

Варламов Александр Сергеевич,

Кандидат педагогических наук, ст. преподаватель,
Филиал ВУНУ ВВС «ВВА» в г. Челябинске

Ткачёв Артём Андреевич, студент 2 факультета,
Филиал ВУНУ ВВС «ВВА» в г. Челябинске

Хабибулин Глеб Игоревич, студент 2 факультета,
Филиал ВУНУ ВВС «ВВА» в г. Челябинске

РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ ПОСАДКИ НА АЭРОДРОМЕ

Аннотация. В статье рассмотрена система инструментальной посадки ILS как ключевой элемент РТО аэродрома: назначение, состав и принципы работы курсового и глиссадного маяков, маркерных и дальномерных подсистем, а также организация эксплуатации, ЭМС и радиомониторинг. Обсуждаются категории CAT I/II/III, требования к «чистоте» зон, источники помех, наземные и лётные проверки, надёжность, а также сравнение с GBAS/GLS, SBAS, RNAV (RNP) и тенденции развития.

Ключевые слова: Аэродром, ILS, курсовой маяк, глиссадный маяк, маркерный радиомаяк, DME, GBAS, SBAS, RNAV, электромагнитная совместимость, лётная проверка, CAT I/II/III.

Пилотирование в условиях ограниченной видимости давно перестало быть экзотикой: современная гражданская авиация рассчитывает на устойчивые радиотехнические ориентиры, позволяющие экипажам безопасно и планомерно выполнять посадку при низких метеоминимумах. На аэродроме эту задачу традиционно решает инструментальная система посадки ILS, которая благодаря стандартизации, предсказуемости и развитым процедурам контроля остаётся базовым «якорем» точного захода для большинства аэропортов мира. Вместе с тем в последние годы на первый план выходят интеграция с GNSS-технологиями, развитие наземных и спутниковых подсистем дополнения, цифровой мониторинг качества сигналов и тщательное управление «чистотой» зон вокруг антенн. В этой работе последовательно и без излишней формализации рассматриваются принципы формирования курсового и глиссадного лучей, роль дальномерного канала, минимумы категорий CAT I/II/III, эксплуатационные риски и организация контроля, а также место ILS в гибридной навигационной архитектуре аэродрома, включающей GBAS/GLS и процедуры RNAV.

Инструментальная посадка базируется на простом для пилота и чрезвычайно выверенном физическом принципе: два перекрывающихся по пространству поля радиосигнала, амплитудно модулированных на частотах 90 и 150 Гц, образуют «нулевую» линию, где разность глубин модуляции стремится к нулю, и именно она интерпретируется бортовой системой как точное приведение по курсу или по глиссаде [1]. В горизонтальной плоскости это реализует курсовой радиомаяк (Localizer), а в вертикальной – глиссадный радиомаяк (Glide Slope). Для читателя, знакомого с общей теорией радионавигации, именно понятие разности и суммы глубин модуляции (DDM/SDM) связывает качественную картину «стрелки на ПНП» с количественными характеристиками поля, допусками линейности и симметрии диаграмм направленности [2]. Практическая ценность подхода в том, что физика сигнала проста, а требования к мониторингу параметров чётко заданы нормативами, что и обеспечило ILS многолетнее лидерство среди точных систем захода [8].



Теперь рассмотрим курсовый маяк. Он излучается в диапазоне VHF (примерно 108,10–111,95 МГц) и формирует линию, совпадающую с осью ВПП, тогда как глиссадный маяк, работающий в UHF (около 329–335 МГц), задаёт оптимальный угол снижения, как правило 3–3,5 градуса. Фазированные антенные решётки позволяют стабилизировать фронт волны и подавить боковые лепестки диаграммы, но именно планировка аэродрома, движение техники и сезонные изменения поверхности (лужи, снежные валы) сильнее всего влияют на многолучёвость и возможный сдвиг «нуля» DDM. Любые временные металлические конструкции в зоне прямой радиовидимости антенн, а также самолёты на перроне могут вносить заметные искажения, и службе РТО приходится работать не только измерительными приборами, но и регламентом доступа в чувствительные и критические зоны вокруг LOC/GS [1].

Исторически функцию ориентиров по дальности обеспечивали маркерные радиомаяки на частоте 75 МГц (дальний, средний, ближний маркеры), однако с развитием дальномеров DME их роль заметно уменьшилась. Связка ILS+DME позволяет пилоту иметь непрерывную индикацию наклонной дальности, что особенно удобно при оптимизации профиля снижения и подтверждении точек прохождения по схеме [3]. Для региональных аэродромов это ещё и экономический довод: меньше объектов на поле, проще обслуживание, меньше рисков переотражений. Современные отечественные комплексы ILS промышленного исполнения (например, ILS 2700) изначально предусматривают сопряжение с DME, развитый мониторинг параметров и возможность резервирования передающих трактов, что важно для категорий II/III [6].

