğunlaşdırılması yalnız inzibati islahatlarla deyil, həm də fundamental elmi-metodoloji baza və təhsilin sistemli inkişafı vasitəsilə həyata keçirilə bilər. Standartlaşdırılmış təhsil modeli gələcək hərbi liderlərin hazırlanmasında dayanıqlı və çevik struktur yaradacaqdır.

ƏDƏBİYYAT

1. Quliyev, T. Müasir Hərbi Təhsildə Transformasiya Prosesi // - Bakı: Hərbi Nəşriyyat, - 2021, - 480 səh.
2. Musayev, H. Qloballaşma şəraitində regional təhlükəsizliyin təmin olunmasında əməkdaşlığın xüsusiyyətləri //- Milli Aviasiya Akademiyası Elmi Məcmuə jurnalı, - 2024, 26(2), s. 1–8.
3. NATO DEEP. Annual Programme Review: Azerbaijan, - 2023
4. Bruner, J. The Culture of Education. Harvard University Press, - 1996, 358 s
5. HETİ Hərbi Elmi Tədqiqat İnstitutu: İllik Təhlil // - Bakı – 2023, 98 s
6. Səfərov, R. Azərbaycan Hərbi Təhsil Sisteminin Tarixi İnkişafı // Bakı: Təhsil Nəşriyyatı, - 2015, 228 s
7. Qasimov, Ə. Hərbi Kadrların Hazırlığında Beynəlxalq Tərəfdaşlıq // - "Milli Təhlükəsizlik və Müdafiə" jurnalı, - 2019, 2(6), s. 45–52.
8. Məmmədzaadə, M. Hərbi təhsilin nəzəri və metodoloji əsasları: müasir yanaşmalar və mənbə bazasının təhlili // Qədim Diyar Beynəlxalq Elmi Jurnal. – 2025. – № 7 (3). – s. 7–11.
9. Piriye H.K., Həşimov E.Q., Hərbi təhsildə təlim metodları // - Bakı: Hərbi Nəşriyyat, 2016. 55 s.
10. NATO Education and Training Standards (STANAG 2143, 2022).
<https://standards.globalspec.com/std/14351866/stanag-2143>
11. Məmmədzaadə M. New approaches in military personnel training: a pedagogical evaluation of teaching methods // Social Development and Security. – 2025. – Vol. 1.5, № 4. – URL:
<https://paperssds.eu/index.php/JSPSDS/article/view/893/1074>
12. Ağayev Ş.O., Talıbov Ə.M. Hərbi təhsildə müasir pedaqoji texnologiyalar // - Bakı: Hərbi Nəşriyyat, 2016, 152 s.
13. Məmmədzaadə, M. Azərbaycanda hərbi təhsil müəssisələrində tədris prosesinin idarə olunması // Azərbaycan Respublikası Daxili İşlər Nazirliyi Polis Akademiyasının Elmi Xəbərləri. – 2025. – № 1 (43). – s. 173–177.
14. Musayev, H. Hibrid müharibə anlayışı və onun mahiyyəti // - Elmi Məcmuə, Milli Aviasiya Akademiyası - 2023, 25(3), s. 25–31.
15. Azərbaycan Ordusunun hərbi elm və təhsil sistemi. <https://mod.gov.az/az/azerbaycan-ordusunun-herbi-elm-ve-tehsil-sistemi-326/>
16. Məmmədov, T. Postmüharibə dövründə hərbi təhsilin modernləşdirilməsi yolları // - Elm və İnnovasiya, -2022, (4), s.27–34.
17. Quliyev, S. A. Müasir Hərbi Təlimdə Pedaqoji Yanaşmalar // - *Təhsil və Cəmiyyət*, -2019, (1), 33–39.
18. Əliyev, R. Azərbaycan-Türkiyə Hərbi Əməkdaşlığı: Təhsil Perspektivləri // Elm və Təhlükəsizlik, - 2021, (1), s.12–18.

REFERENCES

1. Guliyev, T. Muasir herbi tehsilde transformasiya prosesi // – Baki: Herbi Neshriyyat, – 2021, – 480 p.

2. Musayev, H. Globallashma sheraithinde regional teklukesizliyin temin olunmasinda emekdashlighin xususiyyetleri // Milli Aviasiya Akademiyasi Elmi Mejmue jurnalı, - 2024, 26(2), pp. 1–8.
3. NATO DEEP. Annual Programme Review: Azerbaijan, – 2023.
4. Bruner, J. The Culture of Education. Harvard University Press, – 1996, 358 p.
5. HETI Herbi ElmiTedgigat Institutu: Illik tehlil // – Bakı – 2023, 98 s.
6. Safarov, R. Azerbaijan Herbi tehsil sisteminin tarixi inkishafi // Bakı: Tehsil neshriyyati, – 2015, 228 s.
7. Gasimov, A. Herbi kadrlarin hazirlighinda Beynelxalg terefdashlig // – Milli tehlukesizlik ve mudafie jurnalı, – 2019, 2(6), pp. 45–52.
8. Mammadzade, M. Herbi tehsilin nezeri ve metodoloji esaslari: muasir yanashmalar ve menbe bazasinin tehlili // Gedim Diyar Beynaxalg Elmi Jurnal, 2025, No. 7(3), pp. 7–11.
9. Piriye, H.K., Hashimov, E.G. Herbi tehsilde telim metodlari // – Bakı: Herbi Neshriyyat, 2016. 55 p.
10. NATO Education and Training Standards (STANAG 2143, 2022). <https://standards.globalspec.com/std/14351866/stanag-2143>
11. Mammadzada M. New approaches in military personnel training: a pedagogical evaluation of teaching methods // Social Development and Security. – 2025. – Vol. 1.5, № 4. – URL: <https://paperssds.eu/index.php/JSPSDS/article/view/893/1074>
12. Aghayev, Sh.O., Talibov, A.M. Herbi tehsilde muasir pedagoji texnologiyalar // – Bakı: Herbi Neshriyyat, 2016, 152 p.
13. Mammadzade, M. Azerbaijan herbi tehsil muesselerinde tedris prosesinin idare olunmasi Azerbaijan Respublikasi Dakhili Ishler Nazirliyi Polis Akademiyasinin Elmi kheberleri, - 2025. No. 1(43), pp. 173–177.
14. Musayev, H. Hibrid muharibe anlayishi ve onun mahiyyeti // Milli Aviasiya Akademiyasi Elmi Mejmue jurnalı, - 2023. 25(3), pp. 25–31.
15. Azerbaijan Ordusunun herbi elm ve tehsil sistemi. <https://mod.gov.az/az/azerbaycan-ordusunun-herbi-elm-ve-tehsil-sistemi-326/>
16. Mammadov, T. Postmuharibe dovrunde herbi tehsilin modernleshdirilmesi yollari // – Elm ve Innovasiya, – 2022, (4), pp. 27–34.
17. Guliyev, S. A. Muasir herbi telimde pedagoji yanashmalar // – Tehsil ve jemiyet, – 2019, (1), pp. 33–39.
18. Aliyev, R. Azerbaijan-Turkiye Herbi emekdashligi: Tehsil perspektivleri // Elm ve tehlukesizlik, – 2021, (1), pp. 12–18.

**PREPARATION OF STANDARDS IN THE FIELD OF THEORETICAL AND
METHODOLOGICAL FOUNDATIONS OF HIGHER MILITARY EDUCATION IN
AZERBAIJAN
Mammadzade M.A.
Azerbaijan Sports Academy**

The development of higher military education in Azerbaijan holds strategic importance for strengthening the country's defense capabilities and integrating into international security systems.

This article examines the necessity of preparing national education standards within the context of the theoretical and methodological foundations of higher military education. It was found that although current military training programs and instructional structures are based on various state documents and practical requirements, the absence of a unified scientific and methodological framework hinders improvements in the quality and efficiency of higher military education.

Research indicates that the structured application of a theoretical framework—especially military pedagogy, competency-based training, and strategic planning—can enhance the effectiveness of the training process. At the same time, adapting international experience, particularly education standards developed under the NATO and Bologna systems, to local conditions can enable academic programs to meet global standards. Although Azerbaijan has taken certain steps in this direction, deficiencies remain in areas such as learning outcome assessment, modular structuring of training, instructor preparation, and the integration of scientific research into educational processes.

The article emphasizes that the development of national standards for higher military education should not only aim to standardize curricula but also to reinforce the theoretical and methodological support of instruction. To achieve this, it is recommended to establish methodological working groups, cooperate with international experts, apply modern assessment mechanisms, and enhance the professional qualifications of academic staff. Moreover, particular emphasis should be placed on the application of scientific research and the integration of innovative technologies into the training process.

In conclusion, systematically and theoretically grounded educational standards will not only improve the quality of higher military education in Azerbaijan but also create a sustainable foundation for human resource development in the field of national security and defense at a strategic level. This article provides both the scientific foundations for reforms in this area and practical mechanisms for implementation.

Keywords: Higher military education, education standards, methodological foundations, military pedagogy, competency-based training, Bologna process, defense strategy, curriculum development, assessment system

Müəllif haqqında məlumat

Soyadı, adı, atasının adı	İş yeri	Vəzifəsi, elmi dərəcəsi	Əlaqə
Məmmədzadə Müjkan Əbdüləli qızı	Azərbaycan İdman Akademiyası	“Fiziki hazırlıq” kafedrasının baş müəllimi, pedaq.f.d. Milli Müdafiə Universi- tetinin Hərbi Elmi Tədqiqat İnstitutunun dissertantı	mujkan@mail.ru (+994) 50 207-26-72

УДК 343

DOI:10.30546/EMNAA.2025.25.04.428

«УГОЛОВНО-ПРАВОВАЯ ОХРАНА КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ В СРАВНИТЕЛЬНОМ ПРАВЕ: ОПЫТ ФРАНЦИИ, ГЕРМАНИИ, ТУРЦИИ И ДРУГИХ СТРАН»

Фарзуллаева А.Э.

Национальная Академия Авиации

Историческая идентичность государств и культурное наследие одновременно выступают объектом устойчивого криминального интереса, связанного с незаконным оборотом артефактов, кражами произведений искусства, нелегальными раскопками и умышленным уничтожением памятников культуры. В этих условиях уголовно-правовая охрана культурных ценностей становится важнейшим инструментом противодействия угрозам, направленных на утрату материальных и духовных основ общества. Современные правовые системы стремятся формировать комплексную модель защиты, включающую международно-правовые обязательства, административные режимы охраны и уголовно-правовые составы, нацеленные на пресечение посягательств и обеспечение реституции.

В статье представлен сравнительно-правовой анализ уголовно-правовой охраны культурного наследия в ряде государств Европы и Азии — Франции, Германии и Турции. Выбор данных правовых порядков обусловлен их активным участием в международных механизмах защиты, наличием развитой институциональной инфраструктуры (специализированные подразделения полиции, цифровые реестры культурных ценностей, системы таможенного контроля) и применением современных подходов к криминализации деяний в отношении культурных объектов. В исследовании рассматриваются особенности национальных уголовных кодексов, специфика квалификации преступлений против культурных ценностей, меры ответственности юридических лиц, а также превентивные механизмы контроля за происхождением и оборотом предметов искусства.

Полученные выводы позволяют определить перспективные направления развития уголовно-правовой охраны культурного наследия, направленные на повышение эффективности противодействия преступлениям в данной сфере в условиях цифровизации, транснациональной преступности и глобального арт-рынка.

Ключевые слова: *Культурное наследие, уголовно-правовая охрана, незаконный оборот культурных ценностей, международно-правовые стандарты, реституция, должная осмотрительность, специализированные правоохранительные органы, экспортно-импортный контроль, транснациональная преступность, цифровые угрозы культурному наследию.*

Культурное наследие представляет собой один из важнейших элементов существования любого народа, фиксируя его историческую идентичность, духовные ценности и память поколений. Это понятие охватывает широкий спектр объектов — от археологических находок и архитектурных памятников до произведений искусства, музейных коллекций,

архивных материалов и элементов нематериального наследия. Однако вместе с высокой культурной и общественной значимостью культурные ценности приобретают и особую криминогенную привлекательность: спрос на артефакты на международном арт-рынке остаётся устойчиво высоким, а их перемещение нередко сопровождается нарушениями законодательства. Посягательства на культурное наследие нередко включают кражи и вывоз произведений искусства, грабёж музейных фондов, нелегальные археологические раскопки, непрофессиональные реставрации, ведущие к уничтожению культурных ценностей, умышленную порчу объектов, а также отмыwanie, сокрытие и подделку происхождения предметов искусства.

Подобные преступления имеют комплексный характер и часто вовлекают организованные преступные группы, действующие транснационально с использованием коррупционных схем, фальсификации документов, а в последние годы — и цифровых методов реализации запрещённых сделок через онлайн-платформы. В этих условиях государства вынуждены развивать многоуровневую систему защиты культурного наследия, в которой уголовно-правовые инструменты становятся крайней, но необходимой мерой реагирования и превенции. Эффективная стратегия охраны предполагает наличие сформированной нормативной базы, включающей: международно-правовые стандарты, административно-правовое регулирование оборота и экспорта культурных ценностей, механизмы ведомственного контроля, а также чётко сформулированные уголовно-правовые запреты с действенными санкциями.

За последние десятилетия международное сообщество сформировало базовый набор норм, направленных на предотвращение незаконного оборота и содействие реституции культурных ценностей. Однако международные акты, по общему правилу, устанавливают рамочные обязательства, оставляя национальным правовым порядкам значительную степень свободы при выборе конкретных уголовных составов, процессуальных механизмов и санкций. В результате системы уголовно-правовой охраны культурного наследия в разных странах демонстрируют как значительное сходство, так и существенные различия, обусловленные историческим наследием, правовой традицией (континентальная, англосаксонская, смешанная модели), геополитическими факторами, уровнем организованной преступности и динамикой внутреннего рынка искусства.

Сравнительно-правовой анализ показывает, что результативными оказываются прежде всего те модели, которые:

- чётко выделяют преступления против культурных ценностей в самостоятельные составы, а не ограничиваются квалификацией по общим имущественным нормам;
- вводят специальные квалифицирующие признаки, связанные с охраняемым статусом объекта;
- предусматривают уголовную ответственность не только физических, но и юридических лиц, вовлечённых в незаконный оборот;
- устанавливают повышенную ответственность за деяния в отношении объектов национального и всемирного значения;
- обеспечивают обязательный контроль происхождения культурных ценностей и добросовестность участников рынка;

- создают специализированные правоохранительные органы («арт-полиция»), обладающие экспертной и международной компетенцией;
- активно используют цифровые инструменты учёта, мониторинга и анализа рисков.

На уровне правоприменения важным фактором выступает институциональная координация между органами культуры, полиции, таможни, прокуратуры и судебными органами. Практика развитых стран показывает, что только при наличии единого информационного пространства, цифровых реестров и механизмов обмена данными удаётся своевременно выявлять и пресекать незаконные операции. Особое значение приобретают международные каналы взаимодействия — кооперация через Интерпол, ЮНЕСКО, Совета Европы, а также двусторонние соглашения о реституции и обмене информацией.

В условиях стремительного роста онлайн-рынка искусства, развития цифровых технологий репликации объектов, распространения NFT (невзаимозаменяемый токен) - платформ и анонимных крипто-транзакций появляются также новые вызовы для уголовного права. Нарушители всё чаще используют анонимность сетей, поддельные цифровые сертификаты происхождения, удаление или подмену данных о находках вследствие незаконных раскопок. Это требует адаптации классических норм к цифровой среде, усиления контроля за электронными площадками и выработки правовых стандартов доказуемости «цифровых следов».

Таким образом, уголовно-правовая охрана культурного наследия сегодня превращается в динамичную область, где нормативное регулирование должно опережать технологические, социальные и криминальные тренды. Компаративный анализ правовых порядков разных государств — таких как Франция, Германия, Турция и другие — позволяет выявить лучшие практики, определить эффективные сочетания санкций, превентивных инструментов и институциональных решений. Это, в свою очередь, способствует формированию более гармонизированной международной политики сохранения культурных ценностей и укреплению глобальной безопасности в сфере культурного наследия.

Международно-правовые механизмы защиты культурного наследия сформировались как ответ на возрастание масштабов незаконного оборота культурных ценностей и связанной с ним транснациональной преступности. Центральным актом в данной сфере является Конвенция ЮНЕСКО 1970 г. о запрещении и предотвращении незаконного ввоза, вывоза и передачи права собственности на культурные ценности, которая устанавливает основные обязательства государств по формированию внутреннего законодательства с целью предотвращения неправомерного перемещения артефактов через границы и содействия их возврату законным собственникам [1]. Указанная конвенция стала первым многосторонним договором, направленным на обеспечение международного сотрудничества в сфере уголовно-правовой охраны культурного наследия, хотя сама по себе она не вводит конкретных составов преступлений, а лишь требует их имплементации на национальном уровне. Её концептуальная новизна состоит в признании культурных ценностей как объекта, требующего особой защиты от преступных посягательств, что выводит регулирование за рамки классического имущественного права и формирует самостоятельное правовое направление, ориентированное на сохранение культурной идентичности государств.

Конвенция ЮНЕСКО 1970 г. предполагает создание эффективных систем контроля экспорта и импорта, инвентаризации музейных фондов, применения мер по конфискации и

возврату незаконно вывезенных предметов, а также развитие международного обмена информацией. Однако данные механизмы могут функционировать действенно только при условии наличия у государств развитой административной и уголовно-правовой инфраструктуры. Юридическая доктрина подчёркивает, что минимальные стандарты, установленные Конвенцией, требуют национального «наполнения» — введения специальных уголовных запретов, квалификации преступлений против культурного наследия, определённых санкций, а также распределения компетенций между правоохранительными органами и органами культуры.

На региональном уровне значительное влияние оказывает правовая политика Совета Европы, особенно в контексте усиления уголовно-правового реагирования на незаконный оборот культурных ценностей. Важнейшим документом в этом направлении выступает Конвенция о преступлениях, связанных с культурными ценностями, принятая в Никосии в 2017 г.. Данный договор является первым международным инструментом, который вводит чёткий перечень криминализируемых деяний, направленных против культурного наследия, включая незаконные раскопки, умышленное уничтожение объектов, нелегальный вывоз и импорт, подделку или фальсификацию документов о происхождении, участие в организованной преступной группе, осуществляющей торговлю культурными объектами. Конвенция подчёркивает необходимость привлечения к ответственности юридических лиц, что отражает реальность современного арт-рынка, где крупные сделки зачастую проводятся аукционными домами, галереями и другими коммерческими структурами.

Одним из ключевых достижений Никосийской конвенции является институционализация международного сотрудничества в уголовных расследованиях. Документ устанавливает обязательность обмена оперативной информацией, содействие в возврате культурных объектов, проведение совместных расследований и создании специализированных подразделений в правоохранительных органах государств-участников. При этом акцент делается на внедрении превентивных мер, включая разработку стандартов должной осмотрительности для участников рынка искусства и создание механизмов идентификации объектов с использованием цифровых технологий. Этот подход демонстрирует эволюцию международного права от декларативной защиты культурных ценностей к формированию действенной системы уголовно-правового реагирования.

Несмотря на существенный прогресс, международные правовые инструменты сталкиваются с определёнными ограничениями. Конвенция ЮНЕСКО 1970 г. не имеет обратной силы, что затрудняет реституцию предметов, вывезенных из государств-источников до вступления документа в силу. Кроме того, её эффективность зависит от готовности государств имплементировать положения в национальную правовую систему и обеспечивать строгий контроль за исполнением законодательных норм. Никосийская конвенция пока ещё имеет ограниченный круг участников: ряд государств, включая крупные рынки искусства, сохраняют осторожность в отношении её обязательств, что объясняется опасениями негативного влияния на экономические интересы арт-сектора и коммерческих операторов.

Дополнительное значение приобретают документы «мягкого права», такие как рекомендации ЮНЕСКО, руководства Интерпола по борьбе с преступлениями в сфере культурного наследия и стандарты Международного совета музеев по инвентаризации. Эти акты не обладают формальной юридической обязательностью, но широко применяются в

правоприменительной практике, формируя глобальную культуру соблюдения охранных требований. Они способствуют повышению уровня профессиональной подготовки сотрудников музеев, таможенных служб и полиции, развитию систем маркировки, регистрации и цифрового мониторинга культурных ценностей.

Важным фактором становится и международно-правовая тенденция цифровизации механизмов охраны культурного наследия. Рост онлайн-торговли артефактами, использование NFT (невзаимозаменяемый токен) - платформ для сокрытия происхождения объектов, а также применение криптовалют для незаконных операций создают новые вызовы, которые не всегда напрямую охватываются действующими международными стандартами. Это требует адаптации договоров, расширения компетенций правоохранительных органов и выработки единых подходов к фиксации цифровых следов преступлений. Международное сообщество всё чаще обращается к разработке трансграничных электронных реестров, совместимых стандартов проверки подлинности и инструментов искусственного интеллекта для идентификации незаконно перемещаемых объектов [2].

Таким образом, международные рамки уголовно-правовой охраны культурного наследия представляют собой динамичную архитектуру, находящуюся в процессе постоянного совершенствования. Базовые договоры формируют минимальные требования к криминализации и контролю за оборотом культурных ценностей, в то время как региональные инициативы и акты мягкого права расширяют и конкретизируют эти стандарты в зависимости от потребностей правоприменительной практики. Главным направлением дальнейшего развития видится укрепление механизмов международного сотрудничества, создание гибкой и технологически адаптируемой системы реагирования на новые преступные формы, а также расширение участия государств в многосторонних инструментах, укрепляющих глобальную безопасность культурного наследия.

Во Франции система уголовно-правовой защиты культурного наследия выстроена на основании комплексного взаимодействия специального законодательства об охране наследия и общих уголовно-правовых норм. Фундаментальным правовым инструментом является «Кодекс культурного наследия» («Code du patrimoine»), в котором установлены режимы охраны, процедуры классификации и инвентаризации объектов, публичных коллекций недвижимого и движимого культурного имущества. Параллельно этому действует «Уголовный Кодекс» (Code penal), в котором предусмотрены уголовные составы, применимые к преступлениям против культурных ценностей — например, уничтожение, повреждение, нелегальный оборот и вывоз музейных коллекций либо объектов с охранным статусом. Такое двойное нормативное основание позволяет сочетать административно-правовые меры (классификация, охранный статус, ограничения на оборот) и уголовно-правовое реагирование на тяжкие посягательства. Анализ показывает, что именно сочетание этих двух кодексов повышает эффективность защиты, поскольку охранный статус объекта становится одним из квалифицирующих признаков, усиливающих санкции. Значимой вехой в развитии французской правовой системы охраны наследия стала Закон № 2016-925 от 7 июля 2016 («LCAP» — Loi «Liberté de création, architecture et patrimoine» (Закон «Свобода творчества, архитектуры и наследия») [3], призванная модернизировать подход к охране: закон раздробил прежние разрозненные процедуры, усилил взаимодействие между министерством культуры, правоохранительными и таможенными органами, уточнил режимы

охраны, расширил применение цифровых реестров и упрочил охрану объектов XX века. В частности, закон содержит положения о новом статусе «Значимый объект культурного наследия», («Site patrimonial remarquable»), замене различных зон охраны, создании Комиссии национального наследия и архитектуры, а также усилении ответственности в отношении охраняемых объектов.

Например, по положениям «Уголовный Кодекс» («Code pénal») за уничтожение или повреждение объекта, признанного историческим памятником или включённого в охранный реестр, может быть предусмотрено до 10 лет лишения свободы, крупные штрафы и обязанность реституции или компенсации стоимости ущерба. Практика показывает, что такие высокие санкции выполняют функцию сдерживания и делают наказание реально значимым, особенно в контексте организованных преступных сетей по обороту культурных ценностей. Согласно исследованию, «France's Penal Code provides for specific incriminations targeting cases of theft, destruction, defacement or degradation of cultural property».

Ключевым институциональным элементом стал «Центральное управление по борьбе с незаконным оборотом культурных ценностей» («Office central de lutte contre le trafic des biens culturels (OCBC)»), созданный как специализированное подразделение МВД Франции, ответственное за расследование трансграничного незаконного оборота культурных ценностей, координацию с таможенными службами, музеями и международными партнёрами. Данный орган играет центральную роль в практике правоохранения: от досудебного анализа и оценки рисков до оперативных арестов и международных конфискации.

Модель французской правовой охраны наследия обладает рядом сильных сторон. Во-первых, разграничение «общих» имущественных преступлений и квалифицированных преступлений в отношении охраняемых объектов создаёт правовую ясность и повышает прогнозируемость правоприменения. Посягательство на обычное имущество квалифицируется как имущественное преступление, тогда как посягательство на объект с охранным статусом попадает под особую охрану — что позволяет дифференцировать меры. Во-вторых, высокий порог санкций и обязательность опасных квалификаций усиливают фактор сдерживания: потенциальные нарушители учитывают не только вероятность уголовного преследования, но и значимость санкций. В-третьих, наличие специализированного подразделения (OCBC), международных связей, аналитики арт-рынка и таможенного контроля создаёт интегрированную систему реагирования — от выявления до расследования и конфискации.

Однако модель имеет и свои уязвимости. Во-первых, доказательство охрannого статуса объекта и причинно-следственной связи между повреждением и именно статусом остаётся сложным. Прокуратуре и следствию нередко приходится доказывать, что именно данное имущество было включено в реестр, что его повреждение подпадает под квалификацию, и что акт повредил «охраняемость» в значительной мере. Такая дополнительная нагрузка затрудняет применение квалифицированных составов по отношению к крупному непрозрачному рынку. Во-вторых, эффективность охраны зависит от тесной координации с музейными и таможенными реестрами, цифровыми каталогами и международными базами данных. Если реестр не обновлён, либо участников рынка нет в системе мониторинга, остаётся «пробел» в защите и возможностью злоупотреблений. Например, объекты из категории «движимых» часто перемещаются через цепочки посредников и без скоординированной

цепочки отслеживания возникает риск ухода от ответственности. Кроме того, растущая цифровизация арт-рынка — онлайн-аукционы, криптовалюты, NFT (невзаимозаменяемый токен) — ставит новые вызовы, на которые законодательство и практика реагируют с задержкой.

Важно также отметить, что масштаб международных сетей незаконного оборота требует не просто национальных мер, но активной кооперации: ОСВС («Центральное управление по борьбе с незаконным оборотом культурных ценностей»), как и другие профилированные органы, участвует в трансграничных операциях совместно с Интерполом и таможней. Однако уровень международной интеграции ещё не всегда на одном уровне с оперативной преступностью, которая использует гибридные схемы. Кроме того, рынок культурных ценностей во Франции по-прежнему частично функционирует в полусфере регулирования: дилеры, аукционные дома и частные коллекционеры не всегда полностью встраиваются в системы «комплаенс» и обязательной осмотрительности (*юридическая экспертиза*) [4]. В этом смысле Франция, хотя и обладает мощным законодательным и институциональным фундаментом, сталкивается с необходимостью дальнейшего совершенствования практики превенции, расширения цифровых инструментов и усиления ответственности участников арт-рынка.

Таким образом, французская модель уголовно-правовой охраны культурного наследия представляет собой сбалансированное сочетание нормативного регулирования и правоохранительной структуры: она сочетает административные механизмы (Кодекс культурного наследия, классификация, реестры) и уголовно-правовые санкции (Уголовный кодекс, квалифицированные составы) плюс институциональные меры (ОСВС). При этом модель остаётся динамичной и требует постоянной адаптации — как к новым формам преступлений, так и к изменяющемуся рынку искусства и цифровой среде. Французский опыт показывает, что законодательство и практика, выстроенные с учётом охранного статуса объектов, высокой квалификации составов и международной кооперации, могут служить ориентиром для других юрисдикций, однако их эффективность зависит от реалий мониторинга, экспертизы, доступа к цифровым реестрам и международной интеграции.

В Германии система охраны культурного наследия через уголовное и административное право получила комплексное законодательное оформление посредством «Закон о защите культурных ценностей» (Gesetz zum Schutz von Kulturgut (Kulturgutschutzgesetz – KGSG, далее KGSG), вступившего в силу 6 августа 2016 г. Этот нормативный акт объединил разрозненные положения, ранее разбросанные по различным законам и ведомственным регламентам в единую рамку, охватывающую защиту национального культурного достояния, регулирование импорта и экспорта культурных ценностей, размещение их на рынке, возврат незаконно перемещённых объектов и кооперацию правоохранительных органов. KGSG содержит чёткие положения по регистрации «национального культурного достояния» (Abschnitt 2), лицензированию экспорта и импорта, процедурам таможенного контроля и обязанности лиц, ведущих коммерческую деятельность с культурными ценностями (*due diligence*) [5].

Одной из ключевых черт немецкой модели является признание и защита так называемого «национального культурного имущества» (*national cultural property*) — движимых объектов, значимых для культурной идентичности Германии, внесённых в

соответствующий реестр земель («Länder») по критериям значимости и риска для культурного наследия. Подобное признание создаёт дополнительный охранный слой: на предметы, включённые в данный реестр, распространяются усиленные требования к лицензированию вывоза, запрет на импорт без надлежащей документации и обязанность надлежащей осмотрительности со стороны участников рынка. Таким образом, защита культурного наследия выходит за рамки просто имущественной охраны и приобретает специфику уголовно-правового реагирования.

С точки зрения экспорта, KGSG устанавливает лицензионный режим: например, для экспорта предметов, зарегистрированных как культурное имущество национального значения, требуется получение лицензии. Одновременно закон вводит запрет на импорт культурных ценностей, вывезенных незаконно из страны происхождения и предусматривает обязательство доказательства законности вывоза коллекции из страны-источника при ввозе в Германию. Эти положения реализуют международные стандарты, прежде всего UNESCO Convention 1970, требующие от государств-участников пресечения незаконного перемещения культурных ценностей.

Сегмент коммерческой деятельности с культурными ценностями дополнительно регулируется требованиями *due diligence*. Так, Раздел 41–44 KGSG устанавливают обязанность лиц, размещающих культурное имущество на рынке, проверять легальность происхождения, состояние законодательства страны-источника, наличие лицензии, а также вести документацию и сохранять её в течение 30 лет. Это превращает участников рынка — дилеров, галерей, аукционных домов — из пассивных субъектов в активных «контролёров» происхождения и легальности объектов. Практика показывает, что именно такой элемент *compliance* усиливает превентивный эффект уголовного и административного режима, поскольку повышает прозрачность операций и снижает риск оборота нелегального культурного имущества.

Плюсы данной модели очевидны. Во-первых, интегрированность регулирования: экспорт-импорт, рынок, регистрация и ответственность собраны в одном законодательстве, что упрощает применение и снижает фрагментарность. Во-вторых, прозрачность для участников рынка: четкие правила, открытые порталы, понятные лицензии и публикация реестров способствуют формированию культуры законопослушного обращения с культурными ценностями. В-третьих, проведение профилактики посредством *due diligence* позволяет не только реагировать на нарушения, но и предотвращать их, снижая нагрузку на уголовно-правовую систему. Наконец, механизм возврата культурных объектов и сотрудничества с зарубежными государствами допускает реализацию реституционных обязательств и укрепляет международные связи [6].

Однако есть и вызовы, заслуживающие внимания. Процедуры лицензирования и регистрации достаточно сложны и административно ресурсозатратны, что создаёт риск сужения добросовестной торговли антиквариатом и культурным имуществом. Участники рынка отмечают, что «тяжеловесность» процедур может оттолкнуть малые галереи или дилеров, не готовых к длительным и затратным процедурам. Также есть риск, что без цифровизации и взаимного признания реестров между странами-торговыми партнёрами механизмы могут терять эффективность: если страной-источником не ведётся протокол происхождения или не публикуются реестры, то немецкий режим *due diligence* может

оказаться выполнен формально, но не фактически. Кроме того, глобальный онлайн-рынок искусства и растущая роль крипто-платформ, NFT (невзаимозаменяемый токен) и анонимных сделок создают новые зоны риска, на которые законодательство пока реагирует медленнее, чем транснациональные преступные группы.

С учётом этих обстоятельств немецкая модель может рассматриваться как одна из наиболее перспективных среди сравнительно-правовых систем, поскольку она комбинирует кадровое, институциональное и правовое усиление. Тем не менее её эффективность зависит от того, насколько успешно она интегрируется с административными и таможенными инструментами, обучением экспертов, цифровыми регистрами и международным сотрудничеством. В частности, важен дальнейший шаг к признанию взаимных реестров между странами, снижению административных барьеров для добросовестных участников рынка и ускорению процедуры лицензирования без потери степени защиты.

В резюме, законодательство Германии в области уголовно-правовой охраны культурного наследия не ограничивается лишь санкциями: оно представляет собой комплексную систему, включающую экспортно-импортные контроли, требования к участникам рынка (*due diligence*) и уголовную ответственность за нарушения. Такая система встроена в международные стандарты и опирается на современную институциональную инфраструктуру. Именно комплексность, а не исключительно карательные меры, делает модель устойчивой и адаптивной к вызовам XXI века.

Турецкая модель охраны культурного наследия изначально опирается на Закон № 2863 от 21 Июля 1983 («Закон о сохранении культурного и природного наследия») и множество последующих нормативных актов и подзаконных регламентов, призванных регулировать археологическую деятельность, оборот движимых и недвижимых культурных ценностей, а также экспортно-импортные операции и ответственность за нарушение охранного режима [7]. Закон № 2863 охватывает как движимые, так и недвижимые объекты, относящиеся к историческим периодам и заслуживающие защиты как с культурной, так и с научной точки зрения. Он устанавливает широкий перечень полномочий органов государственной власти — прежде всего Министерства культуры и туризма и региональных Советов по охране культурных и природных ценностей (*Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Bölge Kurulları*) — и предусматривает обязательную регистрацию, инвентаризацию и охрану объектов, подлежащих защите по закону.

С точки зрения уголовно-правовой реакции ключевые нормы включают запрет на несанкционированные археологические раскопки, недекларирование находок, незаконный вывоз культурных ценностей, подделку документов об их происхождении, а также участие в организованных преступных группах, занимающихся оборотом и транспортировкой культурных ценностей. Например, Закон № 2863 предусматривает, что любые «вмешательства» (строительство, звуковые работы, частичные или полные разрушения, раскопки) без разрешения являются незаконными. Уголовный кодекс Турции [8] в совокупности с указанным законом предусматривает санкции за ущерб или утрату охраняемых объектов: порой встречаются реальные уголовные дела о крупном размере ущерба и конфискации.

Особая значимость модели Турции объясняется её географическим положением и историческим наследием: страна располагается на пересечении древних цивилизаций (хетты,

фригийцы, ликийцы, эллинистические, римские, византийские, османские) и является источником значительного объёма археологических находок, интересных для международного рынка. Это исторически создало «археологическую» криминогенную зону: нелегальные раскопки и вывоз предметов культуры через сложную сеть посредников сбыта. Поэтому уголовно-правовые нормы Турции тесно связаны с мерами предупреждения, мониторинга, лицензирования и международного сотрудничества по реституции культурных ценностей.

Среди сильных сторон турецкой правовой модели можно выделить: наличие специальных составов, ориентированных на археологические правонарушения и незаконный вывоз; централизованное управление охраной культурного наследия через Минкультуру и туризм и соответствующие региональные советы, что позволяет координировать действия по предотвращению и пресечению нарушений; чёткое закрепление государственной собственности на культурные ценности и запрет на их свободную продажу за пределы страны без разрешения, что снижает возможность их легализации за границей [9]. Например, статья 6 Закона № 2863 сразу устанавливает, что все движимые и недвижимые культурные ценности, требующие охраны, находятся под защитой государства.

Тем не менее модель Турции сталкивается с серьёзными вызовами. Во-первых, проблема «чёрного копательства» остаётся актуальной: масштабные нелегальные раскопки особенно на границах или в отдалённых районах, где контроль слабее и доступ к культурным ценностям проще. Длинные границы, как сухопутные, так и морские, способствуют вывозу предметов через серые схемы. Во-вторых, внутренний рынок сувениров и антиквариата — значительная зона риска: массовое производство «археологических сувениров», нелегальное смешение легальных и нелегальных объектов, трудности отделения культуры от коммерческого товара. В-третьих, несмотря на наличие нормативов, реализация бывает затруднена из-за ограниченных ресурсов, недостатка экспертизы, фрагментарного мониторинга и слабой цифровой трассировки движения ценностей.

В аналитическом плане можно отметить, что Турция преодолела стадию фиксации охраняемых имущественных норм и перешла к усилению уголовной ответственности, однако эта ответственность ещё не всегда интегрирована в полноценный compliance-режим на рынке искусства. Например, дилеры и аукционные дома не всегда обязаны проводить детальную проверку происхождения предметов, как это предусмотрено в некоторых западноевропейских странах. Это создаёт «узкое место» превенции: правоохранение действует тогда, когда нарушение уже произошло, а не на этапе предупреждения. Кроме того, международное сотрудничество по реституции культурных ценностей Турцией активно развивается, но остаётся зависимым от наличия общих реестров, доступа к рынкам назначения и от стимулов государства к возврату ценностей.

В условиях цифровой трансформации арт-рынка и глобализации торговли культурными ценностями появляются новые задачи для турецкой модели. Онлайн-торговля, анонимные сделки, использование криптовалют и цифровых платформ — всё это требует обновления нормативной базы, разработки цифровых реестров культурных ценностей и усиления таможенного и правоохранительного мониторинга. Кроме того, важным становится сотрудничество с международными профильными организациями (как UNESCO и Interpol) и

внедрение стандартизированных процедур due diligence и сертификации происхождения на национальном уровне.

Что касается перспектив, то Турции выгодно продолжать усиление уголовно-правовых составов и их применение, расширять ответственность юридических лиц и посредников, активнее внедрять цифровые системы отслеживания объектов, создавать публичные и прозрачные реестры культурных ценностей и выстраивать международные соглашения о возврате с чёткими обязательствами и механизмами исполнения. Благодаря исторической роли страны как источника культурных ценностей внедрение этих мер не только укрепит охрану национального наследия, но и усилит международный имидж Турции как активного партнёра в глобальной защите культурного наследия.

В заключение можно отметить, что турецкая модель уголовно-правовой охраны культурного наследия объединяет сильные нормативные положения, жесткие запреты на незаконную археологическую деятельность и вывоз ценностей, централизованные институты управления и активную позицию на международной арене. Однако для полного раскрытия потенциала этой модели необходима дальнейшая институционализация превентивных мер, цифровизация мониторинга и усиление роли рынка искусства в соблюдении обязательств по происхождению. В сравнительно-правовом ракурсе Турция представляет интересный кейс: страна-источник, вынужденная сочетать археологическую охрану с уголовно-правовой ответственностью и международной реституцией.

В Великобритании ключевым законодательным актом стал Операция с культурными ценностями (Dealing in Cultural Objects (Offences)) Акт 2003, который устанавливает уголовную ответственность за приобретение, распоряжение, импорт или экспорт «запятнанных» (tainted) культурных объектов, если лицо знало или должно было знать об их незаконном происхождении [10]. По этому закону «культурным объектом» считается предмет исторического, архитектурного или археологического интереса, а он считается «арестованным» тогда, когда был удалён или раскопан с места, охраняемого законом, и это удаление или раскопка составляли правонарушение (даже если за пределами Великобритании). Ответственность по акту включает до семи лет лишения свободы или штраф — что подчёркивает серьёзность намерения законодателя. Помимо этого закона, Великобритания дополнила законодательство положениями о запрещении ввоза культурных ценностей, незаконно вывезенных из стран-оккупантов в частности, посредством «Культурные ценности (Вооруженные конфликты)» (Cultural Property (Armed Conflicts) Акт 2017. В совокупности это создаёт уголовно-правовую рамку, ориентированную на рынок искусства, дилеров и аукционные дома, и требует от участников рынка соблюдения принципов должной осмотрительности (provenance, проверка происхождения).

Модель Великобритании привлекает внимание смещением акцента с исключительно «источниковых» стран на «приёмную» юрисдикцию: законодательство направлено не только на страны-источники, но и на территорию Соединённого Королевства как место торговли или трансформации культурных объектов. Несмотря относительную редкость успешных уголовных преследований (одна из публикаций указывает, что с момента вступления в силу Акта был лишь один осуждённый по этому закону), закон оказывает превентивный эффект через требование по отчёту происхождения и контролю рынка [11]. С точки зрения сравнительного анализа модель Великобритании показывает: (а) применение уголовного

права к торговле культурными объектами независимо от страны происхождения; (б) ориентацию на участников арт-рынка в качестве носителей ответственности; (в) необходимость минимальной доказательной конструкции — знание или вера в незаконность объекта. Однако её ограничения — низкая частота применения, необходимость доказательства знания, а также потенциальная слабость «фронта» там, где объекты были извлечены давно и изменения происхождения не документированы.

В Соединённых Штатах ключевым нормативным базисом является «Закон о реализации Конвенции о культурных ценностях» («Convention on Cultural Property Implementation Act (CPIA)»), принятый в 1983 году, который ввёл механизм реализации положений UNESCO 1970 Convention о запрещении незаконного ввоза, вывоза и передачи права собственности на культурные ценности. CPIA позволяет властям США заключать двусторонние соглашения с другими государствами-участниками Конвенции, вводить импортные ограничения на археологические или этнологические материалы, допускаемые к ввозу только при условии соответствующей проверки; он также включает механизмы наложения запрета на импорт, конфискации и возврата культурных объектов [12]. Более того, в США действуют законы общего имущественного характера, такие как «Закон о краденом национальном имуществе» («National Stolen Property Act (NSPA)»), которые также применяются к перемещению украденного культурного имущества через границы штатов — хотя они не специализированы на культурном наследии. Органы вроде U.S. Immigration and Customs Enforcement (ICE) и Homeland Security Investigations (HSI) координируют возврат и репатриацию артефактов: с момента создания программ возвращено более 20 000 объектов в более чем 40 стран.

Американская модель интересна своей «ограниченной» уголовно-правовой географией — она до порога зависит от соглашений с конкретными странами-источниками и фокусируется скорее на импорте запрещённых материалов, чем на контроле всего арт-рынка. Тем не менее она даёт возможность: (а) использования экспорт-импортных режимов и таможенного контроля как инструмента охраны наследия; (б) интеграции уголовных, административных и гражданских мер (например, конфискация, гражданско-правовые иски) в борьбе с незаконным оборотом культурных ценностей; (в) высокой степени кооперации с международными партнёрами. Но модель также сталкивается с рядом ограничений, поскольку такой механизм влияет на страны, с которыми заключены соглашения, не покрывает полностью механизм нелегального перемещения объектов без официальной регистрации и зависит от ресурсов и политической воли властей США [13].

Сравнительный ориентир этих двух юрисдикций — Великобритания и США — позволяет выявить важные параметры, релевантные и для других стран. Во-первых, обе модели подчёркивают значимость уголовного инструментария в отношении торговли культурными объектами, но не только экспорта из страны-источника. Во-вторых, они подтверждают, что эффективная защита требует не только уголовных составов, но и системы контроля оборота, требований к проверке происхождения и международной кооперации. Во-третьих, они демонстрируют, что уголовная охрана культурного наследия может дополняться гражданско-правовыми и административными мерами (например, конфискации, лицензирования) и таким образом функционировать как часть целостной системы. Однако обе модели показывают и ограничения: либо в виде слабой статистики применения

(Великобритания), либо ограниченной сферой охвата (США). Это подчёркивает, что уголовно-правовая защита культурного наследия для эффективной реализации, должна сочетаться с превентивными, административными и рыночными мерами, что подтверждается сравнительными анализами.

В заключение можно отметить, что приведённые страны — Великобритания и США — хотя и не основное фокусирование исследования, однако служат полезным сравнительным ориентиром. В Великобритании уголовный режим ориентирован на торговлю и недвижимое/движимое культурное имущество вне зависимости от страны происхождения; в США — на импорт запрещённых материалов и сотрудничество с зарубежными государствами-источниками. Обе системы иллюстрируют тенденцию к усилению применения уголовного права в сфере культурного наследия и расширению его к рынку искусства и торговле антиквариатом. Для стран-реципиентов и стран-источников культурных ценностей анализ этих моделей показывает: важность лицензирования, документирования происхождения, взаимного признания реестров и наличия международных соглашений как составляющих успешной системы уголовно-правовой охраны.

Сравнительный анализ Франции, Германии и Турции позволяет идентифицировать общие закономерности и специфические национальные акценты в уголовно-правовой охране культурного наследия. Несмотря на различия правовых традиций, архитектуры правоприменения и исторических обстоятельств, все исследованные юрисдикции демонстрируют постепенное сближение подходов под влиянием международных стандартов, прежде всего Конвенции ЮНЕСКО 1970 г. и соглашений Совета Европы [14].

Прежде всего, конвергенция прослеживается в области прямой криминализации деяний против культурного наследия. Во всех анализируемых странах вводятся отдельные уголовные составы, охватывающие именно культурные ценности как специфический объект преступного посягательства. Франция применяет квалифицированные составы за уничтожение или повреждение объектов, включённых в культурные реестры; Германия криминализует нарушения импортно-экспортных режимов и недобросовестный оборот; Турция строго наказывает незаконные археологические раскопки и вывоз находок; это доказывает, что культурное наследие становится отдельным объектом уголовно-правовой защиты, а не «довеском» к имущественным преступлениям. В то же время дифференциация очевидна в акцентировке: Германия видит в незаконном рынке ключевой риск, Италия — в транснациональности оборота и отмывании, Турция — в нелегальных раскопках, Франция — в ущербе публичным коллекциям и недвижимым объектам.

Далее, прослеживается ужесточение санкционной политики. В большинстве стран максимальные санкции были повышены в последние десять лет: Франция предусматривает до 10 лет лишения свободы, Италия — квалифицированные наказания с возможностью значительных штрафов и конфискации, Германия — штрафы и лишение свободы при нарушении экспортного контроля, Турция — реальное тюремное заключение за нарушения в археологической сфере. Одновременно расширяются адресаты ответственности: Германия также возлагает обязательства на участников рынка — не в форме уголовного наказания для организаций, но через обязательные стандарты *due diligence*, невыполнение которых влечёт

санкции [15]. Такая тенденция указывает, что борьба с преступностью в сфере культурного наследия невозможна без прямого вовлечения коммерческого сектора.

Значимо развивается и направление комплаенса и регулирования арт-рынка. Германия является примером наиболее системного подхода: Закон о защите культурного имущества обязывает участников рынка документировать происхождение, проверять легальность и вести архив фактов оборота. Франция и Италия делают акцент на **институциональной** специализации: функционирование «Центральное управление по борьбе с незаконным оборотом культурных ценностей» Франции и «Подраздел Карабинере по защите культурного наследия» (Carabinieri TPC (торговля, криминалистика, реституция)), создание экспертных центров и тесная координация с музеями и таможней усиливают способность государства оперативно пресекать трансграничные схемы. Это формирует «замкнутый контур» наблюдения — от момента появления предмета на рынке до его экспорта и возможного перемещения через границы. Суд не может функционировать без сотрудничества с государствами, поскольку у него нет собственных органов исполнения, а значит, успешные дела требуют синхронизации с таможней, Интерполом и механизмами взаимной правовой помощи для трансграничной конфискации и реституции.

Четвёртым направлением конвергенции является укрепление механизмов реституции и международного сотрудничества. На теоретическом уровне все страны ссылаются на международные обязательства - особенно на Конвенцию ЮНЕСКО 1970 г., предусматривающую сотрудничество, возврат и обмен информацией [14]. На практике результативность обеспечивается двусторонними соглашениями, совместными расследованиями, оперативной координацией с Интерполом и цифровыми инструментами идентификации. Германия прямо защищает культурное достояние других государств, облегчая реституцию; Турция активно требует возврата артефактов, незаконно вывезенных с её территории и опирается на международный обмен данными; Франция обеспечивает информационное взаимодействие через ОСВС. Тенденция очевидна: чем теснее международное сотрудничество, тем меньше пространства остается для преступного оборота.

Наконец, прослеживается новая, но уже критически важная зона — кибераналитика и цифровое измерение преступности. Незаконная торговля всё активнее перемещается в интернет-пространство: онлайн-аукционы, анонимные криптоплатформы, использование поддельных цифровых сертификатов происхождения. Появилось явление «цифрового камуфляжа» происхождения предметов: цепочка владения подменяется цифровыми маркерами без подтверждённого источника. В ответ развиваются:

- применение методов data-analytics специализированными подразделениями;
- создание международной базы данных похищенных объектов (взаимодействие с ИНТЕРПОЛ);
- разработка цифровых реестров, QR-идентификаторов, фотограмметрии;
- правовые рекомендации ЮНЕСКО и ООН по онлайн-борьбе с траффиком.

Однако уровень цифровой готовности государств пока неоднороден: Германия в этом направлении продвинулась далеко, Франция — частично, Турция — в стадии интенсивного развития.

Структурный вывод сравнительного анализа можно сформулировать следующим образом:

Сходства: криминализация по всем стадиям незаконного оборота; усиленные санкции; опора на международные стандарты; институциональная политика противодействия; растущая цифровизация.

Различия: акценты среди одних и тех же элементов — Франция защищает статус объектов; Германия — устойчивость рынка и легальность оборота; Италия — комплексный титул и корпоративную ответственность; Турция — первичную охрану археологических объектов и предотвращение первичного вывоза культурных благ.

Таким образом, можно утверждать, что уголовно-правовая охрана культурного наследия в рассмотренных странах переживает однонаправленную эволюцию от разрозненных имущественных преступлений к системной защите культурных ценностей как самостоятельного правового блага, включающей экономические и цифровые компоненты. Эта эволюция тесно связана с международной конвергенцией и ростом осознания культурного наследия как элемента национальной безопасности, экономической устойчивости и международного авторитета. Одновременно сохраняется необходимость дальнейшей адаптации, особенно в условиях растущей онлайн-преступности, фрагментации рынков искусства, гибридизации преступных сетей и ограниченности ресурсов экспертизы.