Категории эксплуатационной годности отражают не столько «возможности» самолёта, сколько состыкованные требования к аэродромному оборудованию, светотехнике, энергетике, диспетчерскому контролю и лётным процедурам. Для CAT I типична высота принятия решения порядка 200 футов при дальности видимости на ВПП около 550–800 м, тогда как CAT II снижает DH примерно до 100 футов и требует усиленной системы огней и резервирования аппаратуры. CAT III включает подкатегории, вплоть до посадок практически в нулевой видимости, и предъявляет максимальные требования к непрерывности мониторинга и к архитектуре резервирования, вплоть до «горячего» ввода резерва без выпадения сигнала [8]. Практика показывает, что переход с CAT I на CAT II в аэропорту средней интенсивности – это не только замена передатчиков, но и большой проект по очистке зон вокруг антенн, модернизации светосигнальной системы, разделению контуров электропитания и организации более частых наземных и лётных проверок.

Также заслуживает внимания ILS. Ее эксплуатация строится вокруг двух контуров контроля: встроенного мониторинга передающих устройств (аппарат автоматически десигнализируется, если параметр вышел за допуск) и регламентных измерений службой РТО с эталонных точек, а также периодических лётных инспекций. Лётная проверка включает пролёты по оси и с отклонениями, оценку линейности DDM, уровня шумов и устойчивости идентификатора, сверку процедур и минимальных высот. По результатам инспекции может устанавливаться ограничение категории или требование к донастройке/перенастройке оборудования [2]. При этом инженерная культура – ведение журналов, сезонная профилактика, контроль КСВ и кабельных трасс, молниезащиты – столь же важна, как и собственно измерения, поскольку многие деградации носят постепенный характер и лучше всего обнаруживаются трендом параметров [5].

С технологической точки зрения ILS сильна своей «аналоговостью»: форма сигнала и критерии допуска понятны и одинаково интерпретируются бортовыми системами множества поколений. Но именно аналоговая природа делает её чувствительной к геометрии и отражающим поверхностям вблизи антенн. Поэтому в последние годы на крупных аэродромах активно обсуждается гибридная архитектура «ILS + GBAS/GLS», где наземная система функционального дополнения к GNSS (GBAS) формирует корректирующую информацию



высокой точности и целостности, позволяя строить процедуры GLS с разными углами глиссады и даже с криволинейной осью без постановки новых антенн. В российских публикациях подчёркивается, что GLS объединяет спутниковую и наземную компоненты, обеспечивая наведение как по горизонтали, так и по вертикали; на борту – приёмник GBAS, наземная часть – передающие станции с радиосредствами связи, контрольными приемниками и вычислителями целостности. При всех достоинствах зависимость от GNSS и требований к качеству поправок делает ILS по-прежнему незаменимым резервом – особенно для подкатегорий CAT III, где альтернативы пока ограничены [8].

Производственные решения российских разработчиков наглядно показывают эволюцию систем: современные комплексы ILS 2700 проектируются с учётом критических и чувствительных зон, автоматического контроля и удалённой диагностики, поддерживают интерфейсы передачи телеметрии в диспетчерские системы и могут комплектоваться резервированными модулями питания и излучения. Учебные пособия, посвящённые именно этой линейке, детально разбирают структуру сигналов, вопросы размещения антенн и алгоритмы мониторинга, что полезно как для эксплуатационщиков, так и для проектировщиков процедур захода [6]. На прикладном уровне это означает, что служба РТО получает не только «чёрный ящик» передатчика, но и прозрачную систему параметрического наблюдения, где можно заранее увидеть дрейфы и тренды.

В 2025 году ILS рассматривается уже не изолированно, а как часть аэродромного комплекса, включающего светотехнику (ALS, PAPI/VASI), РТО маршрута (VOR/DME, NDB, РСБН), наблюдение (РЛС, МЛАТ, ADS-B), диспетчерские автоматизированные системы и электроснабжение с ИБП и ДГУ [4]. Такая постановка задачи отражает реальность: даже идеально настроенный курсовой маяк не обеспечит минимумы, если на рулёжных дорожках нет регламента движения для исключения переотражений, а силовые цепи не разделены по независимым источникам. Не случайно уделяют внимание кибербезопасности подсистем мониторинга и удалённого доступа: хоть наведением самолёта управляют аналоговые поля, но конфигурация и телеметрия живут в цифровой среде [5].