Практика показывает, что наличие уголовно-правовых норм против преступлений в сфере культурного наследия далеко не всегда ведёт к должному уровню защиты. Ключевым фактором эффективности становится не столько текст закона, сколько способность государства привлекать эти нормы к применению — через создание специализированных подразделений, механизмов мониторинга, международного сотрудничества и управления рисками. Именно в этом контексте поднимается тема от так называемой «арт-полиции» (специализированные правоохранительные органы) к концепции управления рисками, включающей прогнозирование, цифровой мониторинг, аналитику и интегрированное реагирование.

Статистические данные подтверждают важность этого подхода. К примеру, публикация ИНТЕРПОЛ показывает, что в 2020 году было изъято 854 742 объектов культурного наследия, из них свыше 567 000 — в Европе. Более свежие данные Европола указывают, что операция «ПАНДОРА VIII» привела к 80 арестам и изъятию 37 727 культурных ценностей. Эти числа иллюстрируют не только масштабы проблемы, но и тот факт, что специализированные структуры способны произвести значимые результаты при наличии правового фундамента, ресурсов и международной координации.

Но важнее, чем отдельные аресты или изъятия, становится переход к управлению рисками. Это означает, что органы уже не просто реагируют на совершённые преступления, а активно выявляют «браузеры риска»: рынки, посредников, транспортные маршруты, онлайн-площадки, криптовалютные схемы, цепочки экспертов и дилеров. Аналитика становится ключевой: базы данных похищенных объектов, цифровые реестры, системы маркировки культурных ценностей, трансграничный обмен информацией. Специалисты отмечают, что отсутствие специализированного подразделения коррелирует с низким качеством данных и невозможностью системного реагирования. Например, ИНТЕРПОЛ подчёркивает, что многие страны не имеют “national cultural heritage unit” и не передают данные о преступлениях в сфере культурного наследия.

В управлении рисками можно выделить несколько этапов. Первый — **выявление**: инвентаризация, классификация, мониторинг рынка и границ. Второй — **оценка риска**: анализ направлений нелегального вывоза, цепочек посредников, онлайн-рынков, сочетание с другими преступными схемами (отмывание, контрабанда). Третий — **предотвращение**: контроль экспорта/импорта, обязанности due diligence участников рынка, санкции за невыполнение, обучение персонала. Четвёртый — **реагирование и реституция**: расследования, конфискации, международное сотрудничество, возврат объектов. Наконец — **анализ результатов и корректировка стратегии**: использование статистики, обмен опытом, обновление цифровых систем.

Компаративный обзор показывает, что страны, внедрившие весь цикл, достигают лучших результатов. Франция, Германия — примеры, где не просто имеется закон, но есть институты, цифровые инструменты, международное взаимодействие. Напротив, страны с менее развитой структурой «арт-полиции» либо ограничиваются административными механизмами, что снижает эффект уголовной охраны.

Тем не менее даже в наиболее продвинутых юрисдикциях остаются вызовы. Во-первых, ресурсы: квалифицированные эксперты, аналитики, таможенные службы, международные подразделения требуют постоянного финансирования. Во-вторых, цифровые угрозы: онлайн-торговля, криптовалюты, анонимные платформы сокращают традиционные маршруты контроля и требуют новых инструментов; без обновления подходов «арт-полиция» рискует отставать. В третьих, рынок искусства и антиквариата остаётся международным и фрагментированным: участники могут действовать через юрисдикции с слабым контролем, что снижает эффект национальных мер. В-четвёртых, статистика преступлений против культурного наследия остаётся неполной: как показывает UNODC-отчёт, страны не сообщают все данные, что мешает анализу и корректировке стратегии [16].

С точки зрения теории управления рисками можно утверждать, что модель «арт-полиции» является необходимой, но недостаточной. Важно перейти к интегрированной модели, где уголовно-правовой инструмент действует в связке с административным, таможенным, рыночным и цифровым контролем [17]. То есть не «ловим преступников» — а минимизируем вероятность совершения преступления вообще. Это требует культуры compliance на рынке искусства, прозрачности происхождения, обязательств участников цепочки, публичных реестров и международной кооперации.

В практическом контексте это означает: государственные органы должны развивать единые информационные платформы (например, базы похищенных объектов), вводить требования к цифровой маркировке, стимулировать добросовестных участников рынка (через льготы, сертификацию) и быстро реагировать на сигналы риска (например, при обнаружении предмета, перемещающегося подозрительно между странами) [18]. Дополнительно важно сотрудничество с онлайн-платформами, секторами логистики, таможнями и правоохранительными структурами других стран.

Можно отметить, что управление рисками — это также более экономически эффективный путь. Вместо многочисленных расследований после факта, модель направлена на сокращение вероятности совершения преступления, снижение затрат на конфискации, снижение потерь культурного капитала. Как показывают исследования по экономическому

измерению преступлений против культурного наследия, «комплаенс-подход» и превенция часто обходятся дешевле, чем полное расследование и реституция ущерба [19].

Подводя итог, можно сформулировать следующие ключевые положения. Во-первых, уголовно-правовая охрана культурного наследия не может ограничиваться нормами — критически важна институционализация: специализированные подразделения, экспертиза, цифровые реестры, международная кооперация. Во-вторых, переход от диспозитива «арт-полиция» к модели управления рисками способен поднять эффективность всей системы защиты: выявление, оценка, предотвращение и реагирование должны составлять единый цикл. В-третьих, для успешной реализации необходимы ресурсы (люди, технологии, сотрудничество) и рынок искусства как активный партнёр, обязанный стандартам *due diligence*. В-четвёртых, цифровой вызов и транснациональность требуют постоянной адаптации правоприменения: без цифровой аналитики, глобальных баз и взаимного признания реестров институт «арт-полиции» рискует стать анахронизмом.

Таким образом, правоприменение в сфере охраны культурного наследия становится не просто вопросом ответного реагирования на преступления, а вопросом стратегического управления рисками и защиты национального и глобального культурного капитала. Это неотъемлемая часть современной политики культуры, безопасности и международного сотрудничества. Осуществление уголовного судопроизводства на основе принципа состязательности закреплено в Конституции и Уголовно-процессуальном кодексе, что требует обеспечения сторон достаточными процессуальными полномочиями для защиты своих интересов. Это объясняет конституционные основы правоприменения и даёт гарантии справедливого судебного разбирательства по делам о преступлениях против культурного наследия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Konvention über die Maßnahmen zum Verbot und zur Verhinderung der rechtswidrigen Einfuhr, Ausfuhr und Übereignung von Kulturgut. UNESCO, 1970.
2. Council of Europe Convention on Offences relating to Cultural Property (Nicosia Convention), Council of Europe, 2017.
3. Loi n° 2016-925 du 7 juillet 2016 relative à la liberté de la création, à l'architecture et au patrimoine. Journal officiel n° 0158 du 8 juillet 2016.
4. «France has gone from being an exporter of stolen cultural property to an importer.» Yves Bordenave, *Le Monde*, 22 août 2022.
5. Act on the Protection of Cultural Property (Kulturgutschutzgesetz – KGSG), 31 July 2016. Gesetze im Internet.
6. Cultural property law abroad – Germany. Kulturgutschutz Deutschland. (n.d.) Retrieved from https://www.kulturgutschutz-deutschland.de/EN/CulturalPropertyLawAbroad/culturalpropertylawabroad_node.html
7. Law No. 2863 of July 21, 1983 on Conservation of Cultural and Natural Property (as last amended). WIPOLEX.
8. “Turkey Rules: Cultural Heritage Protection Efforts Explained.” ItsArtLaw.org, 26 March 2018.

9. “Turkey – Cultural Property Law Abroad: Turkey.” CulturalPropertyNews.org (Global Art & Heritage Law Series).
10. Dealing in Cultural Objects (Offences) Act 2003 (c. 27). UK Legislation.
11. Revisiting the UK’s Dealing in Cultural Objects (Offences) Act of 2003. ARCA, 5 June 2020.
12. Convention on Cultural Property Implementation Act (CPIA), 19 U.S.C. § 2601 et seq.
13. Vitale K. D., “United States Law and Foreign Cultural Property.” *N.D. Law Review*, vol. 88, 2012, pp. 491-531.
14. UNESCO Convention on the Means of Prohibiting and Preventing the Illicit Import, Export and Transfer of Ownership of Cultural Property, 1970.
15. Italy Amends Its Criminal Code and Broadens Corporate Quasi-Criminal Liability to Tackle Crimes Against Cultural and Landscape Heritage. *Cleary Gottlieb*, 2022.
16. INTERPOL. *Assessing Crimes Against Cultural Property 2020*. International Criminal Police Organization, 2020.
17. Fabel, Paul. “Due Diligence Obligations in the New German Cultural Property Protection Act.” *Santander Art and Culture Law Review*, vol. 2, 2016, pp. 237-246.
18. Qadirov A. Milli Aviasiya Akademiyası. Elmi Məcmuə. cild.27 № 2, 2025. səh. 59-63.
19. Asgarova M. Milli Aviasiya Akademiyası. Elmi Məcmuə. cild 26, №3, 2024 səh. 50-62.

REFERENCES

1. Konvention über die Mabnahmen zum Verbot und zur Verhinderung der rechtswidrigen Einfuhr, Ausfuhr und Übereignung von Kulturgut. UNESCO, 1970.
2. Council of Europe Convention on Offences relating to Cultural Property (Nicosia Convention), Council of Europe, 2017.
3. Loi n° 2016-925 du 7 juillet 2016 relative à la liberté de la création, à l’architecture et au patrimoine. Journal officiel n° 0158 du 8 juillet 2016.
4. «France has gone from being an exporter of stolen cultural property to an importer.» Yves Bordenave, *Le Monde*, 22 août 2022.
5. Act on the Protection of Cultural Property (Kulturgutschutzgesetz – KGSG), 31 July 2016. Gesetze im Internet.
6. Cultural property law abroad – Germany. Kulturgutschutz Deutschland. (n.d.) Retrieved from https://www.kulturgutschutz-deutschland.de/EN/CulturalPropertyLawAbroad/culturalpropertylawabroad_node.html
7. Law No. 2863 of July 21, 1983 on Conservation of Cultural and Natural Property (as last amended). WIPOLEX.
8. “Turkey Rules: Cultural Heritage Protection Efforts Explained.” ItsArtLaw.org, 26 March 2018.
9. “Turkey – Cultural Property Law Abroad: Turkey.” CulturalPropertyNews.org (Global Art & Heritage Law Series).
10. Dealing in Cultural Objects (Offences) Act 2003 (c. 27). UK Legislation.

11. Revisiting the UK's Dealing in Cultural Objects (Offences) Act of 2003. ARCA, 5 June 2020.
12. Convention on Cultural Property Implementation Act (CPIA), 19 U.S.C. § 2601 et seq.
13. Vitale K. D., "United States Law and Foreign Cultural Property." *N.D. Law Review*, vol. 88, 2012, pp. 491-531.
14. UNESCO Convention on the Means of Prohibiting and Preventing the Illicit Import, Export and Transfer of Ownership of Cultural Property, 1970.
15. Italy Amends Its Criminal Code and Broadens Corporate Quasi-Criminal Liability to Tackle Crimes Against Cultural and Landscape Heritage. *Cleary Gottlieb*, 2022.
16. INTERPOL. *Assessing Crimes Against Cultural Property 2020*. International Criminal Police Organization, 2020.
17. Fabel, Paul. "Due Diligence Obligations in the New German Cultural Property Protection Act." *Santander Art and Culture Law Review*, vol. 2, 2016, pp. 237-246.
18. Gadirov A. Elmi Mejmue. *National Aviation Academy*. Vol. 27 No 2, 2025. s. 59-63.
19. Asgerova M. Elmi Mejmue. *National Aviation Academy*. Vol. 26, No 3, 2024 s. 50-62.

MƏDƏNİ İRSİN CİNAYƏT-HÜQUQİ MÜHAFİZƏSİ MÜQAYİSƏLİ HÜQUQDA: FRANSA, ALMANİYA, TÜRKİYƏ VƏ DİGƏR ÖLKƏLƏRİN TƏCRÜBƏSİ

Farzullayeva A.E.

Milli Aviasiya Akademiyası

Dövlətlərin tarixi identikliyi və mədəni irsi eyni zamanda artefaktların qanunsuz dövriyyəsi, incəsənət nümunələrinin oğurlanması, qeyri-qanuni arxeoloji qazıntılar və mədəniyyət abidələrinin qəsdən məhv edilməsi ilə bağlı davamlı kriminal marağın obyektinə çevrilir. Bu şəraitdə mədəni dəyərlərin cinayət-hüquqi mühafizəsi cəmiyyətin maddi və mənəvi əsaslarının itirilməsinə yönəlmiş təhdidlərə qarşı mübarizənin mühüm alətinə çevrilir. Müasir hüquq sistemləri mədəni irsin müdafiəsi üzrə kompleks model formalaşdırmağa çalışır ki, bu model beynəlxalq-hüquqi öhdəlikləri, inzibati mühafizə rejimlərini və mədəni obyektlərə qarşı yönəlmiş cinayətlərlə mübarizəni və restitusiyanı təmin etməyə xidmət edən xüsusi cinayət tərkiblərini özündə birləşdirir.

Məqalədə Avropa və Asiyanın bir sıra dövlətlərində — Fransada, Almaniya və Türkiyədə mədəni irsin cinayət-hüquqi mühafizəsinin müqayisəli-hüquqi təhlili təqdim olunur. Bu hüquq sistemlərinin seçimi onların mədəni irsin mühafizəsinə dair beynəlxalq mexanizmlərdə aktiv iştirakı, inkişaf etmiş institusional infrastrukturunun mövcudluğu (xüsusi polis bölmələri, mədəni dəyərlərin rəqəmsal reyestrləri, gömrük nəzarəti sistemləri) və mədəni obyektlərə qarşı yönəlmiş cinayət tərkiblərinin kriminallaşdırılmasına dair müasir yanaşmalarla izah olunur. Tədqiqatda milli cinayət qanunvericiliyinin xüsusiyyətləri, mədəni irs əleyhinə olan cinayətlərin təsnifatı, hüquqi şəxslərin məsuliyyət tədbirləri, habelə incəsənət əsərlərinin mənşəyinə və dövriyyəsinə nəzarətin preventiv mexanizmləri araşdırılır.

Aparılmış təhlilin nəticələri göstərir ki, rəqəmsallaşma, transmilli cinayətkarlıq və global incəsənət bazarı şəraitində mədəni irsin cinayət-hüquqi mühafizəsinin inkişaf istiqamətlərinin müəyyən edilməsi bu sahədə cinayətkarlığa qarşı mübarizənin effektivliyini artırmağa imkan verir.

***Açar sözlər:** Mədəni irs, cinayət-hüquqi mühafizə, mədəni dəyərlərin qanunsuz dövriyyəsi, beynəlxalq-hüquqi standartlar, restitusiya, düzgün diqqətlilik (due diligence), ixtisaslaşmış hüquq-mühafizə orqanları, ixrac-idxal nəzarəti, transmilli cinayətkarlıq, mədəni irsə qarşı rəqəmsal təhdidlər.*

CRIMINAL-LEGAL PROTECTION OF CULTURAL HERITAGE IN COMPARATIVE LAW: THE EXPERIENCE OF FRANCE, GERMANY, TURKEY, AND OTHER COUNTRIES

Farzullayeva A.E.

National Aviation Academy

The historical identity and cultural heritage of states simultaneously become an object of persistent criminal interest, associated with the illicit trafficking of artifacts, theft of works of art, illegal archaeological excavations, and the deliberate destruction of cultural monuments. Under these conditions, the criminal-legal protection of cultural property becomes a key instrument in countering threats aimed at undermining the material and spiritual foundations of society. Modern legal systems strive to develop a comprehensive model for the protection of cultural heritage, which includes international-legal obligations, administrative protection regimes, and special criminal offences designed to prevent unlawful acts and ensure restitution.

This article presents a comparative-legal analysis of the criminal-law protection of cultural heritage in several European and Asian jurisdictions — France, Germany, and Turkey. The selection of these legal systems is explained by their active participation in international mechanisms for the protection of cultural heritage, the existence of a developed institutional infrastructure (specialized police units, digital registers of cultural property, customs control mechanisms), and the implementation of modern approaches to the criminalization of offences involving cultural objects. The study examines the features of national criminal legislation, classification of offences against cultural heritage, liability of legal persons, as well as preventive mechanisms for controlling the provenance and circulation of cultural goods.

The findings demonstrate that, in the context of digitalization, transnational crime, and the global art market, identifying perspectives for the further development of criminal-law protection of cultural heritage enables a more effective response to offences in this domain.

Keywords: Cultural heritage, criminal-legal protection, illicit trafficking of cultural property, international-legal standards, restitution, due diligence, specialized law-enforcement bodies, export-import control, transnational crime, digital threats to cultural heritage.

Сведения об авторе

Фамилия, имя, отчество	Место работы	Должность, научная степень, научное звание	Контакты
Фарзуллаева Афат Elxan kızı	Национальная Академия Авиации	Старший преподаватель кафедры «Права», к. ю.н.	afat.farzullayeva@naa.edu.az mob: (+994) 50 224-77-78

UOT: 34.342

DOI:10.30546/EMNAA.2025.25.04.432

HAKİMİYYƏTLƏR BÖLGÜSÜ BAXIMINDAN KONSTITUSİYA MƏHKƏMƏSİNİN QANUNVERİCİLİK ORQANININ FƏALİYYƏTİNƏ NƏZARƏTİ

Məmmədli Ş.Ə.

Milli Aviasiya Akademiyası

Hər bir sistemdə olduğu kimi, dövlətin də mövcudluq prinsipi sistemaltı elementlərə, onların qarşılıqlı əlaqəsinə və hakimiyyət səlahiyyətlərinin, yəni dövlətin hakimiyyət səlahiyyətlərinin bu sistemaltı elementlər arasında düzgün, harmonik şəkildə bölüşdürülməsinə əsaslanır. Bu mənada dövlətin spesifik əlaməti olan hakimiyyət xüsusiyyəti müxtəlif orqanlar arasında bölünür və çünki bir sistemaltı elementin bütün hakimiyyət səlahiyyətlərini əlində cəmləşdirməsi bu səlahiyyətlərin istismar olunmasına, xalqın iradəsinin müvafiq orqan tərəfindən istismarına səbəb olmaqla despotik və nəzarət imkanı olmayan bir rejimin təməlini qoyur. Bu zaman həmin struktur istədiyi qanunu qəbul edə, onu istədiyi kimi icra edə, hətta icrasının şərtlərini belə müəyyən edə bilər. Bu zaman da həmin orqanın istər-istəməz öz mənafeyi naminə bu hakimiyyət səlahiyyətlərini həyata keçirməsi qacınılmaz olur. Məhz buna görə də hakimiyyətlərin bölgüsü prinsipi formalaşır və icra, qanunvericilik, məhkəmə hakimiyyətlərinin müstəqil, lakin qarşılıqlı əlaqədə fəaliyyət göstərməsi fikri dövlət idarəetməsində mənimsənilir. Bu zaman dövlətin və cəmiyyətin davranış qaydalarını müəyyən edən normalar qanunverici orqan tərəfindən qəbul olunur və bu da açıq şəkildə göstərir ki, həm xalqın iradəsinə dolayı yolla ifadə baxımından, həm də hər bir dövlət strukturunun, eləcə də cəmiyyətin fəaliyyət normalarını müəyyən etməsi baxımından parlamentin rolu hakimiyyət bölgüsündə olduqca mühüm əhəmiyyət daşıyır. Hər bir hakimiyyət qolunun fəaliyyətində özbaşınalığın yaxud yarana biləcək səhvlərin qarşısının alınması üçün nəzarət mexanizminin mövcudluğunun labüdlüüyü ilə əlaqədar parlamentin də üzərində belə bir nəzarətin yaranması fikri ortaya çıxır ki, bu nəzarəti Konstitusiya nəzarəti orqanı kimi Konstitusiya məhkəməsi həyata keçirir.

Bu baxımdan Konstitusiya məhkəməsinin dövlət hakimiyyət sistemində yeri və əhəmiyyəti dövlətin və cəmiyyətin necə fəaliyyət göstərməli olması ilə bağlı normaların, yəni qanunların kolliziyadan kənar, hüquqa və ilk növbədə konstitusiyaya uyğun şəkildə mövcudluğuna nəzarət mexanizmini özündə ehtiva etməsi baxımından mühüm əhəmiyyət daşıyır ki, bu dövlət həyatının ən önəmli hissəsini əhatə edir. Çünki nə icra, nə də məhkəmə hakimiyyəti bu nəzarəti təmin edə bilmir. Digər tərəfdən qanunların icrası və onların pozulmasına nəzarət mexanizminin mövcudluğundan öncə həmin qanunların özünün iyerarxik şəkildə ziddiyyətsiz və hüquqa uyğun surətdə mövcud olmaları gərəkdir. Əks halda, hüquqi baxımdan naqis qanunların icrası və onların pozulmasının qarşısının alınması dövlət və cəmiyyət düzəni baxımından olduqca zərərli olacaqdır.

Tədqiqatın məqsədi Konstitusiya Məhkəməsinin nəinki hakimiyyətlər bölgüsünün fəvqündə durduğunu, əksinə onun fəaliyyətinin bu bölgüdəki tarazlığın qorunmasına xidmət etdiyini ortaya qoymaqdır. Tədqiqatın aktuallığı isə dövlət sistemimizdə hələ otuz yaşını tamamlamamış Konstitusiya Məhkəməsinin mövcudluğunu və parlament üzərində nəzarətini konstitusion hüquqi baxımdan əsaslandırmağa yönəlib.

Açar sözlər: Konstitusiya, Konstitusion quruluş, Konstitusiya nəzarəti, Konstitusiya məhkəməsi, Hakimiyyətlər bölgüsü, Qanunverici hakimiyyət, Dövlət, Nəzarət funksiyası.

1. Giriş

Konstitusiya nəzarəti mexanizmi hakimiyyətlər bölgüsü prinsipinin təmini baxımından böyük əhəmiyyət ərz edir. Xalqı dövlət idarəçiliyindəki özbaşnalıqdan qorumaq, həmçinin dövlət hakimiyyət səlahiyyətlərinin həyata keçirilməsi zamanı insan hüquq və azadlıqlarının qorunması baxımından hakimiyyətlər bölgüsü prinsipi və onun tələbinə görə qanunvericilik, icra və məhkəmə hakimiyyətlərinin ayrılması, yəni fərqli orqanlar tərəfindən sözügedən hakimiyyətlərə aid səlahiyyətlərin realizə edilməsi və onların fəaliyyətlərinə bir-biri tərəfindən nəzarət edilməsi mexanizmi nəzərdə tutulmuşdur. Bu qarşılıqlı tənzimləmələrə misal olaraq deyə bilərik ki, bir sıra ölkələrdə qanunlar qanunverici orqan tərəfindən qəbul edilir, lakin prezident tərəfindən imzalanmazsa qüvvəyə minmir, yaxud müəyyən vəzifələrin tutulması qanunverici və icra hakimiyyəti orqanlarının razılaşması ilə həyata keçir və s. Bununla belə, öz səlahiyyətləri çərçivəsində bu orqanlar müstəqildirlər, onların bir-birinin fəaliyyətinə birbaşa müdaxiləsi yolverilməzdir və bir-birlərinə təbə deyillər.

Bu hakimiyyət qollarının hər biri öz nəzarət mexanizminə də malikdir. Məsələn, birinci instansiya məhkəməsinin təqsirləndirilən fiziki şəxs barəsində qəbul etdiyi hökmdən şikayət mexanizmi ali instansiya məhkəməsinə qədər uzanan bir pillə ilə təmin edilmişdir. İcra hakimiyyəti orqanlarının qəbul etdiyi aktlardan həmin orqana, məhkəməyə yaxud yuxarı orqanlara şikayət mexanizmi də nəzərdə tutulmuşdur. Lakin parlamentin fəaliyyəti, yəni qanunvericilik fəaliyyəti ilə bağlı belə bir mexanizm konstitusion nəzarət olmadan mümkün deyildir. Düşünək ki, konstitusiyaya zidd hər hansı bir qanun qəbul olunub yaxud hansısa bir hüquq sahəsində qəbul olunan spesifik qanunlar ilə məcəllədəki müvafiq maddələr arasında kolliziya mövcuddur. Bu halda sözügedən ziddiyyətlərin aradan qaldırılması yaxud qanunun ləğv olunması ilə bağlı haraya müraciət etmək lazımdır? Bu funksiya nə icra hakimiyyəti orqanına, nə də instantiv məhkəmə hakimiyyəti orqanına məxsus deyil və olmamalıdır da, çünki bu zaman həm onların qanunverici hakimiyyətin fəaliyyətinə müdaxilə imkanları yaranacaq, həm də iş yükləri artacaqdır. Bu problemlərin qarşısının alınması üçün heç bir dövlət hakimiyyət orqanına təbə olmayan və məhkəmə hakimiyyəti orqanlarından da bir sıra spesifik cəhətləri ilə fərqlənən bir strukturun yaradılması zərurəti ortaya çıxır ki, bu struktur Konstitusiya Məhkəməsidir. Əlbəttə, Konstitusiya Məhkəməsinin formalaşması ilə bağlı ədəbiyyatda yekdil bir fikir mövcud deyil. Bir sıra müəlliflər bu orqanın müstəqil bir hakimiyyət qolu kimi suverenlik qazanacağını və dövlət idarəçiliyində hakimiyyətlər bölgüsü baxımından tarazlığı pozacağı kimi fikirləri də irəli sürmüşlər. Bu baxımdan araşdırma Konstitusiya Məhkəməsinin dövlət hakimiyyət sistemindəki yeri və konstitusion nəzarət mexanizmini özündə daşması baxımından əhəmiyyətə malikdir. Bununla əlaqədar müxtəlif fikirlər ələ alınacaq və Konstitusiya nəzarətinin mövcudluğunun dövlət idarəçiliyində həqiqətən də gərəkli olub-olmadığı fikri nəzərdən keçiriləcəkdir.