Специально стоит обсудить вопрос «влияния местности». В последнее время систематически разбираются сценарии ухудшения качества локализатора из-за построек, складов металла, стоящих на перроне самолётов, снежных валов, а также последствий сезонных водных поверхностей, создающих зеркальные отражения [5]. В операционном смысле это приводит к необходимости запрещать или ограничивать нахождение техники в критических зонах на этапе захода, а зимой — оперативно вывозить снег из чувствительных районов. Лётные инспекции после крупных строительных работ на аэродроме – не формальность, а инструмент подтверждения «чистоты» сигналов.

Экономика же чаще всего определяет целевую категорию. Для регионального аэропорта с умеренным трафиком и редкими туманами ILS CAT I совместно с процедурами RNAV и хорошей светотехникой может давать достаточную регулярность рейсов; для узлового аэропорта с интенсивным движением и типичными осенними «молочными» туманами переход к CAT II/III оправдан снижением диверсий и отвода рейсов на запасные. Новые издания подчёркивают, что экономия от сокращения задержек быстро покрывает капитальные затраты на резервирование и модернизацию, но «невидимая» статья – эксплуатационные расходы на более частые проверки, обслуживание светосигнальной системы и поддержание инфраструктуры зимой [1].

С точки зрения подготовки персонала важно, что литература лучше связывает теорию сигналов, статистические методы оценки и практические процедуры измерений. Учебники по теоретическим основам радионавигации дают полноту математического аппарата, в том числе оценку точности и устойчивости, а также статистику ложных срабатываний и критерии



отказоустойчивости [2]. Параллельно – прикладные пособия по РТОП и авиационной электросвязи, где ILS рассматривается в связке с каналами связи, питающими сеть, структурой диспетчерской автоматизации и регламентами эксплуатационного обслуживания [1]. Такое «сшивание» теории и практики особенно полезно инженерам аэродромных служб, которым приходится не только эксплуатировать, но и защищать зоны LOC/GS от внешних факторов.

Помимо специализированных учебных материалов, полезны и современные русскоязычные обзорные публикации, в которых простым языком объясняется различие категорий CAT I/II/III, принципы формирования курсового и глиссадного лучей, а также даются наглядные сравнения ILS с GNSS-подходами. Ценность таких разборов в том, что они выступают связующим звеном между строгой теорией и реальной практикой пилотов, диспетчеров и инженеров аэродромных служб [8]. При использовании подобных материалов важно помнить: любые числовые параметры и эксплуатационные допуски необходимо сверять с действующей документацией конкретного аэродрома и описаниями установленного оборудования, поскольку именно локальные регламенты определяют конкретику частот, глубин модуляции, алгоритмов мониторинга и правил десигнализации. В практической плоскости это означает постоянную увязку теоретических принципов с реальными ограничениями аэродрома: застройкой, микрорельефом, снежными заносами, движением техники и сезонными явлениями, способными вызвать многолучёвость и смещение «нуля» DDM. Чем аккуратнее выстроена эта увязка, тем стабильнее будут навигационные указания и тем выше фактическая доступность минимума [7].

Если попробовать сформулировать развёрнутую стратегию для аэродромной службы, она будет выглядеть так. Во-первых, обеспечить эталонную «чистоту» зон вокруг LOC/GS: регламентировать движение спецтехники и воздушных судов, контролировать временные металлические конструкции, своевременно убирать снег и воду, минимизировать отражающие поверхности и фиксировать все изменения окружения антенн. Во-вторых, построить многоуровневую систему мониторинга параметров с трендовым анализом: фиксировать DDM/SDM, уровни побочных лепестков, шумы и температуру, хранить телеметрию и отчёты замеров, использовать пороговые уведомления и предиктивную аналитику, чтобы ловить деградации до выхода за допуски. В-третьих, планировать лётные инспекции не только «по календарю», но и с привязкой к строительным сезонам, крупным работам на перроне/РД и резким погодным периодам; результаты инспекций оперативно конвертировать в корректирующие действия. В-четвёртых, трезво оценивать экономику повышения категории: готовность электроснабжения (независимые вводы, ДГУ, ИБП), состояние светосигнальной системы (ALS, TDZ, осевая разметка), архитектуру резервирования передатчиков и мониторов, а также реальные операционные выгоды – снижение диверсий, уменьшение отклонений на запасные аэродромы, рост регулярности рейсов. Наконец, в-пятых, смотреть вперёд и развивать гибридную архитектуру: изучать и по мере готовности внедрять GBAS/GLS как дополнение к существующим средствам, использовать гибкие процедуры захода, тестировать альтернативные углы глиссады и профили с учётом местных ограничений, при этом сохраняя ILS в роли независимой и предсказуемой основы точного захода [8]. Такая стратегия, опирающаяся на дисциплину зон, качественный мониторинг, осмысленную экономику и технологический задел, обеспечивает устойчивость как в техническом, так и в финансовом измерении и повышает реальную безопасность полётов.