Araşdırma zamanı dövlətin özünün mövcudluğunun mahiyyətinə və hüquqla əlaqəsinə qısaca toxunulacaq və bununla bağlı klassik qaynaqlara müraciət olunacaqdır. Daha sonra dövlətin formalaşmasında hakimiyyətlər bölgüsü prinsipinin və konstitusion nəzarətin niyə həyati önəm daşdığı məsələsi müzakirə olunacaq və sonda bu nəzarəti həyata keçirən orqan kimi Konstitusiya Məhkəməsinin dövlət quruculuğunda və hakimiyyət bölgüsündəki əhəmiyyəti incələniləcəkdir. Bu araşdırma ərzində isə analiz və tarixilik metodu rəhbər tutulacaqdır.

2. Dövlət hakimiyyəti və hakimiyyətlər bölgüsü prinsipinin formalaşması

Dövlət, eləcə də onun fəaliyyətinin ayrılmaz prinsipinə çevrilmiş hakimiyyətlər bölgüsü prinsipi haqqında danışarkən ilk növbədə bu anlayışların məzmununa toxunmaq gərəklidir. Dövlət nədir? Hər bir dövlət özündə bir növ münasibəti təmsil edir, bütün münasibətlər hər hansı rifah naminə təşkil edilsə, onda aydındır ki, bütün münasibətlər bu və ya digər rifaha doğru yönəlir. Bu münasibətlərdən ən əhəmiyyətli isə məntiq etibarilə daha çox insanın rifahına yönələn münasibətdir ki, bu da dövlət adlanır [1, səh. 9]. Dövlətin əsasında duran cəmiyyət, yəni insanların vahid məqsədə, xoşbəxt həyata yönələn birliyi isə fərdlərdən təşkil olunmuşdur. Məhz insanların xoşbəxt yaşamını təmin edən cəmiyyət düzəni bütün digər haqların təməli olan müqəddəs bir haqdır [2, səh. 19]. İnsanın təbii məqsədi olan xoşbəxtliyə ancaq dövlətin mövcud olduğu şəraitdə nail olmaq olar [3, səh. 125]. Bu mənada dövlət xoşbəxt yaşam üçün birləşən insanların kamil icmasıdır. Dövlətin və hüququn məqsədi insanların yaxşılığıdır [4, səh. 43-45]. Cəmiyyətin yaranması ilə bağlı qeyd edə bilərik ki, insanların hüququ bir-birləri tərəfindən şəxsi maraq və mənafeləri naminə pozula bilir və bu xaoslu münasibətlər şəraitində hər kəs zərər təhdidi altında olur. Bu səbəbdən də insanlar hüquq və azadlıqlarını qorumaq və zərər görmədən yaşamaq üçün bir-birləri ilə müəyyən qaydalara tabe olacaqları barədə razılaşırlar ki, bu qaydalar sözügedən hüquq və azadlıqlarının təmininə, qorunmasına və onları pozan kəslərin cəzalandırılmasına yönəlir. Məqsəd odur ki, insanlar müvafiq pozuntuları törətməkdən çəkinsin, beləliklə də, pozuntuların sayının artması ilə yenidən xaos yaranmasın. Beləliklə, “ictimai anlaşma” ilə cəmiyyət yaranır. Dövlət vahid məqsəd və səbəblərlə bir araya gələn insanlar tərəfindən yaradılan bir təsisat kimi, onu yaradan subyekt olaraq suveren varlıq kimi millət adlanan cəmiyyətin maraq və mənafeələrinin təmin olunması məqsədilə mövcud olur. Üzvlərindən hər birinin canını, malını bütün ortaq güclə müdafiə edib qoruyan elə bir cəmiyyət növü tapılmalı ki, orada hər insan həm hər kəslə birləşdiyi halda yenə öz ixtiyarında qalsın, həm də əvvəlki qədər azad olsun. İctimai sözləşmənin həll yolunu tapdığı əsas məsələ budur. Üzvləri bu cəmiyyətə sahib olduğu zaman ona dövlət (etat) deyirlər [2, səh. 19, 31, 33].

Yuxarıda qeyd etdiyimiz əsaslarla insanlar maraq və mənafeələrinin şəxsi mühakimələri nəticəsində toqquşmasının qarşısını almaq üçün özləri üzərində hakimiyyət səlahiyyətlərini müəyyən bir subyektə ötürməklə dövləti yaradırlar. Hüquqşünas alim Hayati Hazırın dövlətə verdiyi anlayış qeyd etdiyimiz fikirlərin ümumi nəticəsini ifadə edir: “Dövlət müəyyən bir ölkədə məskunlaşan və hakimiyyət mexanizminə sahib bir subyekt tərəfindən idarə olunan cəmiyyətin meydana gətirdiyi siyasi təsisatdır” [5, səh. 327].

Göründüyü kimi, dövlət cəmiyyət tərəfindən yaradılmaqla müvafiq toplumun maraqlarına xidmət edən və bu zaman da özünəməxsus cəhət kimi hakimiyyətdən istifadə edən bir təsisatdır. Bildiyimiz kimi, dövlətin də, cəmiyyətin də mövcud olması üçün hüquq və qanunun mövcudluğu gərəklidir. Necə ki, hər bir canlı varlıq müəyyən bir davranış sistemi əsasında hərəkət edir və yaşayır, həmin qaydalar dövlət və cəmiyyət üçün yaradıldıqda hüquq adını alır. Bu qaydalar cəmiyyət və dövlət həyatının hər bir sahəsinə təsir edir. Ailədaxili münasibətlərdən tutmuş, dövlət orqanlarının qarşılıqlı münasibətlərinə qədər ən müxtəlif məsələlərə toxunan hüquq, təbii ki, mürəkkəbləşir və bir növ ixtisaslaşır [6, səh. 18-19].

Dövlətin necə idarə olunması, hərəkət qaydalarının necə müəyyən ediləcəyi, hansı sferalarda fəaliyyət göstərəcəyi, bu fəaliyyəti hansı sistemaltı elementlər və proseduralar vasitəsilə gerçəkləşdirəcəyi, bu qaydaların pozulması ilə bağlı hansı tədbirlərin görülməli olduğu ilə bağlı təməl fikirlər hakimiyyətlərin mövcudluğu fikrini avtomatik olaraq doğurmuşdur. Çünki dövlətin necə idarə olunması və bu qaydaların necə müəyyən ediləcəyi, hansı sferalarda fəaliyyət göstərəcəyi ilə

bağlı qanunlar qəbul olunur ki, onların qəbulu səlahiyyəti bir subyekt kimi qanunverici hakimiyyət orqanının əlindədir. Bu qanunların icra olunması, yəni yerinə yetirilməsi və icrasına nəzarətlə bağlı səlahiyyətlər isə icra hakimiyyətinə xasdır. Bununla yanaşı, icra hakimiyyəti orqanları da öz səlahiyyətləri çərçivəsində müəyyən aktlar qəbul etmək imkanına malik olurlar. Dövlət tərəfindən müəyyən olunan davranış qaydalarının pozulmasının ədalət mühakiməsi çərçivəsində qiymətləndirilməsi ilə bağlı olaraq məsuliyyətə cəlb olunma və cəza tədbirlərinin tətbiqi məsələsində, eləcə də hüquqi mübahisələrin həll edilməsi ilə bağlı olaraq məhkəmə hakimiyyəti formalaşır. S.Y. Qasımovun da qeyd etdiyi kimi, hüquq subyektlərinin hüquqi vəziyyətinin müəyyənləşdirilməsi hüquqi normalar çərçivəsində baş verir. Dövlət hakimiyyət qolları, yəni qanunvericilik, icra, məhkəmə hakimiyyəti ilə bağlı normalar isə hakimiyyət xarakterli olmaqla idarəedənlərin iradəsinin realizəsinə xidmət edir və həm də idarə olunanlar kimi cəmiyyət üzvlərinin də hüquqi statusunu müəyyən edir [7, səh. 44]. Belə ki, bununla hüquq subyektlərinin hüquq və azadlıqlarının təsbit edilməsi, icrası, mühafizə və müdafiəsi ilə bağlı mexanizm formalaşır və hüquq subyektləri dövləti yaratmaqda məqsədlərinə nail olurlar, yəni sosial, iqtisadi, siyasi və s. Tələbatlarını realizə və müdafiə edə bilmək üçün yaratdıqları dövlətdə hakimiyyət qollarının fəaliyyətini tənzimləyən normalar ilə dövlət tərəfindən demokratik şəkildə sözügedən realizə və müdafiə imkanına qovuşmuş olurlar. Bu hakimiyyət qollarının tək bir subyektin əlində cəmləşməsi həm hakimiyyət səlahiyyətlərinin realizəsi zamanı obyektiv nəzarət imkanını aradan qaldırır, həm də insan hüquq və azadlıqlarının müvafiq subyektin maraq və mənafeyi pozulması riskini yaradır. Lakin hakimiyyət səlahiyyətləri bir neçə subyekt arasında bölündükdə və onların fəaliyyətinə nəzarət mexanizmi mövcud olduqda insanların hüquq və azadlıqlarının pozulmasına səbəb olacaq vahid bir maraq və mənafe dairəsi mövcud olmur. Digər tərəfdən də bir subyekt tərəfindən dövlət həyatının bütün sferalarında fəaliyyətin həyata keçirilməsi iş yükü baxımından olduqca çətinlik yaradır ki, bununla bağlı da fərqli subyektləri əhatə edəcək şəkildə müstəqil fəaliyyət dairəsi çərçivəsində hakimiyyətlər bölgüsü prinsipi formalaşır.

3. Hakimiyyətlər bölgüsündə Konstitusiya Məhkəməsinin rolu

Antik dövrlərdən bəri hakimiyyətlər bölgüsü prinsipinin mövcudluğu ilə bağlı fikirlər mövcud olmuş və özünün ən mühüm inkişaf mərhələsinə baron Monteskyö ilə çatmışdır. Monteskyö hakimiyyət bölgüsü prinsipini müasir dövrdə istifadə olunan formada, qanunverici, icra və məhkəmə hakimiyyəti qolları ilə formülə etmişdir [8, səh. 47]. O, siyasi azadlığın təmin edilməsi baxımından bu üç hakimiyyət qolunu bir-birindən ayırmışdır. Əgər bir dövlətdə bütün bunlar bir subyektin əlində cəmləşərsə, insanların hüquq və azadlıqları aradan qalxar. Bu üç hakimiyyət qolu istər bir nəfər, istərsə dövlət məmurları, istər xalq, istərsə də aristokratlar olsun müəyyən bir şəxsin və ya zümrənin əlində toplandığı təqdirdə dövlətdəki nizam dağılmağa üz tutacaqdır [8, səh. 50].

Bu tarazlıq-nəzarət mexanizmi ilə bağlı hakimiyyət bölgüsü prinsipinin memarı sayılan Monteskyö bir sıra fikirlər irəli sürmüşdür, lakin o, qanunlar arasında, eyni zamanda konstitusiya ilə digər qanunvericilik aktları arasında ziddiyyət yaranacağı təqdirdə, bu ziddiyyətlərin həlli ilə bağlı konkret bir mexanizm ortaya qoymamışdır. Düşünsək ki, qanunverici hakimiyyət müəyyən bir qanunvericilik aktını qəbul etdi və daha sonra həmin akt qüvvəyə mindi. Qanunvericilik fəaliyyəti zamanı qəbul olunan aktlar arasında ziddiyyət yaranması yaxud icra hakimiyyət qolu tərəfindən qəbul edilən hüquqi aktların daha yuxarı iyerarxik aktlarla kolliziya yaratması ilə bağlı problemlərin həlli, yəni müvafiq aktların müddəalarında dəyişiklik edilməsi yaxud qüvvədən salınması ilə bağlı nə icra, nə qanunverici, nə də instantiv məhkəmə orqanlarına bir səlahiyyət verilməmişdir ki, bu təbiidir. Belə

ki, qanunverici hakimiyyətə bu səlahiyyətin verilməsi ona görə əbəsdir ki, bir orqanın özünün fəaliyyətinə obyektiv nəzarət etməsi hər zaman mümkün olmur. Çünki aktı qəbul edən subyekt onu hansısa bir əsasla qəbul edir və öz mövqeyinə zidd şəkildə həmin aktı dəyişdirməsi yaxud ləğv etməsi gözlənilən nəticəni verəcək bir proses olmayacaqdır. Çünki heç kəs öz işində hakim ola bilməz [9, səh. 123]. Digər tərəfdən həmin orqan öz nüfuzunu müvafiq aktın qəbulu zamanı hüquqi ziddiyyətə yol verdiyini qəbul edərək zədələmək istəməyəcəkdir. İcra hakimiyyətinin belə bir funksiya daşımından isə, ümumiyyətlə, söhbət gedə bilməz. Çünki bu zaman icra hakimiyyəti öz mənafeyinə uyğun şəkildə qanunlara müdaxilə imkanına malik olacaqdır. Beləliklə, icra hakimiyyəti orqanları öz səlahiyyətlərini artırmaq məqsədilə müvafiq qanunvericilik aktlarına müdaxilə imkanına malik olacaqlar. İntantiv məhkəmə orqanları isə öz xarakteri etibarilə belə bir nəzarət mexanizmini ona görə daşımamalıdır ki, bu həm qanunverici hakimiyyətə məhkəmə hakimiyyəti sisteminin xeyrinə müdaxilə imkanını yaradır, həm də məhkəmələrin iş yükünü artırır. Dolayısı ilə qanunların və qanunaltı aktların dövlətin təməl aktı olan konstitusiyaya və hüquqa uyğunluğu ilə bağlı nəzarət mexanizmi müstəqil bir orqana aid olmalıdır ki, bu orqan Konstitusiya Məhkəməsidir. Eyni zamanda onun bu fəaliyyəti müvafiq subyektlərin müraciətinə əsaslanmalı, Konstitusiya Məhkəməsinin səlahiyyətləri bu çərçivədə müvafiq aktın konstitusiyaya uyğunluğunun müəyyən edilməsi ilə bağlı olmalıdır ki, bu orqan öz maraq və mənafeyi naminə fəaliyyət göstərə bilməsin və istədiyi zaman qərar qəbul edə bilməsin. Əgər biz konstitusiyaya əsaslanan demokratiyadan danışırıqsa, hüququn aliliyinin bərqərar olması, eləcə də əsas insan hüquq və azadlıqlarının qanunların qəbulu nəticəsində pozulmasının qarşısının alınması baxımından konstitusiya nəzarətinin mövcudluğu böyük önəm daşıyır [10, səh. 2]. Bu nəzarəti həyata keçirən orqan bir sıra Avropa dövlətlərində (məsələn, Çexiya, Polşa, Macarıstan, Avstriya), Türkiyədə, həmçinin Azərbaycan Respublikasında Konstitusiya Məhkəməsi adlandığına görə, biz də konstitution nəzarət orqanının adını bu şəkildə qeyd etdik, əks halda bu nəzarəti həyata keçirməli olan orqan və onun adı ilə bağlı fikirləri daha öncədən müzakirə etməli olacaqdı ki, bununla mövzumuz başqa səmtə yönələcəkdi.

Konstitusiya nəzarəti dövlət başçısı, parlament, hökumət və s. Tərəfindən həyata keçirildiyi halda “siyasi konstitusiya nəzarəti” adlandırılır. Lakin daha tutarlı formada konstitusiya nəzarəti özünün xüsusi konstitusiya səlahiyyətləri çərçivəsində və qanunvericiliklə müəyyən edilmiş qaydada məhkəmə proseduru vasitəsilə spesifik məhkəmə instansiyası tərəfindən təmin edilir. Bu zaman qanunun və ya onun bir hissəsinin konstitusiyaya uyğunluğu üzrə qəti qərar qəbul edilir. Siyasi konstitusiya nəzarətindən fərqli olaraq konstitusiya nəzarətinin məhkəmə sistemi, bir qayda olaraq, inkişaf etmiş, demokratik təsisatlara malik olan, “hakimiyyətlərin bölgüsü” prinsipini qəbul etmiş dövlətlərdə daha geniş formada tətbiq edilir.

Ədəbiyyatda konstitusiya nəzarətinin xarakteri ilə bağlı əsas mübahisə siyasi konstitusiya nəzarətinin yaxud məhkəmələr tərəfindən həyata keçirilən konstitusiya nəzarətinin daha düzgün və effektiv olması ətrafında gedir. Bu müzakirə həmçinin Konstitusiya Məhkəməsinin rolunun dövlət sistemində müəyyən edilməsi baxımından böyük önəm daşıyır. Belə ki, bir qrup alim konstitusiya nəzarətinin normativ hüquqi aktı qəbul edən orqanın özü tərəfindən həyata keçirilməsinə (siyasi konstitusiya nəzarətinə) tərəfdar çıxırlar, digər qrup isə bu funksiyanın məhkəmə xarakterli ayrıca bir orqan (ümumi məhkəmələr və ya bu məqsədlə yaradılmış ayrıca orqan) tərəfindən həyata keçirilməsini düzgün hesab edirlər. Bir çox müəlliflər (N.Nikiforov, J.Tonissen və b.) “konstitusiya nəzarətinin məhkəmələr tərəfindən həyata keçirilməsi zamanı hakimiyyətlər bölgüsü” prinsipinin pozulduğu faktına istinad edirlər. Hesab edilir ki, təyinetmə əsasında təşkil olunan və kiçik heyətə

malik olan bir orqanın dövlət strukturu iyerarxiyasında ümumi seçkilər əsasında təşkil olunmuş bir orqandan, yəni parlamentdən yüksəkdə durması seçkili orqanların aliliyi prinsipinə və hakimiyyətin bölgüsü prinsipinə ziddir. Bu fikri müdafiə edən müəlliflərə görə, məhkəmələr tərəfindən həyata keçirilən nəzarət qanunverici hakimiyyətin suverenliyinin inkarından başqa bir şey deyil. Bu da bizim konstitusion təşkilatımızın əsası olan hakimiyyətin bölünməsinin inkarına gətirib çıxarır. Qanunverici hakimiyyət qanun qəbul edir, məhkəmə hakimiyyəti onu tətbiq edir, icraedici hakimiyyət isə onların həyata keçirilməsinə çalışır. Bu hakimiyyətlərin hər biri onlar üçün müəyyənləşdirilmiş sərhəddə dayanmalıdırlar. Məhkəmələr qanunlara nəzarət etmək və dəyişdirmək üçün deyil, onları tətbiq etmək üçün yaradılmışdır. Onlar necəliyindən asılı olmayaraq, qanunverici hakimiyyətin göstərişlərinin tətbiqini təmin etməlidirlər.

Burada konstitusiya məhkəmə nəzarəti əleyhinə iki arqument irəli sürülür: onlardan birincisi, konstitusiya məhkəmə nəzarətinin parlamentin suverenliyi ilə bir araya sığmamasını, digəri isə bu institutun hakimiyyət bölgüsü prinsipinə zidd olmasını ehtiva edir. Hələ, 20-ci əsrin əvvəllərində Hans Kelzen birinci arqumenti rədd edərək bildirirdi ki, “suverenlik bütövlükdə dövlətə məxsus olduğundan hər hansı bir dövlət orqanının suverenliyindən ayrılıqda danışmaq olmaz”. O belə düşünən hüquqşünasların fikirlərini əsassız hesab edərək, onların bir tərəfdən hüquqi dövlət ideyalarını müdafiə etmələrini, digər tərəfdən isə qanunvericini hüquqi nəzarətdən təcrid etmələrini məntiqsiz və ziddiyyətli hesab edirdi [11, səh. 13-14]. Həqiqətən də, nəzər yetirdikdə dövlət hakimiyyət orqanlarının fəaliyyəti elə qarşılıqlı şəkildə tənzimlənmişdir ki, heç bir orqan tam müstəqil şəkildə fəaliyyət göstərərək öz maraq və mənafeyini güdə bilmir. Elə Azərbaycan Respublikasının Konstitusiyasına nəzər yetirsək, görürük ki, qanunların Azərbaycan Respublikası Prezidenti tərəfindən imzalanmadan qüvvəyə minməməsi, Konstitusiya Məhkəməsinin həm icra, həm də qanunvericilik hakimiyyətinə təsirini nəzərdə tutan Konstitusiya müddəaları (impiçment; Azərbaycan Respublikasının Konstitusiyasına zidd olan qanunların, digər normativ hüquqi aktların müddəalarının ləğvi) ölkəmizdə hakimiyyətlərin bölgüsü konsepsiyasının real hüquqi bazasının formalaşdığını deməyə əsas verən ən mühüm müddəalardır [12, səh. 639-640].

Həqiqətən də, Konstitusiyamıza nəzər yetirsək, hakimiyyət qollarının fəaliyyətinin uzlaşdırıldığını görürük. Misallara nəzər yetirsək, Azərbaycan Respublikasının Konstitusiya Məhkəməsi, Ali Məhkəmə və apelyasiya məhkəmələrinin hakimlərinin vəzifəyə təyin olunması icra hakimiyyəti orqanı olan prezidentin təklifi əsasında qanunverici orqan olan Milli Məclisin razılığı ilə mümkün olur. Digər bir misal versək, Milli Məclisin qəbul etdiyi qanunlar prezident tərəfindən imzalanmaqla qüvvəyə minir. Həmçinin Azərbaycan Respublikası Prezidentinin vəzifədən kənarlaşdırılması təşəbbüsü Azərbaycan Respublikasının Prezidenti ağır cinayət törətdikdə Azərbaycan Respublikası Konstitusiya Məhkəməsinin təşəbbüsü ilə Azərbaycan Respublikası Ali Məhkəməsinin 30 gün müddətində verilən rəyi əsasında Azərbaycan Respublikasının Milli Məclisi qarşısında irəli sürülə bilər [13, mad. 95.I.10, 97.II, 107.I]. Göründüyü kimi, hakimiyyət orqanlarının fəaliyyəti mütləq mənada müstəqil deyilsə, qanunvericilik hakimiyyəti orqanının qanunvericilik fəaliyyəti ilə bağlı mütləq mənada müstəqil olması və bu barədə nəzarət mexanizminin olmaması nə dərəcədə məntiqə uyğundur? Bu hakimiyyətlər bölgüsünə zidd olduğu kimi, çünki hər bir orqanın fəaliyyətinə nəzarət mexanizmi olmalıdır, digər tərəfdən də qanunverici orqanın heç zaman insan hüquq və azadlıqlarına zidd bir akt qəbul edə bilməyəcəyi mənasına gəlir ki, belə bir prezumpsiyanın qəbul olunması absurddur. Çünki istər Azərbaycan Respublikasının, istərsə də dünya ölkələrinin hüquq təcrübəsinə nəzər yetirsək, Konstitusiya Məhkəmələrinin qərarlarında

yetərincə bu kimi halların təsbit edildiyini görə bilərik. Bu baxımdan ən yüksək hüquqi qüvvəyə malik akt kimi konstitusiyanın aliliyi Konstitusiya Məhkəməsi tərəfindən təmin olunur [13, mad. 147.I; 14, mad. 1.2].

İkinci arqumentə cavab olaraq H.Kelzen “dördüncü hakimiyyətin” xeyrinə bir sıra dəlillər irəli sürürdü. Onun fikrincə, konstitusiya ədliyyəsini ayrıca hakimiyyət qolu hesab etmək olmaz, burada yalnız qanunvericilik (normayaradıcılıq) fəaliyyəti istisnalıq təşkil edir, sadəcə olaraq konstitusiyaya uyğun olmayan normalar müəyyən edilməklə, onların tətbiqi məhdudlaşdırılır, başqa sözlə, konstitusiya ədliyyəsi neqativ qanunverici kimi çıxış edir. H.Kelzenin fikirlərinin davamı olaraq qeyd etmək lazımdır ki, “siyasi nəzarət institutu”nun tərəfdəşlərinin ifadə edilən mövqeyi hüquqi arqumentlər baxımından çox zəifdir. Əvvəla, məşhur ifadəyə uyğun olaraq “heç kim öz işində hakim ola bilməz”. Parlament, Prezident və başqa siyasi konstitusiya nəzarət orqanları siyasi xarakterli fəaliyyəti həyata keçirdiklərindən obyektiv hüquqi qiymətləndirməni həyata keçirmək imkanına malik deyillər.