В заключение можно сказать следующее: несмотря на заметный прогресс спутниковой навигации, ILS остаётся практически и методически оптимальным решением для точного захода благодаря простой и надёжной физике сигналов, строгим допускам и богатой эксплуатации. На практике её устойчивость обеспечивается не только аппаратурой, но и организацией «чистых» зон вокруг антенн, дисциплиной движения техники, сезонным



содержанием аэродрома и корректной светосигнальной поддержкой. Ключевым фактором выступает предиктивный мониторинг параметров: анализ трендов DDM/SDM, уровней побочных лепестков и телеметрии позволяет упреждающе выявлять деградации и сохранять фактические минимумы. Экономически ILS оправдана тем, что снижает диверсии и отклонения на запасные аэродромы, при этом гибридная архитектура «ILS + GNSS-дополнения» повышает гибкость процедур без утраты независимого наземного ориентира. В совокупности грамотная эксплуатация, своевременные наземные и лётные проверки, резервирование питания и передающих трактов, а также тесная координация с диспетчерскими службами обеспечивают высокую безопасность и регулярность посадок даже в сложной метеобстановке.

Список литературы:

1. Радиотехническое обеспечение полётов воздушных судов и авиационная электросвязь: учебное пособие для студентов вузов по специальности 25.05.05 «Эксплуатация воздушных судов и организация воздушного движения» / С. А. Кудряков, В. К. Кульчицкий, Н. В. Поваренкин [и др.]; под ред. С. А. Кудрякова. – Москва: ИНФРА-М, 2021. – 298 с. – ISBN 978-5-16-016820-3.
2. Григорьев С. В. Теоретические основы радионавигации и радиолокации: учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению «Аэронавигация» и специальностям «Эксплуатация воздушных судов и ОВД», «Лётная эксплуатация воздушных судов», «Аэронавигационное обслуживание и использование ВП»; ч. 2. – Санкт-Петербург: СПбГУ ГА, 2022. – 325 с. – ISBN 978-5-907354-14-2.
3. Старчиков С. А. Основы аэронавигации: учебное пособие для курсантов учреждений СПО гражданской авиации. – Саратов: Профобразование, 2021. – 247 с. – ISBN 978-5-4488-0884-5.
4. Монаков А. А. Теоретические основы радионавигации: учебник для вузов. — Санкт-Петербург: Лань, 2024. – (Высшее образование). – [Электронный ресурс]. Доступ из ЛитРес. URL: <https://www.litres.ru/book/andrey-monakov/teoreticheskie-osnovy-radionavigacii-uchebnik-dlya-vuzov-70414456/> (дата обращения: 04.11.2025).
5. Евсевичев А. В., Шагарова Н. А., Ефимов Д. С., Гаврилова Е. С. Авиационная электросвязь: лабораторный практикум. – Ульяновск: УВАУ ГА (филиал), 2022. – 92 с. – [Электронный ресурс]. URL: https://lib.uvauga.ru/disk/2022/Yevsevichev_Shagarova_Yefimov_Gavrilova_Aviatsionnaya_Elektr_osvyaz_laboratornyy_praktikum_2022.pdf (дата обращения: 04.11.2025).
6. Волков С. И., Барабицкий П. В., Саяпин А. В., Семёнов С. А., Тоболов Ю. М. Радиомаячная система посадки ILS 2700: учебное пособие. – 2024. – [Электронный ресурс]. URL: <https://thelib.net/3339295-radiomajachnaja-sistema-posadki-ils-2700-uchebnoe-posobie.html> (дата обращения: 05.11.2025).
7. ILS 2700. Инструментальная система посадки: Описание и ТТХ. — АО «АЗИМУТ», 2024–2025. — [Электронный ресурс]. URL: https://www.azimut.ru/catalog/catalog_3.html?template=96 (дата обращения: 05.11.2025).
8. Что такое ILS и чем отличаются категории CAT I, II и III. – SkyMoments, 07.05.2025. — [Электронный ресурс]. URL: <https://skymoments.ru/articles/instrument-landing-system-ils> (дата обращения: 03.11.2025).
9. Радионавигация и время. – 2021, № 8. – [Электронный ресурс]. URL: <https://j.twirpx.link/file/4021919/> (дата обращения: 06.11.2025).
10. Гражданская авиация = Civil aviation: популярный авиационный журнал. – 2021, № 4 (878). – [Электронный ресурс]. URL: https://rusneb.ru/catalog/000199_000009_010777819/ (дата обращения: 06.11.2025).