Beləliklə, konstitusiya nəzarəti konstitusiyanın ali hüquqi qüvvəsinin təmin edilməsi üzrə fəaliyyəti özündə ehtiva etməklə “siyasi konstitusiya nəzarəti” və “məhkəmə nəzarəti” kimi təzahür edə bilər. Bir qayda olaraq, konstitusiya nəzarətinin daha demokratik forması kimi məhkəmə nəzarəti qəbul edilməkdədir [11, səh. 13-15].

Konstitusiya nəzarəti dövlətin siyasi rejiminin demokratik ölçülərindən biri kimi, insan hüquq və əsas azadlıqlarının təmin edilməsi, “hakimiyyət özbaşınalığının və anarxiyanın” qarşısının alınması xarakterinə malikdir. Müasir dövrdə dövlətin hüquqi baxımdan özünü məhdudlaşdırma konsepsiyası onun siyasi rejiminin demokratik göstəricisidir.

Konstitusiya nəzarəti mexanizmi qanunların konstitusiyaya uyğunluğunun yoxlanılması kimi meydana gəlmişdir. Konstitusiyadan sonra yüksək hüquqi qüvvəyə malik normativ aktların, həmçinin əhəmiyyətinə görə həmin aktlara yaxın digər aktların hüquqi qiymətləndirilməsi bu institut vasitəsilə təmin edilir [11, səh. 11-12].

Göründüyü kimi, bir çox formada həyata keçirilən konstitusiya nəzarəti hakimiyyətlər bölgüsü prinsipi, eləcə də dövlət idarəçiliyi baxımından olduqca mühüm bir önəm ərz edir. İlk növbədə, sözügedən hüquqi institut qanunvericilik hakimiyyətinə nəzarət mexanizmi kimi ortaya çıxmaqla qanunların hüquqa uyğunluğu, həmçinin konstitusiya rəhbər tutulmaqla iyerarxik normativ aktlar sistemində kolliziyaların aradan qaldırılması, hakimiyyət qolları arasında səlahiyyət bölgüsü ilə bağlı mübahisələrin aradan qaldırılması kimi əsas funksiyaları daşıyır və forma baxımından bir çox növə bölünməklə normativ aktların yaranması ilə bağlı prosesin əvvəlindən sonuna qədər öz fəaliyyətini davam etdirir ki, bu müxtəlif ölkələrin qanunvericiliyində təfəsilatlı şəkildə tənzimlənir. Bu da, həqiqətən, konstitusion nəzarətin necə vacib əhəmiyyət daşıdığını və klassik hakimiyyətlər bölgüsünün vacib elementi olan tarazlıq-nəzarət mexanizmini necə tamamladığını göstərir. Onun konstitusiyamıza əsasən məhkəmə hakimiyyəti orqanı hesab olunmasına gəldikdə isə deyə bilərik ki, Konstitusiya Məhkəməsinin adı məhkəmə orqanları ilə bərabərləşdirilməməsi və məhkəmə hakimiyyət orqanları sistemində yerinin müəyyən edilməsinə qarşı çıxan müəlliflər haqlı olaraq onun təyinatına, tərkibinə, məhkəmə icraatının məzmununa, aktların hüquqi əhəmiyyətinə diqqət yetirməyi zəruri bilirlər. Qeyd edilir ki, əgər Konstitusiya Məhkəməsi digər məhkəmələrlə eyni səviyyədə dayanacaqsa, özünün təyinatını itirər və ləğv edilə bilər. Qeyd edilən halda onun funksiyalarını Ali məhkəmə yerinə yetirə bilər. Bu fikrin davamı kimi ədəbiyyatda Konstitusiya Məhkəməsi “müstəqil dövlət nəzarəti hakimiyyəti”, “kompleks xarakterli ixtisaslaşmış qurum kimi özündə nəzarət və

məhkəmə hakimiyyətini birləşdirən”, “konstitusiya ədalət mühakiməsini həyata keçirən xüsusi məhkəmə orqanı” və s. Kimi qiymətləndirilir.

Hal-hazırda əksəriyyətin üzərində həmfikir olduğu məsələ ondan ibarətdir ki, Konstitusiya Məhkəməsi məhkəmə hakimiyyətinə daxil olan digər məhkəmə orqanlarından fərqli təbiətə malikdir, ümumi məhkəmə orqanlarının davamı, növbəti məhkəmə instansiyası deyil. Konstitusiya Məhkəməsinin qərarları ilə əlaqədar olaraq isə bu fərqlilik özünü daha aydın şəkildə büruzə verir. Məhz öz qərarları vasitəsilə Konstitusiya Məhkəməsi Konstitusiyanın birbaşa hüquqi qüvvəsini təmin edir, konstitusiyaya uyğun olmayan aktları qüvvədən salır, hüquq sistemində və hüquq tətbiqetmə praktikasında mövcud olan boşluqları aradan qaldırır. Konstitusiya nəzarətini həyata keçirən orqan kimi Konstitusiya Məhkəməsinin qərarları onun qanunla müəyyən edilmiş xüsusi prosedur qaydalara əməl edilməklə baxdığı maddi, prosessual və təşkilati məsələlər üzrə hüquqi baxımdan formulə edilmiş nəticələrini ifadə edir.

Beləliklə, Konstitusiya Məhkəməsi müstəsna olaraq konstitusiya ədalət mühakiməsini həyata keçirən ixtisaslaşmış, müstəqil ali konstitusiya ədalət mühakiməsi orqanı kimi Konstitusiya ilə onun səlahiyyətlərinə aid edilmiş məsələlərə dair fəaliyyəti həyata keçirən məhkəmə orqanıdır. Konstitusiya Məhkəməsi hüquq institutu olmaqla yanaşı, həm də siyasi və hüquqi münasibətlər sisteminin elementi kimi çıxış edir [11, səh. 37-38]. Bununla da Konstitusiya Məhkəməsi konstitusiya nəzarətini hakimiyyətlər bölgüsünün pozulmadan, qanunverici orqanın fəaliyyətinə sadəcə konstitusiyanın aliliyinin təmin olunması hissəsində müdaxilə edərək müvafiq nəzarətin obyektiv şəkildə həyata keçirilməsi üçün zəruri olan bir orqan kimi mövcud olmaqla, aktlar arasındakı ziddiyyətləri, hakimiyyət qolları arasındakı səlahiyyət bölgüsü ilə bağlı ziddiyyətləri, yəni, bir sözlə, sanki mübahisəli məqamları həll etdiyi üçün və ümumilikdə hansısa hüquqi aktdan edilən şikayət, sorğu və müraciət əsasında fəaliyyət göstərdiyi üçün xarakteri etibarilə “məhkəmə” adlandırılmışdır. Lakin unutmamaq olmur ki, o müstəqil orqan kimi mövcud olmaqla dövlət idarəçiliyindəki normativ aktlarla bağlı boşluqları aradan qaldırmağa xidmət edir. Konstitusiya Məhkəməsi bütün məhkəmələr üçün əsas olan prinsipləri əsasında fəaliyyət göstərsə də, digər məhkəmələrdən öz hüquqi təbiətinə görə fərqlənir [15, səh. 7].

Nəticə

Konstitusiya nəzarəti hakimiyyətlər bölgüsü baxımından böyük əhəmiyyət ərz edir. Xalqı dövlət idarəçiliyindəki özbaşınalıqdan qorumaq, həmçinin dövlət hakimiyyət fəaliyyətinin kamil şəkildə həyata keçirilməsi baxımından hakimiyyətlər bölgüsü prinsipi və onun tələbinə görə qanunvericilik, icra və məhkəmə hakimiyyətlərinin ayrılması, yəni fərqli orqanlar tərəfindən sözügedən hakimiyyətlərin realizə edilməsi və onların fəaliyyətlərinə bir-biri tərəfindən nəzarət edilməsi mexanizmi nəzərdə tutulmuşdur. Bu qarşılıqlı tənzimləmələrə misal olaraq deyə bilərik ki, bir sıra ölkələrdə qanunlar qanunverici orqan tərəfindən qəbul edilir, lakin prezident tərəfindən imzalanmazsa, qüvvəyə minmir yaxud müəyyən vəzifələrin tutulması qanunverici və icra hakimiyyəti orqanlarının razılaşması ilə həyata keçir və s. Bununla belə öz səlahiyyətləri çərçivəsində bu orqanlar müstəqildirlər, onların bir-birinin fəaliyyətinə birbaşa müdaxiləsi yolverilməzdir və bir-birlərinə təbə deyillər.

Bu hakimiyyət qollarının hər biri öz nəzarət mexanizminə də malikdir. Məsələn, birinci instansiya məhkəməsinin təqsirləndirilən fiziki şəxs barəsində qəbul etdiyi hökmdən şikayət mexanizmi ali instansiya məhkəməsinə qədər uzanan bir pillə ilə təmin edilmişdir. İcra hakimiyyəti orqanlarının qəbul etdiyi aktlardan həmin orqana, məhkəməyə yaxud yuxarı orqanlara şikayət

mexanizmi də nəzərdə tutulmuşdur. Lakin parlamentin fəaliyyəti, yəni qanunvericilik fəaliyyəti ilə bağlı belə bir mexanizm konstitusional nəzarət olmadan mümkün deyildir. Düşünək ki, konstitusiyaya zidd hər hansı bir qanun qəbul olunub yaxud hansısa bir hüquq sahəsində qəbul olunan spesifik qanunlar ilə məəcəllədəki müvafiq maddələr arasında kolliziya mövcuddur. Bu halda sözügedən ziddiyyətlərin aradan qaldırılması yaxud qanunun ləğv olunması ilə bağlı haraya müraciət etmək lazımdır? Bu funksiya nə icra hakimiyyəti orqanına, nə də məhkəmə hakimiyyəti orqanına məxsus deyil və olmamalıdır da, çünki bu zaman həm onların qanunverici hakimiyyətin fəaliyyətinə müdaxilə imkanları yaranacaq, həm də iş yükləri artacaqdır. Bu problemlərin qarşısının alınması üçün heç bir hakimiyyət qoluna tabe olmayan və məhkəmə hakimiyyəti orqanlarından da bir sıra spesifik cəhətləri ilə fərqlənən bir strukturun yaradılması zərurəti ortaya çıxır ki, bu struktur Konstitusiya Məhkəməsidir.

ƏDƏBİYYAT

1. Aristotel. Siyasət (2022). Bakı; "Qanun" Nəşriyyatı, 368 s.
2. Jan-Jak Russo. İctimai müqavilə. Bakı; "Qanun" Nəşriyyatı. 2022. 175 s.
3. N. Kale. Platon'dan günümüze adalet kavramı, Hukuka Felsefi ve İdeolojik bakışlar- II Sempozyum (7-11 Eylül 2004) Kitabı. İstanbul; İstanbul Barosu Yayını. 2005. 123-132 s.
4. O.V. İşsevenler. Doğal hukuk sorunu: Aristoteles'in Politikası ve Hobbes'un Leviathan'ı. İstanbul; Pinhan Yayıncılık. 2021. 85 s.
5. Ö. Özkaya. Devlet Olgusu Üzerine Bir Değerlendirme. Ankara; Uyuşmazlık Mahkemesi Dergisi. Sayı: 16. 2020. 317-352 s.
6. Z. Əsgərov. Konstitusiya Hüququ. Dərslik. Bakı; Bakı Universiteti Nəşriyyatı. 2011. 760 s.
7. S. Qasımov. Hüquq sistemlərinin formalaşmasına təsir edən iqtisadi, siyasi, hüquqi amillər. "Elmi Məcmuə" Jurnalı. Cild 26, №2, 2024. 41-46 s.
8. A.Ö. Duvan. Devlet teorisinde kuvvetler ayrılığının doğuşu: Locke ve Montesquieu. İstanbul; Yıldırım Beyazıt Hukuk Dergisi. 2019. 35-60 s.
9. T. Hobbes. Leviathan və ya Bir din və dünya devletinin içəriği, biçimi və kudreti. İstanbul; Yapı Kredi Yayınları. 25. Baskı. 2023. 523 s.
10. M. Erdoğan. Anayasa mahkemeleri önemli midir? Orta Avrupa'da anayasa yargısı ve demokrasinin pekişmesi. Ankara; Ankara Üniversitesi Hukuk Fakültesi Dergisi. Cilt:54 Sayı:3. 2005. 22.s
11. F. Abdullayev. Azərbaycan Respublikası Konstitusiya Məhkəməsinin hüquqi mövqeləri. I Cild. Yeni nəşr. Bakı. 2018. 566 s.
12. S. Əsgərli. Hakimiyyətlərin bölünməsi konsepsiyası və onun qanunvericilik əsasları. Bakı; Heydər Əliyevin anadan olmasının 98-ci ildönümünə həsr olunmuş "XXI əsrdə insan hüquq və azadlıqlarının müdafiəsi sahəsində müasir nəzəri və praktiki yanaşmalar" mövzusunda 5 may 2021-ci il tarixdə keçirilmiş elmi-nəzəri konfransın materialları. 2021. 636-641 s.
13. Azərbaycan Respublikasının Konstitusiyası (1995). <https://e-qanun.az/framework/897>.
14. "Konstitusiya Məhkəməsi haqqında" Azərbaycan Respublikasının Qanunu (2003 <https://e-qanun.az/framework/5404>
15. E. Nəsirov. Azərbaycan Respublikası Konstitusiya Məhkəməsinin hüquqi təbiəti və dövlət hakimiyyət sistemində yeri. Bakı; "Qanun" jurnalı. 2017. 8 s.

REFERENCES

1. Aristotel. Siyasət (2022). Bakı; “Ganun” Nəşriyyatı, 368 s.
2. Jan-Jak Russo. İjtimai müqavilə. Bakı; “Ganun” Nəşriyyatı. 2022. 175 s.
3. N. Kale. Platondan günümüze ədalət kavramı, Hukuka Felsefi və İdeologik baxışlar- II Sempozyum (7-11 Eylül 2004) Kitabı. İstanbul; İstanbul Barosu Yayını. 2005. 123-132 s.
4. O.V. İshsevenler. Döğəl hukuk sorunu: Aristotelesin Politikası və Hobbesun Leviathanı. İstanbul; Pinhan Yayınçılıq. 2021. 85 s.
5. O. Ozkaya. Devlet Olgusu Uzerine Bir Degherlendirme. Ankara; Uyushmazlıq Mahkemesi Dergisi. Sayı: 16. 2020. 317-352 s.
6. Z. Esgherov. Konstitusiya Hugugu. Derslik. Bakı; Bakı Universiteti Nəşriyyatı. 2011. 760 s.
7. S. Gasymov. Hugug sistemlərinin formalashmasına təsir edən iqtisadi, siyasi, hugugi amillər. “Elmi Mejmue” Jurnalı. Jild 26, №2, 2024. 41-46 s.
8. A.O. Duvan. Devlet teorisinde kuvvetler ayrılığının döğüşu: Locke ve Montesquieu. İstanbul; Yıldırım Beyazıt Hukuk Dergisi. 2019. 35-60 s.
9. T. Hobbes. Leviathan və ya Bir din və dünya devletinin içəriğı, bichimi və kudreti. İstanbul; Yapı Kredi Yayınları. 25. Baskı. 2023. 523 s.
10. M. Erdoghan. Anayasa mahkemeleri önemli midir? Orta Avrupada anayasa yargısı və demokrasiinin pekişməsi. Ankara; Ankara Üniversitesi Hukuk Fakültesi Dergisi. Jilt:54 Sayı:3. 2005. 22.s
11. F. Abdullayev. Azərbaycan Respublikası Konstitusiya Məhkəməsinin hugugi mövğeleri. I Jild. Yeni nəşr. Bakı. 2018. 566 s.
12. S. Esgherli. Hakimiyyətlərin bölünməsi konsepsiyası və onun qanunvericilik əsasları. Bakı; Heydər Əliyevin anadan olmasının 98-ji ildönümünə həsr olunmuş “XXI əsrdə insan hugugu və azadlıqlarının müdafiəsi sahəsində müasir nəzəri və praktiki yanaşmalar” mövzusunda 5 may 2021-ci il tarixdə keçirilmiş elmi-nəzəri konfransın materialları. 2021. 636-641 s.
13. Azərbaycan Respublikasının Konstitusiyası. <https://e-qanun.az/framework/897>.
14. “Konstitusiya Məhkəməsi haqqında” Azərbaycan Respublikasının Qanunu. <https://e-qanun.az/framework/5404>.
15. E. Nesirov. Azərbaycan Respublikası Konstitusiya Məhkəməsinin hugugi təbiəti və dövlət hakimiyyət sisteminə yeri. Bakı; “Ganun” jurnalı. 2017. 8 s.

THE CONSTITUTIONAL COURT'S CONTROL OVER THE ACTIVITIES OF THE LEGISLATIVE BODY IN TERMS OF THE PRINCIPLE OF SEPARATION OF POWERS

Mammadli Sh.A.

National Aviation Academy

As in any system, the principle of existence of the state is based on subsystem elements, their mutual relationship and the correct, harmonious distribution of power; that is, the power of the state, among these subsystem elements. In this sense, the power feature, which is a specific feature of the state, is divided between various bodies, and since the concentration of all power powers in the hands

of one subsystem element leads to the exploitation of these powers, the exploitation of the will of the people by the relevant body, it lays the foundation for a despotic and uncontrolled regime. In this case, that structure can adopt any law it wants, implement it as it wants, and even determine the conditions for its implementation. In this case, it is inevitable that this body will inevitably exercise these powers for its own benefit. That is why the principle of separation of powers is formed and the idea of the executive, legislative, and judicial powers operating independently but in interaction is adopted in state administration. At this time, the norms that determine the rules of behavior of the state and society are adopted by the legislative body, which clearly shows that the role of parliament is of great importance in the separation of powers, both in terms of indirectly expressing the will of the people and in terms of determining the norms of activity of each state structure, as well as society. In connection with the inevitability of the existence of a control mechanism to prevent arbitrariness or possible errors in the activities of each branch of government, the idea of creating such control over parliament also arises, which is carried out by the Constitutional Court as a body of constitutional control.

From this point of view, the place and importance of the Constitutional Court in the system of state power is of great importance in terms of containing a mechanism for controlling the existence of norms, that is, laws, regarding how the state and society should function, in a way that is free from conflict, in accordance with the law and, first of all, with the constitution, which covers the most important part of state life. Because neither the executive nor the judicial power can provide this control. On the other hand, before the existence of a mechanism for controlling the implementation of laws and their violation, those laws themselves must exist hierarchically, without contradictions and in accordance with the law. Otherwise, the implementation of legally flawed laws and the prevention of their violation will be extremely harmful to the state and social order.

The purpose of the study is to reveal that the Constitutional Court is not only above the division of powers, but on the contrary, its activities serve to maintain the balance in this division. The relevance of the study is aimed at justifying the existence of the Constitutional Court, which has not yet turned thirty years old in our state system, and its control over parliament from a constitutional and legal perspective.

Keywords: Constitution, Constitutional structure, Constitutional control, Constitutional court, Separation of powers, Legislative power, State, Control function.

Müəllif haqqında məlumat

Soyadı, adı, atasının adı	İş yeri	Vəzifəsi, elmi dərəcəsi	Əlaqə
Məmmədli Şamxal Əflatun oğlu	T.C. İstanbul Universiteti	“Kamu hukuku” doktorantura proqramı üzrə I kurs doktorantura tələbəsi	mammadlishamxal@gmail.com mob: (+994) 55 700 - 23 - 62

İQTİSADİYYAT

UOT: 656.7:005

DOI:10.30546/EMNAA.2025.25.04.438

HAVA NƏQLİYYATI İNFRASTRUKTURUNUN İDARƏ EDİLMƏSİNİN BEYNƏLXALQ TƏCRÜBƏSİ

Əhmədova G.T.

Milli Aviasiya Akademiyası

Məqalədə ABŞ, Kanada, Avstraliya və Braziliya ölkələrinin hava nəqliyyatı infrastrukturunun və onun əsas obyektı olan aeroportların idarə edilməsi sahəsində təcrübəsi ətraflı öyrənilmiş və müvafiq ümumiləşdirmələr aparılmışdır. Tədqiqat zamanı bu dövlətlərin milli aviasiya siyasəti, aeroportların planlaşdırılması, idarə olunması və təhlükəsizlik standartlarının tətbiqi kimi istiqamətlərdə formalaşdırdıqları institusional yanaşmalar müqayisəli şəkildə araşdırılmışdır.

ABŞ və Kanadada hava nəqliyyatı infrastrukturunun idarə edilməsində dövlət-özəl sektor tərəfdaşlığı, infrastrukturun maliyyələşməsində müxtəlif modellərin tətbiqi və sərnişin təhlükəsizliyinə dair sərt tənzimləyici mexanizmlər xüsusi diqqət çəkir. Avstraliyada isə hava limanlarının idarə edilməsində dövlət nəzarəti ilə bazar mexanizmlərinin balanslaşdırılması, regional inkişaf proqramları ilə aviasiya infrastrukturunun əlaqələndirilməsi mühüm yer tutur. Braziliyada son illərdə həyata keçirilmiş özəlləşdirmə dalğası, aeroportların konsessiya modelləri əsasında idarə olunması və infrastrukturun modernləşdirilməsinə yönəlmiş sosial-iqtisadi təşviqlər fərqlənən yanaşma kimi qiymətləndirilir.

Məqalədə, həmçinin bu ölkələrin təhlükəsizlik standartlarının formalaşdırılması, sertifikatlaşdırma prosedurlarının təşkili, aviasiya xidmətlərinin keyfiyyətinin yüksəldilməsi və maliyyə dayanıqlığının təmin olunması ilə bağlı təcrübələri ümumiləşdirilmişdir. Müqayisələr göstərir ki, hava nəqliyyatı infrastrukturunun səmərəli idarə olunması təkcə texniki məsələlər deyil, həm də dövlət siyasəti, regional inkişaf məqsədləri və sosial proqramlarla sıx bağlıdır.

Nəticə olaraq, tədqiqat Azərbaycan üçün də aktual olan bir sıra elmi əsaslandırılmış tövsiyələr irəli sürür: idarəetmədə integrasiya olunmuş yanaşmaların tətbiqi, infrastrukturun modernləşdirilməsinə dövlət dəstəyi, təhlükəsizlik standartlarının beynəlxalq təcrübəyə uyğunlaşdırılması və özəl sektorun iştirakının genişləndirilməsi.

Açar sözlər: hava nəqliyyatı, infrastruktur, milli aviasiya, təhlükəsizlik, sosial proqramlar, infraqururlara dövlət dəstəyi.

Hava nəqliyyatı infrastrukturunun idarə edilməsinin beynəlxalq təcrübəsi

İqtisad elminin banilərindən biri olan P.Samuelsonun fikrincə “infraqurur” terminini iqtisadi ədəbiyyata Amerika iqtisadçısı P.Rozenşteyn Rodan gətirmişdir, lakin infraqururu iqtisadiyyatın əsas sahələrində xüsusi sahibkarlığın əlverişli inkişafını təmin edən və bütün əhalinin tələbatını ödəyən ümumi şəraitlərin kompleksi kimi müəyyənləşdirmişdir. Qərbin sosioloji və iqtisadi fikrində cəmiyyətin həyatında infraqururu əhəmiyyəti “cəmiyyətin xərcləri”, “üstəlik məsrəflər” anlayışları vasitəsilə müəyyən edilir [13,s.344].

Yerli hava nəqliyyatı bir çox ölkələrdə dövlət tərəfindən dəstəklənir. Belə ki, Avropa İttifaqının NQ2408/92 tənzimləyici aktı aviaşirkətlərə kompensasiya verilməsi prosedurunun müəyyən edir. Söhbət sosial-əhəmiyyətli marşrutlar üzrə daşımaların yerinə yetirilməsindən gedir, hansı ki, periferiya, yaxud daşımalara az tələblə xarakterizə olunan və regionun inkişafı üçün çox mühüm əhəmiyyət kəsb edən aeroportlar daxil edirlər.

Kiçik intensivli uçuşları olan aeroportların fəaliyyətinin idarə edilməsi üzrə qabaqcıl təcrübə əsasən ərazisi 60 paraleli şimal qütbə yerləşən dövlətlərdə (ABŞ (Alyaska), Kanada və b.) formalaşmışdır.

Əsas amil odur ki, yerli aeroportların xidmət göstərən xüsusi rayonu olur, hansı ki əhalisi üçün həmin aeroport daha əlverişlidir. Aşağı intensivli uçuşları olan aeroportlarda xidmət sisteminin inkişafı yerli xidmət bazarlarından sənişinlərin cəlb edilməsinə gətirib çıxarır.

Bəzi ölkələr – ABŞ, Kanada, Avropa İttifaqı ölkələri, Hindistan, Kamboca, Vyetnam və Laos beynəlxalq hava təcrübəsində adətən qəbul olunmuş daşımaların həyata keçirilməsi qaydası və şərtləri haqqında ənənəvi təqdimatdan getmişlər. Onlar liberallaşma və “açıq səma”nın əvvəlində özlərinin beynəlxalq havadaşımalarının milli bazarlarını açdılar və bununla da öz ölkələrində beynəlxalq hava istismarının iqtisadi səmərəliliyinin yüksəldilməsinə nail olmuşlar.

Lakin liberallaşma və “açıq səma” prinsiplərində beynəlxalq aviadaşımalar bazarının tənzimlənməsinə yeni yanaşmaların işlənilib hazırlanması çox vaxt tələb edir. Xüsusilə, Avropa İttifaqı ölkələri Avropa “açıq səma”nı 30 il ərzində yaratmışlar.

Yerli tədqiqatçılar – R.M. Əliyev və F.Ə. Məmmədov Azərbaycan şəraitində hava nəqliyyatı infrastrukturunun inkişaf perspektivlərini təhlil edərək, beynəlxalq təcrübənin milli aviasiya siyasətinə uyğun adaptasiyasının vacibliyini qeyd edirlər. Onların fikrincə, dövlət dəstəyi, təhlükəsizlik standartlarının təkmilləşdirilməsi və özəl sektorun prosesə cəlb edilməsi hava nəqliyyatının dayanıqlı inkişafı üçün əsas şərtlərdəndir [1, s.312], [2, s. 256].

Hazırda Avropa aviaşirkətləri liberallaşma və “açıq səma” yolunu tutan digər ölkələrin aviaşirkətləri ilə birlikdə dünya aviadaşımalar bazarında faktiki iqtisadi situasiyanı müəyyənləşdirirlər.

Hava nəqliyyatı infrastrukturunun idarə edilməsi məsələləri nəqliyyat iqtisadiyyatı və dövlət siyasəti kontekstində uzun illərdir tədqiqat obyektidir. Klassik yanaşmalarda hava nəqliyyatı sistemi mürəkkəb və çoxsəviyyəli bir struktur kimi qiymətləndirilir və onun effektiv fəaliyyəti planlaşdırma, maliyyələşmə və idarəetmə mexanizmlərinin düzgün qurulmasından asılıdır. Bu baxımdan N.Qromov və R.Leontyevin tədqiqatlarında hava nəqliyyatının idarə edilməsinin nəzəri əsasları, hava axınlarının proqnozlaşdırılması və optimal idarəetmə modelləri geniş şəkildə şərh olunur. Müəlliflər göstərilir ki, aviasiya infrastrukturunda dövlətin rolu əsasən strateji planlaşdırma və təhlükəsizlik məsələləri ilə bağlıdır [9, s.184].

A.Qubenko və E.Kostrominin əsərlərində isə hava nəqliyyatının iqtisadi aspektləri, aeroportların regionların sosial-iqtisadi inkişafına təsiri və sənişin daşımalarının səmərəliliyinin artırılması məsələləri ön plana çəkilir. Bu tədqiqatlarda vurğulanır ki, hava limanları təkcə nəqliyyat obyektləri deyil, eyni zamanda regional iqtisadi fəallığı stimullaşdıran mühüm infrastruktur elementləridir [5, s. 288], [6, s. 184].

Beynəlxalq ədəbiyyatda hava nəqliyyatı infrastrukturunun idarə edilməsinə daha çox bazar mexanizmləri və özəl sektorun iştirakı prizmasından yanaşılır. Belə ki, R. Doganis və A. Graham aeroportların biznes subyekti kimi fəaliyyət göstərdiyini, gəlirlərin diversifikasiyası, xidmət

keyfiyyətinin yüksəldilməsi və kommersiya fəaliyyətinin genişləndirilməsinin müasir idarəetmədə əsas prioritetlər olduğunu qeyd edirlər. Onların fikrincə, dövlət nəzarəti ilə kommersiya maraqları arasında tarazlıq hava limanlarının dayanıqlı inkişafının əsas şərtidir [12, s. 368], [11, s. 284].

K.Button və B.Vasighin tədqiqatlarında hava nəqliyyatının qloballaşma şəraitində rolu, beynəlxalq rəqabət və dövlət tənzimlənməsi məsələləri araşdırılır. Müəlliflər vurğulayırlar ki, xüsusilə ABŞ və Kanada kimi ölkələrdə dövlət–özl sektor tərəfdaşlığı modelləri infrastrukturun maliyyə yükünün azaldılmasına və innovativ idarəetmə üsullarının tətbiqinə imkan yaradır [10, s. 420].

Beynəlxalq təşkilatların sənədləri də hava nəqliyyatı infrastrukturunun idarə edilməsində mühüm mənbə kimi çıxış edir. ICAO və IATA-nın hesabatlarında aeroportların iqtisadi idarə olunması, təhlükəsizlik standartları və sertifikatlaşdırma prosedurlarının beynəlxalq normalara uyğunlaşdırılması zərurəti xüsusi vurğulanır. Dünya Bankı və OECD-nin tədqiqatlarında isə Braziliya və bir sıra digər ölkələrdə tətbiq edilən konsessiya və özəlləşdirmə modellərinin investisiya cəlbəediciliyini artırdığı və infrastrukturun modernləşdirilməsinə təkan verdiyi göstərilir.

Bütövlükdə xarici ölkələrdə aeroportların istismarı təcrübəsi oxşardır və aşağıdakı vəziyyətdə ifadə olunur [3, s. 157].

- aeroport təsərrüfatının əhəmiyyətli dövlət dəstəyi mexanizminin olması;
- dövlət və regional büdcələrdən maliyyələşdirmənin əlaqələndirilməsi;
- aeroport sisteminin inkişafı və onun yenidən qurulmasının kompleks və uzunmüddətli planının hazırlanması;
- kiçik aviasiyaının inkişafına kömək, müxtəlif növ proqramların qəbulu.

Hal-hazırda vaxtda ABŞ-ın aeroportlarının əksəriyyəti onlara olan tələbi ödəmək qabiliyyətinə qadirdir, ancaq ABŞ-ın 35 iri aeroportlarından 14-ü artıq yüklə işləyir. Böyük buraxılış qabiliyyətli qurğuların çatışmamasının mövcud vəziyyəti, sənişin hava daşımalarının artan həcmənin təmin edilməsi üçün infrastrukturun genişlənməsinə olan ehtiyacla şərtlənir.

Avianəqliyyat daşımalarına tələbin inkişafı qalxma-enmə zolaqlarına maliyyə mexanizminin təqdim edilməsinin zəruriliyi ilə əlaqədardır.

Regionların hər birinə aeroportların inkişafının milli proqramından maliyyələşdirmə payı aşağıdakı meyarlar əsasında ayrılır [4, s. 95]:

- hər bir ştatın həcmi və əhalisi;
- 10 min sənişinlərin və daha çox daşıma həcmi ilə aeroportdan uçan sənişinlərin sayı.

ABŞ ümumi təyinatlı aviasiya aeroportlarından istifadədə lider sayılır. Ümumitəyinatlı aviasiyaya (UTA) işgüzar, şəxsi və kiçik aviasiya aiddir. Hazırda UTA təkcə kommersiya aviasiyasının deyil, həm də digər nəqliyyat növlərini tamamlayan qlobal nəqliyyat sisteminin mühüm hissəsi hesab edilir. Dünyada 89% bütün hava gəmiləri UTA çərçivəsində işləyirlər, 87% bütün uçuşlar UTA uçuşları kimi təsnifləşdirilir və 80% bütün pilotlar UTA təyyarələrində uçurlar.

Kiçik təyinatlı aviasiya təyyarələri kiçik aeroportlarda yerləşirlər, bir qayda olaraq cədvəl üzrə uçuşlar yerinə yetirmirlər. ABŞ-da reys aviasiyaları 580 aeroportda istifadə olunur, UTA təyyarələrin isə təqribən 5400 aerodromdan uçmaq imkanları vardır. Məsələn, Nyu-Yorkda UTA əsas axını yerli aeroportlar: Teterboro, Morristown, Islip aeroportları vasitəsilə həyata keçirilir.

Hər bir region daxilində layihələrin maliyyələşdirilməsi milli prioritetlər sisteminin şərtləri və imkanları, region daxili spesifik problemləri əsasında müəyyən edilir. Aeroportların modernləşdirilməsi proqramı vasitəsilə dövlət vəsaiti alan və xərcləyən aeroportlar yerüstü

infrastrukturdan istismarı və xidməti, eləcə də ona əlçatanlıq qaydasına görə aeroport müəyyən öhdəliklər üzərinə götürür.

Alyaska ştatında aeroportların fəaliyyətinin idarə edilməsi sahəsində təcrübəsi daha maraqlıdır. Alyaska aeroportlarının əsas sahibləri (sponsorları) Nəqliyyat və Kommunal Təsərrüfatı Departamenti (NKTD) çıxış edir. NKTD siyasəti ştatın mülki aviasiyasının idarə edilməsi prinsiplərini müəyyənləşdirir, hansı ki,:

- aeroportların inkişafının prioritet layihələrinin maliyyələşdirilməsi üçün kapital qoyuluşu proqramı hazırlayır;
- aeroportın mülkiyyətinin icarə siyasətini müəyyənləşdirir;
- aeroportların inkişafının planlaşdırılmasına, layihələrin hazırlanmasına, aeroportların inşasına, onların texniki xidmət və istismarına görə cavab verir.

Ştatın aviasiya sisteminin planlaşdırılmasına aşağıdakı elementlər daxildir [5]:

- mövcud sistemin elementlərinin uçotu;
- hava nəqliyyatı sferasında tələbatın aşkara çıxarılması;
- regionda aviasiya problemlərinin öyrənilməsi;
- sistem tələbatının proqnozlaşdırılması;
- aeroportların rolunun və siyasət strategiyasının müəyyən edilməsi;
- aeroportların alternativ sistemlərinə baxılması;
- aeroportların sistem dəyişiklərinin tövsiyələri və inkişafı;
- realizasiya planının hazırlanması.

Aeroportların əsaslı tikintisi və yenidən qurulması layihələrinin maliyyələşdirilməsinin əsas mənbələri kimi aeroportların inkişafının federal proqramı çıxış edir. Onun resurs bazası aeroportların istifadəçilərin *trast fondu və aviatras hesabına formalaşır*.

Kanadada sosial problemlərin həllində kiçik aviasiya böyük rol oynayır. Xüsusilə, Şimali Amerikanın regionları üçün geniş yayılmış “poçt malları” proqramı mövcuddur. Bu proqram sifarişlərin toplanması və sonradan sifariş olunmuş əmtəəni evə, işə yükdaşımaqları vasitəsilə çatdırılması üçün telefon kanalları və poçtdan istifadə etməklə müxtəlif əmtəələrin sifarişini nəzərdə tutur. Yükdaşımaqları uçuşların az intensivliyi olduğu aeroportlar vasitəsilə həyata keçirilir.

Bu proqramın reallaşdırılması sahəsində ən uzaqda yaşayan Kanada əhalisinin müasir əmtəə və məhsulların bütün çeşidlərinə əlçatanlıq imkanı vardır.

Aviasiya xidmətlərinin göstərilməsi sahəsində sosial proqramların effektiv reallaşdırılması üçün xüsusi şirkətlərə dövlət dəstəyinin göstərilməsi vacibdir. Kanadada aeroportlara kömək məqsədilə dövlət proqramı mövcuddur. Bu proqramın məqsədi hava nəqliyyatının təhlükəsizliyi, aktivlərin qorunub saxlanması və aeroport fəaliyyətinə əməliyyat xərclərinin azaldılması ilə bağlı aeroport fəaliyyəti sahəsində əsas layihələrin maliyyələşdirilməsidir. Aeroport fəaliyyətinə kömək dövlət proqramının reallaşdırılmasının həcmi və mexanizmi konkret aeroportun əhəmiyyəti və ixtisaslaşmasından asılıdır.

Kanadanın ərazisində 756 aeroport yerləşir, onlardan 152-si dövlətə məxsusdur. Dövlətə məxsus aeroportlar beş qrupa bölünür:

1. Arktik aeroportları. Bələdiyyələrin mülkiyyətindədir, dəstək sisteminə şimal ərazilərinin maliyyələşdirilməsi proqramı vasitəsilə dotasiyalar və aeroportlara kömək dövlət proqramı daxildir.

2. Sosial əhəmiyyətli aeroportlar. Dövlət mülkiyyətində 13 aeroport var və onların hamısı dövlət tərəfindən tam təmin olunurlar.

3. Milli yükdaşımalарının 94%-ni yerinə yetirən aeroportlardır. Şirkətlərin idarəedicilərinə uzunmüddətli icarəyə verilib – 26 aeroportlardır.

4. Yerli hakimiyyətin mülkiyyətində olan aeroportlardır. Aeroport sistemində əhəmiyyəti böyük deyil və dövlət tərəfindən maliyyələşdirilmir – 31 aeroportdur.

5. İllik sərnəşin axını 200 min adama qədər olan regional aeroportlar. Regionların mülkiyyətindədir, aeroportlara kömək dövlət proqramı (AKDP) tərəfindən maliyyələşdirilir – 71 aeroportdur.

AKDP çərçivəsində dövlət dəstəyinin alınmasına aeroportlar aşağıdakı tələblərə uyğun iddialı ola bilərlər:

- bütün gün sərnəşin daşımalarını müntəzəm həyata keçirirlər;
- federal mülkiyyəti sayılmır və Kanada hökumətinin təbəçiliyində deyil;
- sertifikatlaşdırma meyarlarına uyğun gəlir.

Əgər aeroport çətin əlçatan ərazidə olan aeroportların kateqoriyasına bərabər tutulursa, ona bütün gün sərnəşin daşımalarının müntəzəm həyata keçirilməsi barədə tələb tətbiq edilmir.

Layihələrin maliyyələşdirilməsi səviyyəsi aşağıdakı amillərin qiymətləndirilməsi əsasında müəyyən edilir:

- layihələrin prioritetliyi;
- texniki təhlil;
- göstərilən xidmətlərin həcmi;
- aeroportların sertifikatlaşdırılmasına olan tələblərə uyğun gəlməsi;
- region və yerli maraqlı tərəflərlə məsləhətlər.

Avstraliya aeroport sistemi milli nəqliyyat infrastrukturunun mühüm komponentlərindən biridir, hansından ki, kənd və uzaq ərazilərdə yaşayan əhəlinin sosial və iqtisadi vəziyyəti asılıdır. Ölkənin aviaşirkətləri hər il orta hesabla 2 min sərnəşin və 23 mln. ton yük daşıyırlar. Aviaşirkətlərin məcmu gəliri 700 mln. ABŞ dolları təşkil edir. Yerli aviaşirkətlər kənd və uzaqda yaşayan əhəli üçün ən vacib əmtəə və xidmətlər bazarına əlçatanlığı təmin edirlər.

Avstraliyanın region aeroport sisteminin inkişafının əsas problemləri aşağıdakılardır:

- kənd əhalisinin sayının azalması;
- təhlükəsizlik səviyyəsinin saxlanılması və yüksəldilməsinə normativ xərclərin artması;
- texnoloji heyətin çatışmaması;
- təyyarələrin köhnəlməsi;
- kənd aeroportlarının infrastrukturunun pisləşməsi.

Bu problemlərin həlmi məqsədilə Avstraliyada aeroportların təhlükəsizliyinin dəstəklənməsi milli proqramı işlənilib hazırlanmışdır. Proqram Avstraliyanın infrastrukturunu, nəqliyyatı, regional inkişafı və yerli özünüidarəetmə Departamentinin tərkibində yerləşir və uzaq ərazidə olan aeroportların modernləşdirilməsinin maliyyələşdirilməsinə dəstək göstərir. Aeroportların dəstəklənməsi proqramının əsas məqsədi Avstraliyanın uzaq və təcrid edilmiş rayonlarında yerləşən aeroportların təhlükəsizlik səviyyəsini və onlara əlçatanlığı yüksəltməkdən ibarətdir.

Braziliyanın coğrafi xüsusiyyəti və onun iqtisadi inkişafının yüksək tempi hava daşımalar geniş şəbəkəsinin yaranmasına səbəb olmuşdur, hansı ki, hazırda ölkənin 150 şəhəri arasında mövcuddur. Bütün istiqamətlərdə həm daxili, həm də beynəlxalq xətlərdə xüsusi aviaşirkətlər xidmət göstərilir, hansı ki, Braziliyada layihələndirilmiş və istehsal edilmiş təyyarələrdən istifadə olunur.

Bu gün Braziliyada yüksək komfort səviyyəsi olan və yüksək effektivliklə işləyən 35 beynəlxalq aeroportlar fəaliyyət göstərirlər, ölkənin başlıca hava qapısı Rio-de-Janeyroda Antonio Karlosa Sobima aeroportu və prezidentlərdən birinin adını daşıyan Juselin Kubitçek paytaxt aeroportu hesab edilir.

Braziliyanın hava gəmiləri parkında 11 min təyyarə vardır. Cənubi Amerika, Mərkəzi Amerika və Şimali Amerika ölkələri ilə birbaşa aviareyslər mövcuddur.

Mülki aviasiyaının inkişafını Braziliya Dövləti müxtəlif alətlərin və mexanizmlərin köməyiylə həyata keçirir. Braziliyada daxili aviadaşımalar sisteminin inkişaf etdirilməsi məqsədilə hava nəqliyyatının təhlükəsizliyinin dəstəklənməsinə yerüstü infrastrukturun modernləşdirilməsi və yaradılmasına, aeroportların göstərdikləri xidmətlərinə əlçatanlığın təmin edilməsinə yönəldilən bir sıra məqsədli proqramlar reallaşdırılır.

Daxili hava nəqliyyatı sisteminin inkişafı proqramlarının reallaşdırılmasına nəzarəti aeroportların infrastruktur məsələləri üzrə Departament həyata keçirir. Departament, həmçinin aeroportların planlaşdırılması, təhlükəsizliyi və iqtisadi səmərəliliyi sahəsində fəaliyyət göstərir [8, s. 182].

Planlaşdırma. Aeroport fəaliyyətinin planlaşdırılması prosesinə elmi-tədqiqat işlərinin aparılması, hava nəqliyyatı sisteminin inkişaf proqramı çərçivəsində aeroport infrastrukturunun təkmilləşdirilməsi məsələlərinə aid texniki qayda və prinsiplərin işlənilib hazırlanması, həmçinin aeroportların fəaliyyət standartları, norma və qaydalarının müəyyənləşdirilməsi və baş planın hazırlanması daxildir.

Sertifikatlaşdırma bu istiqamət çərçivəsində, departament aeroportların istismarının texniki norma və qaydalarının yaradılması və aerodromların təhlükəsizliyi sahəsində fəaliyyət göstərir, aeroportların sertifikatlaşdırılması prosesini həyata keçirir.

Təhlükəsizlik qanunazidd hərəkətlərdən hava nəqliyyatının təhlükəsizliyinin təmin edilməsinin bütün aspektləri ilə əlaqədar prinsiplər, standartlar və qaydaların yaradılmasıdır. Bununla əlaqədar təhlükəsizlik mülki aviasiyaının əsas problemlərindən birinə çevrilmişdir. Departament, həmçinin aeroportların, aviaşirkətlərin və yükləyici operatorların fəaliyyətinin təhlükəsizliyi üzrə proqramların hazırlanması və təsdiqinə görə məsuliyyət daşıyır.

Fəaliyyətin iqtisadi səmərəliliyi həm istehlakçılar, həm də biznes subyektləri üçün göstərilən xidmətlərin keyfiyyətinin yüksəldilməsinə imkan verən aeroport fəaliyyətinin həyata keçirilməsi üçün şəraitin yaradılmasıdır. Departament, həmçinin aeroportların fəaliyyətinin auditor yoxlamalarının aparılmasına və aeroport fəaliyyətinin bütün növləri üçün dərəcə və tariflərin müəyyənləşdirilməsinə görə məsuliyyət daşıyır.

Braziliyada hava nəqliyyatı sisteminin inkişaf mexanizmi Milli Mülki Aviasiya Agentliyi (MMAA) tərəfindən həyata keçirilən fəaliyyət hesab edilir. MMAA-nın funksiyasına mülki aviasiyaının inkişafına, ölkədə aviasiya və yerüstü infrastrukturun inkişafı və modernləşdirilməsi vasitəsilə yönəldilən zəruri tədbirlərin reallaşdırılması daxildir. Az intensivli uçuşların olduğu aeroportların infrastrukturunun inkişafına dair sürətli artım proqramı və aeroportlara dəstək göstərilməsi proqramı aeroportların infrastruktur məsələləri üzrə Departament tərəfindən həyata keçirilir [7, s.63].

Uçuşların az intensivli olduğu aeroportların inkişafını dəstəkləmək məqsədilə Hökumət Braziliya aviaşirkətlərinə Braziliya İnkişaf Bankı vasitəsilə EMBRAER təyyarələri almaq üçün kredit xətti təqdim edir. Embraer-Braziliya aviaqayırma şirkəti dünya sərnəşin region təyyarələr bazarının

liderlərindən biridir. O, Boeing və Airbus təyyarələrindən sonra dünyada üçüncü kommersiya avialaynerlər göndərən və dünyada kiçik aviasiya təyyarələrinin iki iri istehlakçılarından biridir. Şirkət kommersiya, korporativ, hərbi və kənd təsərrüfatı təyyarələri istehsal edir.

Aeroportların infrastrukturunun maliyyələşdirilməsində aşağıdakı əsas risklər baş verə bilər: müqavilə, əməliyyat, ətraf mühit, tikinti və bazar riskləri. Sadalanan risklərə baxmayaraq xarici ölkələrin aeroport infrastrukturunda dövlət-xüsusi biznes tərəfdaşlıq mexanizminin tətbiqi müsbət nəticələr vermişdir.

NƏTİCƏ

1. Hava nəqliyyatı sektoru və onun infrastrukturunu son illərdə inkişaf edir və bu sahədə potensial əhəmiyyətli. İnfrastrukturun daha da təkmilləşdirilməsi və əməliyyat səmərəliliyinin artırılması üçün mühüm addımlar atılır. Nəqliyyat xidmətlərinə artan iqtisadi və sosial tələbat hava nəqliyyatı infrastrukturunun modernləşdirilməsini zəruri edir. Bu baxımdan, hökumət sənayenin davamlı inkişafını təmin etmək məqsədi ilə infrastrukturun idarə edilməsində innovativ metodların və yeni idarəetmə yanaşmalarının tətbiqinə xüsusi diqqət yetirir.

2. Hava nəqliyyat infrastrukturuna aerodrom, aeroport, hava hərəkətinin vahid təşkili sisteminin obyektləri, uçuş aparatlarının idarə edilməsi mərkəzləri, aviasiya fəaliyyət sahəsində informasiyaların qəbulu, saxlanması və emalı mərkəzləri, aviasiya texnikasının saxlanması obyektləri, uçuş heyətin hazırlanması, aviasiya fəaliyyətində istifadə olunan digər qurğular və texnika aiddir.

3. Hava nəqliyyatının hər bir infrastruktur müəssisələrinin bir-birindən asılı olmayan öz idarəetmə strukturu olur, amma buna baxmayaraq hava hərəkətinin düzgün təşkilində onların bir məqsədi olur – daşınma prosesinin təhlükəsiz, fasiləsiz və keyfiyyətlə həyata keçirmək.

ƏDƏBİYYAT

1. Samuelson P.A., Nordhaus W.D. Economics. 19th ed. – New York: McGraw-Hill Education, 2010. – 744 p.
2. Əliyev R.M. Nəqliyyat sisteminin iqtisadi tənzimlənməsi və inkişaf perspektivləri. – Bakı: Elm və Təhsil, 2015. – 312 s.
3. Məmmədov F.Ə. Azərbaycan Respublikasında hava nəqliyyatının inkişaf strategiyası və idarəetmə problemləri. – Bakı: Avrasiya Press, 2018. – 256 s.
4. Леонтьев Р.Г. Прогнозирование авиопотоков и оптимизация управления воздушной транспортной системой. – М.: Наука, 1984. – 184 с.
5. Губенко А.В. Экономика воздушного транспорта. СПб.: Питер, 2009. – 288 с.
6. Костромина Е.В. Экономика воздушного транспорта. СПб.:Питер, 2009.-288 с.
7. Doganis R. The Airport Business. 2nd ed. – London: Routledge, 2006. – 284 p.
8. Graham A. Managing Airports: An International Perspective. 4th ed. – London: Routledge, 2014. – 368 p.
9. Button K. Air Transportation: Foundations for the 21st Century. – Aldershot: Ashgate Publishing, 2003. – 420 p.
10. Громов Н.Н. Управление на трнатпорте: учебник для вузов. – М.:Транспорт, 1990.-336 с.

11. Губенко А.В. Проблемы развития пассажирского транспорта региона. – Хабаровск: Изд-во ХГТУ, 2000. – 283 с.
12. Левитин И.Е. Развитие государственно-частного партнерства на транспорте. – М.: ВИНТИ РАН, 2010. – 444 с.
13. Курилец М.А. Авиатранспортный менеджмент. – М.: МГТУГА, 2001. – 96 с.

REFERENCES

1. Samuelson P.A., Nordhaus W.D. Economics. 19th ed. – New York: McGraw-Hill Education, 2010. – 744 p.
2. Aliyev R.M. Negliyyat sisteminin igtisadi tenzimlenmesi ve inkishaf perspektivleri. – Baky: Elm ve Tehsil, 2015. – 312 s.
3. Mammadov F.A. Azerbaijan Respublikasynda hava negliyyatynyn inkishaf strategiyasy ve idareetme problemleri. – Baky: Avrasiya Press, 2018. – 256 s.
4. Leontev R.G. Prognozirovaniye aviopatokov i optimizatsiya upravleniya vozdushnoy transportnoy sistemoy. – M.: Nauka, 1984.-184s.
5. Gubenko A.V. Ekonomika vozdushnogo transporta. Spb.: Piter, 2009. - 288s.
6. Kostromina E.V. Ekonomika vozdushnogo transporta. Spb.: Piter, 2009. - 288s.
7. Doganis R. The Airport Business. 2nd ed. – London: Routledge, 2006. – 284 p.
8. Graham A. Managing Airports: An International Perspective. 4th ed. – London: Routledge, 2014. – 368 p.
9. Button K. Air Transportation: Foundations for the 21st Century. – Aldershot: Ashgate Publishing, 2003. – 420 p.
10. Gromov N.N. Upravlenie na transporte: uchebnik dlya vuzov. -M. :Transport, 1990. – 335 s.
11. Gubenko A.V. Problemy razvitiya pasazhirskogo transporta regiona. – Khabarovsk: Izd-vo KHGTU, 2000.-283s.
12. Levitin I.E. Razvitie gosudarstvenno - chastnogo partnerstva na transporte. – M.: VINITI RAN, 2010.- 444s.
13. Kurilets M.A. Aviatransportnyy menedjment. - M.: MGTUGA, 2001. - 96s.

INTERNATIONAL EXPERIENCE IN AIR TRANSPORT INFRASTRUCTURE MANAGEMENT

Ahmadova G.T.

National Aviation Academy

The article studies in detail the experience of the USA, Canada, Austria and Brazil in the field of air transport infrastructure management and its main objects, airports, and makes appropriate generalizations. The article studies in detail the experience of the USA, Canada, Austria and Brazil in the field of air transport infrastructure and its main object, airports, and their management, and makes relevant generalizations. During the study, the institutional approaches formed by these countries in such areas as national aviation policy, airport planning, management and application of safety standards were comparatively examined.

In the USA and Canada, public-private sector partnerships in the management of air transport infrastructure, the application of various models in infrastructure financing and strict regulatory mechanisms for passenger safety attract special attention. In Austria, balancing state control with market mechanisms in airport management, and coordination of aviation infrastructure with regional development programs play an important role. In Brazil, the wave of privatization carried out in recent years, the management of airports based on concession models and socio-economic incentives aimed at infrastructure modernization are evaluated as a distinctive approach.

The article also summarizes the experiences of these countries in the formation of safety standards, organization of certification procedures, improvement of the quality of aviation services and ensuring financial sustainability. Comparisons show that the effective management of air transport infrastructure is closely related not only to technical issues, but also to state policy, regional development goals and social programs. As a result, the study puts forward a number of scientifically based recommendations that are also relevant for Azerbaijan: the application of integrated approaches in management, state support for infrastructure modernization, adaptation of safety standards to international practice and expansion of private sector participation.

Keywords: Air transport, infrastructure, national aviation, security, social programs, state support for infrastructure.

Müəllif haqqında məlumat

Soyadı, adı, atasının adı	İş yeri	Vəzifəsi, elmi dərəcəsi, elmi adı	Əlaqə
Əhmədova Gülnarə Telman qızı	Milli Aviasiya Akademiyası	Sosial və iqtisadi məsələlər üzrə prorektor, i.f.d., dosent	gahmadova@naa.edu.az

UOT: 33.338

DOI:10.30546/EMNAA.2025.25.04.443

İQTİSADI TƏHLÜKƏSİZLİK VƏ MÜASİR TƏHDİDLƏRDƏN QORUNMA MEXANİZMLƏRİNİN TƏTBİQİ

Musayev H.M.

Sərhəd Qoşunları Akademiyası

Milli təhlükəsizliyin tərkib hissəsi kimi tədqiq olunan iqtisadi təhlükəsizlik müasir şəraitdə aktualıq qazanmışdır. İqtisadi fəaliyyət sahələrində ölkənin milli təhlükəsizliyinə təhdidlərin qarşısının vaxtında alınması, hərətərfli təhlükəsiz mühitin təmin olunmasının məqsədi Azərbaycanın sosial-iqtisadi rifahına xidmət edən milli iqtisadiyyatının formalaşması və onun inkişafına kömək etməkdir. Bunun əsasında ölkə vətəndaşlarının sosial və iqtisadi tələbatını daha yaxşı təhlil etməklə ödəmək, istehsalın səmərəliliyini yüksəltmək, təbii sərvətlərdən qənaətlə istifadə etmək, ölkənin milli iqtisadiyyatını formalaşdırmaq və ekoloji problemin gərginləşməsinin qarşısını almaq mümkün ola bilər.

Təqdim olunan məqalə iqtisadi təhlükəsizliyin bir sıra aspektlərdən tədqiqini əhatə edir, həmçinin burada iqtisadi təhlükəsizliyin müxtəlif amilləri, göstəriciləri də təhlil olunur. Real iqtisadi təhdidlər təsnifləşdirilərək qruplaşdırılır. Tədqiqat mövcud və potensial iqtisadi təhdidlərin nəticələrinin minimuma endirilməsi, eləcə də, onların qarşısının alınması məsələlərini də əhatə edir. Müəyyən olunur ki, hər bir ölkənin iqtisadi təhlükəsizliyi onun milli iqtisadiyyatının inkişaf səviyyəsindən, iqtisadi təhlükəsizliyin təmin edilməsində milli mənafeyin əsas götürülməsindən, millətin mənafeyyətinin sağlam olub-olmamasından, habelə ölkənin sosial inkişaf istiqamətindən, müdafiə potensialından necə istifadə etməsindən və digər mühüm məsələlərdən asılıdır. Məqalədə nəzəri baxımdan mühüm əhəmiyyət kəsb edən yanaşma və fikirlər müvafiq faktlarla əsaslandırılaraq təhlil edilir, təhlükəsizliyin təminatına təsir edən amillər müəyyən olunur. Tədqiqatın ümumiləşdirilmiş nəticəsinə uyğun olaraq müvafiq tövsiyə və təkliflər irəli sürülür.

Açar sözlər: iqtisadi təhlükəsizlik, iqtisadi sabitlik, sərhəd təhlükəsizliyi, qabaqlayıcı tədbirlər, təbii resurslar.

Məqalənin yazılması əsasən iqtisadi təhlükəsizliyin təmin olunmasının müxtəlif aspektlərinin tədqiq edilməsindən, eləcə iqtisadi təhlükəsizlik anlayışının çərçivəsini müəyyən etməkdən ibarətdir. Ümumilikdə, qarşıya qoyulan tədqiqat məqsədi bir sıra aspektləri, o cümlədən, daxili və xarici təhlükəsizlik amillərinin araşdırılması ilə mümkün mübarizə üsulları ilə bağlı nəticələrin əldə olunmasını da əhatə etmişdir.

Milli təhlükəsizlik məsələləri içərisində iqtisadi təhlükəsizlik xüsusi yer tutur. Bu anlayış ölkənin iqtisadi sabitliyini qorumaq, davamlı inkişafını təmin etmək və milli iqtisadi maraqlarını müdafiə etmək məqsədini daşıyır. İqtisadi təhlükəsizlik həmçinin ölkənin iqtisadi sisteminə zərər verə biləcək daxili və xarici faktorların qarşısının alınması ilə də bağlıdır.

Ölkənin iqtisadi təhlükəsizliyini gücləndirmək üçün bir neçə əsas istiqamət mövcuddur: iqtisadi potensialın artırılması, dövlətin iqtisadi idarəetmə mexanizmlərinin təkmilləşdirilməsi, iqtisadi sahədə qanunsuzluq və cinayətkarlığa qarşı mübarizənin aparılması, daxili bazarın sabitliyinin qorunması və milli valyutanın dayanıqlığının təmin olunması. Bununla yanaşı, enerji,

ərzaq və nəqliyyat infrastrukturunun təhlükəsizliyi, habelə bank və maliyyə sektorunun etibarlılığı təmin edilməlidir. İqtisadi təhlükəsizlik heç də ölkəni iqtisadi cəhətdən qapalı məkana çevirməkdən ibarət deyildir. Ölkənin dünya iqtisadiyyatına inteqrasiyası şəraitində ölkənin sabit iqtisadi inkişafını xarici dağıdıcı təsirlərdən qorumaqdır [1, s.109].

İqtisadi təhlükəsizlik mühüm ticarət siyasəti müdaxilələrinin, sənaye siyasətlərinin və digər təşəbbüslərin formalaşdırılması üçün əsas yaradan konsepsiya kimi irəli sürülür. Lakin, bu konsepsiyanın dəqiq çərçivəsi hələ də müəyyən olunmamışdır və bu qeyri-müəyyənlik müxtəlif tərəflərə öz baxışlarını təqdim etməyə imkan vermir. Buna görə də, iqtisadi təhlükəsizlik məsələlərinin müxtəlif baxış bucaqları ilə təhlil edilməsi əhəmiyyətlidir.

İqtisadi təhlükəsizliyin siyasət məqsədləri üçün müəyyənləşdirilməsi zamanı iki əsas aspekti nəzərə almaq lazımdır. Birincisi, siyasət məqsədinin özüdür. Bəzi iqtisadi siyasət alətləri, iqtisadi nəticələrə təsir etməyi məqsəd qoyur, digərləri isə qeyri-iqtisadi nəticələrə təsir göstərməyə yönələn iqtisadi tədbirləri təmsil edir. Məsələn, iqtisadi məcburiyyətlərdən doğan zərərlərin qarşısını almağa və ya iqtisadiyyatı daha geniş ticarət pozuntularından qorumağa yönəlmiş ticarət müdafiə tədbirləri iqtisadi təhlükəsizlik strategiyalarına aid edilə bilər. Bu baxımdan, iqtisadi təhlükəsizlik tədbirləri müəyyən növ iqtisadi şoklara qarşı dayanıqlığın təmin edilməsini məqsəd qoyur. Bu çərçivəyə müxtəlif kateqoriyalı məhsulların tədarükünün şaxələndirilməsinə yönəlmiş sənaye və ticarət siyasətləri, iqtisadi zərərlərin qarşısının alınmasına xidmət edən ticarət müdafiə tədbirləri, yəni iqtisadiyyatın rəqiblər tərəfindən hədəfə alınmasının qarşısını alan və şoklar zamanı mənfi təsirləri azaldan siyasətlər daxildir. Alternativ yanaşmaya görə isə, iqtisadi təhlükəsizlik iqtisadi siyasət alətlərindən istifadə etməklə milli təhlükəsizliyin təmin edilməsinə yönəlmiş tədbirlər məcmusu kimi də müəyyən edilə bilər. Buraya, hərbi təbiiqləri olan kritik texnologiyaların qorunması, potensial rəqiblərin kiberinfrastrukturuna müdaxilənin qarşısını almaq və rəqəmsal informasiya məkanına nəzarət etməmək kimi iqtisadiyyatdan daha çox "təhlükəsizlik" məqsədli tədbirlər daxildir. Bu cür tədbirlər yalnız iqtisadi səbəblərlə əsaslandırmaq çətindir və buna görə də, iqtisadi təhlükəsizlik tərifinə uyğun gəlməyə bilər. Lakin, bəzi "təhlükəsizlik" nəticələri iqtisadi təsirlər doğura bildiyi üçün anlayışların əhatəsi bəzən qeyri-müəyyən olur. İqtisadi təhlükəsizlik ilə milli təhlükəsizlik arasındakı bu fərqləri ayırmaq yalnız nəzəri bir məsələ deyil. Bu fərq, həmçinin siyasi və hüquqi təsirlərə malikdir.

Ticarət tərəfdaşları, müdafiə məqsədləri ilə əlaqələndirilmiş iqtisadi təhlükəsizlik tədbirlərini proteksionist məqsədlərlə əlaqələndirmədən qəbul etməyə daha meyilli ola bilərlər.

Azərbaycan Respublikasının milli təhlükəsizlik haqqında qanununda Azərbaycan Respublikasının iqtisadi sahədə əsas milli maraqları aşağıdakı kimi təsbit olunmuşdur:

- iqtisadi potensialın artırılması;
- bazar iqtisadiyyatının inkişafı, onun hüquqi əsaslarının təkmilləşdirilməsi;
- iqtisadi sabitliyin təmin olunması;
- iqtisadiyyatın inkişafı üçün daxili və xarici investisiyalardan ötrü əlverişli şəraitin yaradılması;
- təbii və maddi sərvətlərin qorunması və səmərəli istifadə edilməsi;
- regional və dünya bazarlarının formalaşdırılmasında və fəaliyyət göstərməsində azad və bərabər hüquqlu iştirakın təmin edilməsi [2].

İqtisadi sahədə milli təhlükəsizliyin təmin olunmasının məqsədi Azərbaycanın sivil milli iqtisadiyyatının formalaşması və inkişafına kömək etmək və bunun əsasında ölkə vətəndaşlarının

sosial və iqtisadi tələbatını daha yaxşı ödəmək, istehsalın səmərəliliyini yüksəltmək, təbii sərvətlərdən qənaətlə istifadə etməklə ölkənin milli iqtisadiyyatını formalaşdırmaq və ekoloji problemin gərginləşməsinin qarşısını almaqdır.

İstər siyasi, istərsə də iqtisadi rəqabətin güclənməkdə davam etdiyi hazırki dövrdə iqtisadi təhlükəsizliyin əhəmiyyəti daha da yüksəlməkdədir. Ümumiyyətlə, iqtisadi təhlükəsizliyə iki aspektdən yanaşılır. Birinci geniş mənada, bu variantda söhbət dövlət və cəmiyyətin iqtisadi təhlükəsizliyindən gedir. İkinci isə, bir qədər dar çərçivədə. Bu halda sahibkarın, iqtisadi fəaliyyətlə məşğul olan hər hansısa hüquqi və ya fiziki şəxsin iqtisadi təhlükəsizliyindən söhbət gedir [3, s. 85]

İqtisadi təhlükəsizlik iqtisadi sabilliyin təmin edilməsinin başlıca şərtidir. Yaxud bu elə bir tədbirlər planının icrasından ibarətdir ki, bunun nəticəsi olaraq, müharibələr, təbii fəlakətlər zamanı iqtisadi imkanlar minimal səviyyədə itirilir. Qeyd etmək lazımdır ki, iqtisadi təhlükəsizliyin təmin olunması üzrə dövlətin tədbirlərini iki qrupa ayırmaq mümkündür: preventiv (qabaqlayıcı) və reaktiv (hadisə baş verəndən sonra və ya təhdid reallaşandan sonra dövlətin buna reaksiya verməsi) [4, s. 56]. Hər bir dövlətin iqtisadi təhlükəsizliyinin parametrləri müxtəlifdir və bu onun məxsus olduğu bir sıra təbii amillərdən asılıdır. Ümumiyyətlə, iqtisadi təhlükəsizliyin təmininə təsir edən amilləri iki qrupa bölmək olar. Birinci təbii amillərdir. Buraya aşağıdakılar daxildir:

- ölkənin malik olduğu təbii ehtiyatlar;
- yerləşdiyi coğrafi mövqe;
- əmək ehtiyatları və s.

İkinci qrup amillər isə bilavasitə mövcud hökumətin yürütdüyü siyasətdən asılıdır ki, bunlar da aşağıdakılardır:

- iqtisadi quruluş;
- idarəçilik metodları;
- iqtisadi qanunvericilik;
- lazımi iqtisadi biliklər və informasiya sistemi;
- ölkənin beynəlxalq əmək bölgüsündəki yeri;
- integrasiya və s.

Məxsus olduğu təbii ehtiyatların həcmi dövlətin iqtisadi təhlükəsizliyinin təminində ən başlıca amildir. Hansı ölkə ki, geniş təbii ehtiyatlara malikdir, onun iqtisadi təhlükəsizliyinin təmini böyük vəsait tələb etmir. Azərbaycan da geniş təbii ehtiyatlara malik ölkələr qrupuna aiddir.

Müasir dövrdə iqtisadi təhlükəsizliyin təmin edilməsi ilə yanaşı onun davamlı təhlil edilməsi aktual problem olaraq qalır. Belə ki, hər bir cəmiyyətdə iqtisadi təhlükəsizlik strategiyası hazırlanarkən iqtisadi təhlükə amillərinin öyrənilməsi və qiymətləndirilməsi tələb olunur. Bu isə öz növbəsində xüsusi bacarıqlar və iqtisadi təhlükəsizlik probleminin düzgün təhlilini, onun spesifik xüsusiyyətlərinin öyrənilməsini tələb edir. Bunun üçün isə iqtisadi təhlükəsizliyin göstəriciləri sistemini ətraflı araşdırmaq lazımdır [5, 276].

Hər bir ölkənin iqtisadi təhlükəsizliyi onun milli iqtisadiyyatının inkişaf səviyyəsindən, iqtisadi təhlükəsizliyin təmin edilməsində milli mənafeyin əsas götürülməsindən, millətin mənafeyyətinin sağlam və ya qeyri-sağlamlığının səviyyəsindən, habelə ölkənin sosial inkişaf istiqamətindən, müdafiə potensialından necə istifadə etməsindən və. s. asılıdır [6, s. 43].

İqtisadi təhlükəsizliyin daxili maddi əsası olmalıdır. Bu, məhsuldar qüvvələrin inkişaf səviyyəsi ilə əlaqədardır. Hər bir dövlət çalışmalıdır ki, geniş təkrar istehsalı elə təşkil etsin ki, milli məhsul ölkənin tələbatının çox hissəsini ödəməyə imkan versin [7, s 127]. Əgər bu təmin edilərsə

ölkə xarici dövlətlərin asılılığından azad ola bilər. İqtisadi təhlükəsizliyin daxili sosial əsası isə əhalinin birliyi. Bu isə dövlətin və onun rəhbərlərinin apardığı ağıllı siyasət ilə bağlıdır. Əgər dövlət ağıllı, ədalətli siyasət aparırsa, milli mənafeəni əsas götürürsə əhali onun ətrafında sıx birləşir, əks halda isə xalq öz dövlətinə inamını itirir [8, 277].

Ölkənin iqtisadi təhlükəsizlik sisteminin formalaşmasında coğrafi və tarixi amillər bir çox dövlətlərdə böyük rol oynayır. Ona görə də bu amillərin nəzərə alınması zəruridir. Azərbaycanın mühüm coğrafi məkanda yerləşməsi və gözəl təbii iqlim şəraitinin olması səbəbindən tarix boyu daim təhlükələrə məruz qalmışdır. Elmi-texniki inqilabın baş verdiyi indiki dövrdə təbii xammala və enerji-yanacağa tələbatın artması ilə əlaqədar olaraq Azərbaycana sənayecə inkişaf etmiş iri dövlətlərin marağı daha da artmışdır [9,s.5-18].

Ümumilikdə dövlət yalnız xaricdən deyil, daxildən də iqtisadi təhlükəyə məruz qala bilər. Belə ki, əsas iqtisadi təhlükə göstəriciləri [10, 2].

- iqtisadiyyatın strukturunun deformasiyasının güclənməsi;
- investisiya və innovasiya fəallığının aşağı düşməsi və elmi-texnikipotensialın dağılması;
- idxaldan asılılığın daha da artması; ölkədən valyuta ehtiyatlarının axması;
- cəmiyyətin təbəqələşməsinin güclənməsi;
- xarici borcun artması;
- iqtisadi münasibətlərin kriminallaşması.

Dövlətin iqtisadi təhlükəsizliyinin təmin edilməsində istehsal strukturunun necə formalaşması mühüm amillərdən biridir. Bu anlayış daha çox yeni müstəqillik əldə etmiş dövlətlərə aiddir [11, s. 115]. Bu dövlətlər istehsalın strukturunu təkmilləşdirmək, deformasiyaya uğrama meyillərinin qarşısını almaq, xalq təsərrüfatı proporsiyalarını optimallaşdırmaq yolu ilə ölkənin iqtisadi təhlükəsizliyinin təmin olunmasında nailiyyət qazana bilərlər [12, s. 14]. Məsələn, ABŞ avtomobil sənayesi, Yaponiya elektronika sənayesini, Almaniya ağır maşınqayırma sənayesini, Skandinaviya ölkələri kənd təsərrüfatını seçmiş və bu sahənin rəqabət qabiliyyətini artırmış, həmin sahələrdən əldə edilən gəlirin hesabına digər sahələrdə istehsalın strukturunu milli mənafeəyə uyğun qurmuşlar. Azərbaycan üçün belə sənaye sahəsi neft- maşınqayırma sənayesi seçilmiş və bu strategiya çox böyük uğurla reallaşdırılır.

Hər hansı bir dövlət üçün iqtisadi təhlükə törədən problemlərdən biri elmi-texniki potensialın dağılmasıdır. Bu investisiya və innovasiya fəallığının aşağı düşməsi ilə əlaqədardır. Xalq təsərrüfatının strateji sahələrinə böyük həcmdə kapital qoymadan bu problemi həll etmək imkan xaricindədir. Lakin, ölkənin dünyada analoqu olmayan təbii resurslara malik olması buna imkan verə bilər. Bu isə ölkədə siyasi və iqtisadi sabitliyin təmin edilməsi və həmin şəraitdə təbii amildən necə istifadə edilməsindən asılıdır.

Nəzərə almaq lazımdır ki, təbii resurslar sonsuz deyil, ondan intensiv istifadə edərək vəziyyətdən çıxmağa çalışmağın mənfi tərəfinin olması da şəksizdir. Buna görə də təbii ehtiyatlardan səmərəli istifadəedilməsinə nəzarətin güclənməsi və tənzimlənməsi zəruridir.

Milli iqtisadiyyata təhlükə yaradan göstəricilərdən biri kapitalın xarici ölkələrə axması, ölkənin valyuta ehtiyatlarının kənara daşınmasıdır. Bunun qarşısını almaq üçün hər şeydən əvvəl onun səbəblərini öyrənmək və, buna uyğun olaraq, onun qarşısının alınması üçün lazımi tədbirlər görülməlidir. Xarici kapital axınının səbəbləri müxtəlifdir. İqtisadi və siyasi sabitliyin kövrək olması risk amilini gücləndirir. Eyni zamanda, gizli iqtisadiyyatın xüsusi çəkisinin normadan yuxarı olması, qanunvericilikdə olan boşluq, bu sahədə nəzarətin qənaətbəxş olmamasına səbəb olur.

İqtisadi təhlükəsizlik yalnız müəyyən əsas göstəricilər əsasında qiymətləndirilə bilməz, çünki bu göstəricilər iqtisadi sistemin bütün mürəkkəbliyini əhatə etmir. Ümumilikdə iqtisadi təhlükəsizliyin göstəricilərini analiz edərkən, onları sistemli və strukturlaşdırılmış şəkildə nəzərdən keçirmək lazımdır. Belə yanaşma kompleks prinsiplərin tətbiqini tələb edir, çünki iqtisadi təhlükəsizliyi müəyyən edən faktorların sayı olduqca çoxdur və onların hamısını eyni zamanda əhatə etmək real deyil. Bundan əlavə, hər bir dövlətin iqtisadi inkişaf yolu, tarixi təcrübəsi və coğrafi yerləşməsi fərqli olduğundan, iqtisadi təhlükəsizlik göstəricilərinin əhəmiyyəti və tətbiqi də dəyişkən olur. Hər ölkə öz milli maraqlarını, strateji məqsədlərini və iqtisadi prioritetlərini nəzərə alaraq bu göstəricilərin siyahısını və onların önəmini müəyyən edir. Bu səbəbdən, iqtisadi təhlükəsizlik göstəricilərinin seçimi universal standartlara söykənə bilməz və hər dövlət üçün xüsusi yanaşma tələb olunur.

Aparılan tədqiqatın ümumiləşdirilməsinə əsasən belə qənaətə gəlmək olar ki, hər bir ölkənin iqtisadi təhlükəsizliyə yanaşması aşağıda sadalanan amillər nəzərə alınmaqla ediləməlidir:

1. İqtisadi sistemin karbohidrogen resurslarının ixracından. Eləcə də onların beynəlxalq bazardakı reallaşdırılma qiymətindən asılılıq səviyyəsi.
2. Ölkənin dünya üzrə mühüm iqtisadi göstəricilər üzrə reytinglərində əks olunan yeri və beynəlxalq iqtisadi təsir imkanları ilə formalaşan statusu.
3. Emal sənayesinin inkişaf və məhsulların ixracda rəqabət səviyyəsi;
4. Aqrar sənaye kompleksinin inkişafı nəticəsində əsas əmtəələrlə özünü təmin etmə səviyyəsi.
5. Məşğulluq siyasəti və yaradılan yeni iş yerlərinin sayı.
6. İqtisadi sistemin innovasiya təminatı və istehsal, o cümlədən idarəetmə prosesində innovasiyalı texnologiyalarının tətbiq edilməsi.
7. Yerli istehsalın intensiv təşkili əsasında idxal məhsullarının əvəz olunması, xaricə valyuta axınlarının qarşısının alınması.
8. Qonşu ölkələrin inkişaf səviyyəsi ilə yanaşı həmin ölkələrlə qurulan siyasi, sosial-iqtisadi əlaqələrin xarakteri.

Ümumiyyətlə, iqtisadi çatışmazlıqların aradan qaldırılması, iqtisadi təhlükəsizliyin təmin olunması müasir tədqiqatların nəticələrindən istifadə etməklə bir sıra mühüm istiqamətlərdə vəzifələr müəyyənləşdirilməklə mühüm tədbirlər həyata keçirilməlidir. Vəzifələrin dəqiq müəyyən olunması qarşıya qoyulan məqsədə daha çevik nail olmağa və müasir təhdidləri zərərsizləşdirməyə imkan verir.

İlk növbədə ölkənin iqtisadi sahədə təhlükəsizliyini ifadə edən göstəricilər sistemini dəqiq müəyyənləşdirmək lazımdır. İlk növbədə, müəyyən olunan göstəricilər əsasında iqtisadi təhlükəsizliyin səviyyəsini müəyyən etmək üçün lazım olan hədləri təyin etmək və bu hədəfləri təsdiqləmək məqsədilə istifadə etmək vacibdir.

İkinci mərhələdə, əldə edilən göstəriciləri, keçmiş dövrlərdəki müvafiq göstəricilər və ya istinad qiymətləri ilə müqayisə etmək və həmçinin digər ölkələrin məlumatları ilə əlaqələndirmək üçün praktik bir alətlər dəstinin yaradılması tövsiyə olunur. Bu yanaşma nəticəsində yaradılan model həm qısa, həm də uzunmüddətli dövrlərdə müxtəlif idarəetmə qərarlarının qəbul edilməsi üçün dəyərli məlumatlar təqdim edəcəkdir. İqtisadi sistemin vəziyyətini göstərən genişləndirilmiş göstəricilər vasitəsilə təhlükə zonalarını və onların dərinliklərini müəyyənləşdirmək mümkündür.

Üçüncü addımda, beynəlxalq təşkilatların və ittifaqların potensialından faydalanmaq üçün yenilənmiş bir mexanizm təklif etmək vacibdir. Eyni zamanda, silahlı münaqişələr və terror hücumları kimi regional qeyri-sabitlik və daxili gərginlikləri nəzərə alaraq müvafiq tədbirlər görmək önəmlidir.

Dördüncü addım olaraq, federal və regional idarəetmə orqanlarında struktur və keyfiyyət dəyişiklikləri həyata keçirmək təklif edilir. Bu dəyişikliklər çərçivəsində təsdiqlənmiş göstəricilərə əsaslanaraq iqtisadi təhlükəsizliyin qiymətləndirilməsi və onu daha da təkmilləşdirmək məqsədilə xüsusi struktur vahidlərinin yaradılması mümkündür.

Beşinci isə ABŞ və Çin kimi güclü iqtisadiyyatların təcrübəsindən faydalanaraq, iqtisadi təhlükəsizlik və onun alt sistemlərinin hədəf dəyərləri daxilində bazar iqtisadiyyatının dövlət tərəfindən tənzimlənməsi rolunun gücləndirilməsi vacibdir. Bu yanaşma iqtisadi mexanizmin daha effektiv işləməsini təmin edəcəkdir. Liberal və paternalist idarəetmə təcrübələrinin optimallaşdırılması məqsədilə strateji planlaşdırma prosesində milli təhlükəsizliyi gücləndirmək və ölkənin gücünü artırmaq prioritet olmalıdır. Əks halda, bu addımların əhəmiyyətsizliyi ölkənin dünya inkişafının irəliləyişindən kənarda qalmasına səbəb olacaqdır.

Nəticə etibarilə, iqtisadi təhlükəsizlik yalnız sadə statistik və ya makroiqtisadi göstəricilərdən ibarət deyil, həm də ölkənin strateji maraqlarını və spesifik inkişaf xüsusiyyətlərini əks etdirən kompleks bir sistem kimi qiymətləndirilməlidir. Bu yanaşma dövlətlərin potensial iqtisadi riskləri daha effektiv müəyyən etməsinə və onları minimuma endirməsinə imkan yaradır.

ƏDƏBİYYAT

1. Nağıyev N.M. Milli təhlükəsizlik nəzəriyyəsinin əsasları. Bakı 2007. 148 s.
2. Milli təhlükəsizlik haqqında Azərbaycan Respublikasının qanunu. Bakı-2004
3. Qafarov Ş.S. Müasir iqtisadi sistem və qloballaşma. Bakı 2005, s. 85.
4. Əlirzayev Ə.Q.İslahatlar və sürətlənmə strategiyası şəraitində Azərbaycanın sosial-iqtisadi inkişaf problemləri: təcrübə, meyllər və perspektiv istiqamətlər, Bakı, «Adiloğlu» nəşriyyatı,2005, s. 56.
5. Məmmədov N. “ Ölkənin iqtisadi təhlükəsizliyi “Bakı: “Elm”, 2009, 43 s.
6. Məmmədov N., Bərxudarov M."İqtisadi Təhlükəsizlik", Bakı-2015, 277 s.
7. Смирнова, О. П., Современные угрозы экономической безопасности в технологически сопряженных видах деятельности и их нейтрализация в условиях глобального кризиса, Московский Экономический Журнал, - 2016. N4, - с 125-131
8. Панков. А.В. Экономическая безопасность: межхозяйственный и внутренний аспект. Внешнеэкономические связи.1992. 8.с.5-18.
9. Тамбовцев В.Л. Экономическая безопасность хозяйственных систем: структура, проблемы// Вестник МГУ.Сер.6. Экономика,1995. №3,с.3.
10. Савин В.А.Некоторые аспекты экономической безопасности России // Международный бизнес России.1995.№9,с.14.
11. Kadala, V., Guzenko, O., & Bondarenko, O. (2023). Economic security as a tool for the protection of national interests. *Baltic Journal of Economic Studies*, 9(4), p 111-118.
12. Сенчагов. А.В. Экономическая безопасность. // Москва, «Наука», 2011, - 21 с

REFERENCES

1. Naghiyev N.M. Milli təhlükəsizlik nezeriyyesinin esaslary. Bakı 2007. 148s.
2. Milli təhlükəsizlik haqqında Azərbaycan Respublikasının qanunu. Bakı-2004
3. Gafarov Sh.S. Muasir iqtisadi sistem və globallaşma. Bakı 2005, s.85.
4. Elirzayev E.G. İslahatlar və sürətlənmə strategiyası şəraitində Azərbaycanın sosial-iqtisadi inkişaf problemləri: təcrübə, meyillər və perspektiv istiqamətlər, Bakı, "Adiloghlu" nəşriyyatı. 2005, s.56.
5. Mammadov N. "Ölkənin iqtisadi təhlükəsizliyi" Bakı: "Elm", 2009, 43s.
6. Mammadov N., Berkhudarov M. "İqtisadi Təhlükəsizlik", Bakı-2015, 277s.
7. Smirnova, O.P. Sovremennye ugrozy ekonomicheskoy bezopasnosti v tekhnologicheskii sopryazhennykh vidakh deyatelnosti i ikh neytralizatsiya v usloviyakh globalnogo krizisa, Moskovskiy Ekonomicheskii Jurnal, - 2016. N4, - c 125-131
8. Pankov.A.V. Ekonomicheskaya bezopasnost: mejkhozyaystvennyy i vnutrenniy aspekt. Vneshneekonomicheskie svyazi.1992. B kn.8. s.5-18.
9. Tambovtsev V.L. Ekonomicheskaya bezopasnost khozyaystvennykh sistem: struktura, problemy// Vestnik MGU. Sep.6.Ekonomika, 1995. №3, s.3.
10. Savin V.A Nekotorye aspekty ekonomicheskoy bezopasnosti Rossii// Mejdunarodnyy biznes Rossii.1995. №9, s.14.
11. Kadala, V., Guzenko, O., & Bondarenko, O. (2023). Economic security as a tool for the protection of national interests. Baltic Journal of Economic Studies, 9(4), p 111-118.
12. Senchagov. A.V. Ekonomicheskaya bezopasnost.//Moskva, "Nauka", 2011,-21s.

ECONOMIC SECURITY AND THE IMPLEMENTATION OF MECHANISMS FOR PROTECTION AGAINST MODERN THREATS

Musayev H.M.

Border Troops Academy

As a component of national security, economic security has gained relevance in the modern context. Ensuring the timely prevention of threats to the country's national security in the fields of economic activity and establishing a comprehensive safe environment aim to contribute to the formation and development of a national economy that serves the socio-economic welfare of Azerbaijan. On this basis, it becomes possible to better analyze and meet the social and economic needs of citizens, increase production efficiency, use natural resources rationally, build a sustainable national economy, and prevent the aggravation of environmental problems.

The presented article covers the study of economic security from several aspects and also analyzes various factors and indicators of economic security. Real economic threats are classified and grouped. The research also addresses the issues of minimizing the consequences of existing and potential economic threats, as well as preventing them. It is determined that the economic security of each country depends on the level of development of its national economy, the consideration of national interests in ensuring economic security, the moral health of the nation, the direction of social development of the country, the use of its defense potential, and other important factors. Theoretical

approaches and ideas of significant importance are analyzed and substantiated with relevant facts, and the factors influencing security assurance are identified. Based on the generalized results of the research, appropriate recommendations and proposals are put forward.

Keywords: *Economic security, economic stability, border security, preventive measures, natural resources.*

Müəllif haqqında məlumat

Soyadı, adı, atasının adı	İş yeri	Vəzifəsi, elmi dərəcəsi, elmi adı	Əlaqə
Musayev Hafiz Məhərrəm oğlu	Sərhəd Qoşunları Akademiyası	h.f.d.	mob: (+994) 50 211-23-78

MÜNDƏRİCAT

RADİOELEKTRONİKA

1. Radiotezlik diapazonunda yaranan maneələr şəraitində adaptiv radiolokasiya siqnallarının emali alqoritmlərinin təkmilləşdirilməsi.
Həsənov A.R., İsgəndərov İ.Ə., Əliyev T.R. 1

TELEKOMMUNİKASIYA

2. Yerüstü FM radio yayımında audio siqnalın spektrinin onun canlandırılma keyfiyyətinə təsiri. Məmmədov İ.R., Əhədov İ.C., Abbasov M.H. 15

FİZİKA

3. Rossbi dalğalarının günəşin maqnit-hidrodinamikasındakı rolu: nəzəri icmal.
Babayev E.F. 24

İNFORMASIYA TEXNOLOGİYALARI

4. Elektromaqnit sahəsinin texniki vasitələrə təsirinin müasir mikrokontrollerlər və təklövhəli kompüterlər vasitəsilə intellektual monitoringi və analizi.
Haqverdiyev H.N., Ramazanov K.Ş. 36
5. Üzvi yarımkeçirici sahə tranzistoru əsasında qurulmuş müasir sensorlar.
Zeynalova Ş.H., Mustafayev M.M. 47

TƏDRİSİN METODİKASI

6. Azərbaycanda ali hərbi təhsilin nəzəri və metodoloji əsasları sahəsində standartların hazırlanması. Məmmədzadə M.Ə. 57

HÜQUQ

7. Mədəni irsin cinayət-hüquqi mühafizəsi müqayisəli hüquqda: Fransa, Almaniya, Türkiyə və digər ölkələrin təcrübəsi. Farzullayeva A.E. 66
8. Hakimiyyətlər bölgüsü baxımından konstitusiya məhkəməsinin qanunvericilik orqanının fəaliyyətinə nəzarəti. Məmmədli Ş.Ə. 86

İQTİSADİYYAT

9. Hava nəqliyyatı infrastrukturunun idarə edilməsinin Beynəlxalq təcrübəsi.
Əhmədova G.T. 97
10. İqtisadi təhlükəsizlik və müasir təhdidlərdən qorunma mexanizmlərinin tətbiqi.
Musayev H.M. 106

CONTENTS

RADIOELECTRONICS

1. Improvement of adaptive radar signal processing algorithms under inter-system radio frequency interference. Hasanov A.P., Isgandarov И.А., Aliyev T.R.
(Совершенствование алгоритмов адаптивной обработки радиолокационных сигналов в условиях межсистемных помех радиочастотного диапазона. Гасанов А.Р., Искендеров И.А., Алиев Т.Р.) 1

TELECOMMUNICATIONS

2. Influence of audio signal spectrum width on quality of its reproduction in terrestrial FM broadcasting. Mammadov I.R., Ahadov I.C., Abbasov M.H. 15

PHYSICS

3. The role of Rossby waves in solar MHD dynamics: a theoretical review. Babayev E.F. (Роль волн Россби в солнечной МГД-динамике: Теоретический обзор. Бабаев Э.Ф.) 24

INFORMATION TECHNOLOGY

4. Intellectual monitoring and analysis of the impact of the electromagnetic field on technical devices using modern microcontrollers and single-board computers. Hagverdiyev H.N., Ramazanov K.Ş. 36
5. Modern sensors based on organic semiconductor field-effect transistors. Zeynalova Sh.H., Mustafayev M.M. 47

TEACHING METHODOLOGY

6. Preparation of standards in the field of theoretical and methodological foundations of higher military education in Azerbaijan. Mammadzade M.A. 57

LAW

7. Criminal-legal protection of cultural heritage in comparative law: the experience of france, germany, turkey, and other countries. Farzullayeva A.E. (Уголовно-правовая охрана культурного наследия в сравнительном праве: опыт Франции, Германии, Турции и других стран. Фарзуллаева А.Э.) 66
8. The constitutional court's control over the activities of the legislative body in terms of the principle of separation of powers. Mammadli Sh.A. 86

ECONOMICS

9. International experience in air transport infrastructure management. Ahmadova G.T. 97
10. Economic security and the implementation of mechanisms for protection against modern threats. Musayev H.M. 106

Məqalələrin təqdim olunma qaydaları

Məqalələr Azərbaycan, rus və ingilis dillərində qəbul olunur. Hər bir məqaləyə Azərbaycan, rus və ingilis dillərində xülasə və açar sözlər verilməlidir. Çapa təqdim olunan məqalələr A4 formatda, 12 ölçülü şriftlə (cədvəllər, şəkillər və şəkilaltı yazılar 11 ölçülü şriftlə), ağ kağızda bir intervalla çap olunmalıdır. Boşluqlar: vərəqin bütün kənarlarından 2 sm. Məqalənin həcmi: orijinal məqalələr üçün 10, icmal məqalələr üçün 15 səhifədən artıq olmamalıdır. Məqalələr 2 nüsxədə çap və elektron variantda (WORD) təqdim olunur. Əlyazmalar müəlliflərə qaytarılmır. Digər təşkilatlardan olan müəlliflərin məqalələri onların işlədiyi təşkilatın məktubu ilə birlikdə təqdim olunmalıdır.

Məqalələrə müsbət rəy verildikdən sonra redaksiya heyətinin qərarı ilə çap olunur.

1. Hər bir məqalə onun UOT-u və ya PACS-ı, DOI-si, adı, müəlliflərin adı, ata adı, soyadları, elektron ünvanları, təşkilatın adı, məqalənin yazıldığı dildə bir intervalla çap olunmalı, qısa annotasiya və açar sözlərlə başlanmalıdır.

2. Ədəbiyyata istinad (References):

- ədəbiyyata istinad məqalədə rast gəlinəni ardıcılıqla işlənməlidir.

Sitat gətirmə qaydası:

- dövrü jurnallardakı məqalələr: müəlliflərin A.A. Soyadları, məqalənin adı, dövrü jurnalın adı, çap olunma ili, cildi, nömrəsi, səhifə nömrəsi;

- konfrans materialları və tezislər: müəlliflərin A.A. Soyadları, konfrans materialları və ya tezisnin adı, konfransın adı, keçirildiyi yer və il, çap materialının cildi, nömrəsi və səhifələri;

- kitablar: müəlliflərin soyadları, kitabın adı, çap olunduğu nəşriyyat, il və yer, səhifələrin sayı, təkrar istinadlarda isə səhifə nömrəsi verilir.

References - ədəbiyyatın orijinal dildə ingilis əlifbası ilə verilmiş variantıdır.

3. Annotasiya.

Annotasiya digər iki dildə 200 sözdən az olmayaraq, ayrıca vərəqdə çap olunmalıdır.

4. Açar sözlər.

Azərbaycan, rus və ingilis dillərində 8-10 söz.

5. Rəsmlər və şəkillər.

Rəsmlər və şəkillər yazıları və izahatları ilə ayrıca təqdim olunmalıdır. Ölçülər: 6 sm x 6 sm-dən az və 23 sm x 16 sm-dən çox olmayaraq. Qrafiklərin koordinat oxları minimum rəqəm tərkibli olmalıdır. Koordinat oxlarının adları çox aydın yazılmalıdır. Qrafiklərdəki hər bir xətt nömrələnmiş və izahlı şəkildə olan yazılarla verilməlidir.

6. Cədvəllər.

Cədvəllər ayrıca vərəqdə çap olunmalıdır. Onlar nömrələnməli və başlıqla verilməlidir.

7. Məqalənin sonunda müəlliflər haqqında məlumat verilir: adı, soyadı və atasının adı; elmi dərəcəsi və adı; elektron ünvanı; iş yeri və ünvanı; işin icra olunduğu şöbə, laboratoriya və ya kafedra; maraq dairəsi.

Verilmiş tələblərə uyğun gəlməyən məqalələrə baxılmır!!!

Publication guidelines for articles in the Scientific Journal of National Aviation Academy

Articles are accepted in Azerbaijani, Russian or English. Each article should have an abstract and keywords in Azerbaijani, Russian and English. Articles submitted for publication should be printed with one interval on white A4 paper, font size 12 (tables, figures and captions for figures, font size 11). Margins: 2 cm on all edges page. Article length for original articles is no more than 10 pages, and 15 pages for review articles. Both articles should be submitted in 2 copies in printed and electronic version. The copies must be typed in the Microsoft Word text editor. Manuscripts of articles are not returned to the authors. For authors from other organizations, articles are accompanied by a letter and an examination certificate from the organization where they work. Articles are reviewed.

Only the articles received positive review of the Editorial Board are published.

1. Each article begins with UDC or PACS, DOI, title, information about the author(s), email address, name of the organization and a brief annotation in the original language of the article and keywords published in one interval.

2. References to literature (References):

- references should follow the order that are cited in the article

- Citation order:

- articles in periodicals: Author's full name, title of the article, title of the periodical, year of publication, volume and page numbers;

- conference publications and abstracts: Author's full name, title of the conference publication or abstract, conference title, place and year of the conference, volume number, page numbers.

- books: Author's full name, title of the book, publisher, date and place, number of pages; when referring again, the page number is also given.

References – is the referred version of the original literature give with Latin script.

3. Abstract. The abstract of at least 200-250 words in two other languages printed on a separate paper.

4. Key words in Azerbaijani, Russian and English, 8-10 words.

5. Drawings and photographs with inscriptions and explanations are attached separately. Dimensions: not less than 6x6 cm and not more than 23x16 cm. The coordinate axes of the graphs must contain minimum numbers. The names of the coordinate axes must be written very clearly. Each line in the graphs should be given with numbered and well-explained figure captions.

6. Tables should be numbered, titled and printed on a separate sheet.

7. The author(s) information is given at the end of the article: full name; academic degree and academic title; place of work and address; department, laboratory or chair where the work was fulfilled; sphere of scientific interests; email address; contact numbers.

Articles that do not meet these requirements will not be considered!!!

Texniki redaktor

Vəliyeva Q.C.

Korrektorlar

k.f.d. Yüzbaşova L.N., Osmanlı J.R., Zeynalova A.E., Məmmədova Z.A.

Dizayner

Binnətəliyeva T.V.

“Elmi Məcmuə”nin redaksiya heyəti tərəfindən
nəşrə hazırlanmış və çapına icazə verilmişdir.

Technical editor

Valiyeva G.J.

Correctors

Phd (Chem.) Yuzbashova L.N., Osmanlı J.R., Zeynalova A.E., Mammadova Z.A.

Designer

Binnataliyeva T.V.

"Scientific Journal" prepared for publication by the
editorial board and permission to print.

Çapa hazırlanmışdır: 12.01.2026
“Elmi Məcmuə”
“RAF” nəşriyyatında çap olunmuşdur.
Formatı - 60x84 1/8.
Tiraj 50 nüsxə.

Editor-in-chief

DSc (Phys. & Math.), Academician Arif M. Pashayev

Scientific Editor

DSc (Tech.), prof. Rasim N. Nabiyev

Members of the editorial board (by scientific fields)**Technical sciences**

DSc (Tech.), Prof. Afiq R. Hasanov (**editor**)

DSc (Tech.), Prof. Adalat S. Samadov

DSc (Phys. & Math.), Prof. Messoud A. Efendiev, Helmholtz Zentrum München, Germany

DSc (Phys. & Math.), Prof. Ali T. Ismail-Zadeh, Karlsruhe Institute of Technology, Germany

DSc (Tech.), Prof. Alexander A. Igolkin, Samara University, Russia

Ph.D (Tech.), Ass. Prof. Oleg B. Spiridonov, Southern Federal University, Russia

DSc (Tech.), Prof. Ismail M. Ismailov

DSc (Tech.), Prof. Ahad Kh. Janahmadov

DSc (Tech.), Prof. Parviz Sh. Abdullayev

DSc (Phys. & Math.), Prof. Karim R. Allahverdiyev

DSc (Tech.), Prof. Khagani I. Abdullayev

DSc (Phys. & Math.), Prof. Kamal A. Asgarov

DSc (Tech.), Prof. Nazim Sh. Huseynov

DSc (Tech.), Prof. Aytaj N. Badalova

Ph.D (Phys. & Math.), Prof. Islam A. Isgandarov

Ph.D (Tech.), Ass. Prof. Elman M. Najafov

Ph.D (Tech.), Ass. Prof. Fuad H. Dadashov

Legal sciences

DSc (Law), Prof. Aykhan Kh. Rustamzadeh (**editor**)

Prof. Dr. (Law), Javid S. Abdullazadeh, Ankara University, Türkiye

Prof. Dr. (Law), Yener Unver, Özyeğin University, Türkiye

Prof. Dr. (Law), Omer Chinar, İbn Haldun University, Türkiye

DSc (Law), Prof. Nazim H. Jafarli

DSc (Law), Prof. Subhan F. Aliyev

DSc (Law) Fardin Y. Khalilov

DSc (Law), Ass. Prof. Rauf M. Garayev

Economic sciences

Ph.D (Econ.), Ass. Prof. Gulnara T. Ahmedova (**editor**)

D.Sc (Econ.), Prof. Heydar S. Hasanov

D.Sc (Econ.), Prof. Rustem T. Yuldashev, Moscow State Institute of International Relations, Russia

D.Sc (Econ.), Prof. Salim Y. Muslumov

D.Sc (Econ.), Prof. Sarvar A. Abbasov

D.Sc (Econ.), Prof. Elnur M. Sadigov

Ph.D (Econ.), Ass. Prof. Farida F. Alakbarova

Ph.D (Econ.), Ass. Prof. Vafa G. Najafova

Ph.D (Econ.), Ass. Prof. Fuad M. Mirzayev

Categories of the "Scientific Journal": aviation and rocket space technology, air navigation, aviation security, aviation meteorology, aerospace monitoring and environmental protection, instrumentation, radio electronics, telecommunications, information processing, transport logistics, physics, solid-state electronics, materials science, information technology, system analysis, control systems, law, economics, management, social sciences.

"Scientific Journal" was registered at the Ministry of Press and Information of the Republic of Azerbaijan in 1999 (Reg. № 492).

The journal is included into the recommended list of periodical scientific publications of Higher Attestation Commission under the President of the Republic of Azerbaijan.

Address: AZ1045, Baku, Mardakan Ave. 30, National Aviation Academy

Tel. (+994) 12 497 28 24. E-mail: em@naa.edu.az Website: <https://scientific-journals.naa.edu.az/>

