Автоматизация оценки влияния объектов строительства на работу средств радиотехнического обеспечения полетов

Рубцов Евгений Андреевич
к.т.н., специалист Научно-образовательного центра воздушного транспорта, Российский университет транспорта, г. Москва, Россия, rubtsov.spb.guga@rambler.ru

АННОТАЦИЯ

Введение: в настоящее время в пределах границ приаэродромных территорий ведется активная застройка. Оценка влияния объектов строительства на работу средств радиотехнического обеспечения полетов в большинстве случаев выполняется вручную. Актуальной становится задача анализа существующих требований и рекомендаций по оценке влияния объектов приаэродромной территории, применяемых за рубежом и в России программных продуктов и выработки рекомендаций по автоматизации оценки влияния. **Постановка задачи:** анализ существующих требований и методов оценки влияния объектов строительства на работу средств радиотехнического обеспечения полетов и разработка рекомендаций по автоматизации процесса оценки. **Результаты:** проанализированы методы расчета зон действия ненаправленных средств радиотехнического обеспечения полетов и расчета искривлений линии курса и глиссады для радиомаячных систем посадки. Эти методы целесообразно применять для инженерного анализа влияния объектов строительства. Выявлены расхождения между Методикой, утвержденной Государственной корпорацией по организации воздушного движения и Европейским инструктивным материалом по управлению зонами ограничений застройки, что усложняет гармонизацию с международными правилами. Предлагается разработать и внедрить автоматизированную систему оценки, реализованную в виде веб-портала с возможностью доступа специалистам Госкорпорации и застройщикам. Система должна выполнять проверку выполнения требований по размещению средств радиотехнического обеспечения полетов, расчет зон ограничения застройки и выдавать рекомендации по устранению влияния (если оно есть) или формировать готовый шаблон заявки на согласование строительства (если влияния нет). **Практическая значимость:** автоматизированная система позволит применять общие и понятные для всех пользователей методики и правила оценки, свяжет единой базой данных застройщиков и специалистов Госкорпорации, уменьшит вероятность возможных ошибок и неточности при оформлении документов и значительно сократит время согласования строительства, или получения ответа о несогласовании с указанием причин и рекомендаций по их устранению. **Обсуждение:** в дальнейших исследованиях планируется осветить вопросы возможной архитектуры и программной реализации предлагаемой автоматизированной системы.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: безопасность полетов; приаэродромная территория; средства радиотехнического обеспечения полетов; зоны ограничения застройки; автоматизация.

Введение

В пределах границ приаэродромных территорий (ПАТ) ведется застройка, строятся (реконструируются) жилые и производственные здания, спортивные сооружения, торговые комплексы, радиотрансляционные вышки, линии связи, высоковольтные линии электропередач, объекты электроэнергетики, транспортные коммуникации. Механизмы, используемые для строительства объектов, материалы их конструкции, источники излучений могут оказывать мешающее воздействие на работу средств радиотехнического обеспечения полетов (РТОП) [1-3].

Для решения этой задачи разработаны рекомендации и методики по оценке влияния застройки ПАТ на работу средств РТОП. Применение рекомендаций и методик обеспечивает предварительную оценку возможного влияния застройки на работу средств РТОП и позволяет предупредить ухудшение их характеристик. В большинстве случаев оценка влияния объектов строительства выполняется вручную, что приводит к большим задержкам при согласовании строительства и затрудняет проведение быстрой предварительной оценки самим застройщиком. Выходом может служить разработанная с учетом действующего законодательства автоматизированная система анализа и оценки влияния застройки ПАТ на работу средств РТОП, доступная как службам, выполняющим согласование строительства, так и застройщику для корректировки будущих проектов.

Целью статьи является анализ существующих требований, рекомендаций и методик по оценке влияния застройки ПАТ на работу средств РТОП, и разработка предложений по автоматизации данной оценки.

Анализ требований к характеристикам и размещению средств РТОП

Требования к характеристикам средств РТОП изложены в Авиационных правилах Часть 170 Том 2 «Сертификационные требования к оборудованию аэродромов и воздушных трасс» (АП-170); Методических рекомендациях по летным проверкам наземных средств радиотехнического обеспечения полетов; Ведомственных строительных нормах проектирования объектов управления воздушным движением (ВСН 7-86), а также сертификационных требованиях (базисах).

Важнейшей характеристикой средств РТОП является зона действия (ЗД); для радиомаячных систем посадки (РМС) также учитываются искривления линии курса и глиссады, выраженные в единицах разности глубин модуляции (РГМ). Эффективность работы средств РТОП определяется большим количеством факторов, связанных с размещением средств на местности. Некоторые требования к размещению средств РТОП приведены в АП-170, ВСН 7-86 и Методических рекомендациях по летным проверкам. Ряд требований к размещению средств РТОП представлен в Федеральных авиационных правилах «Радиотехническое обеспечение полетов воздушных судов и авиационная электросвязь» (ФАП-297). Производители оборудования могут вносить дополнительные требования к местности. Так, для курсового радиомаяка (КРМ) и глиссадного радиомаяка (ГРМ) РМС вводятся регламентированные зоны, нарушение которых ведет к искажению формы диаграмм направленности антенн (ДНА) и погрешностям задания линии курса или глиссады. Для ГРМ вводится четыре типа поверхности перед маяком, для оценки возможности обеспечения требуемой категории посадки.

Несоблюдение требований к размещению средств РТОП может привести к ухудшению пространственных характеристик оборудования. Для оценки ЗД целесообразно применять методику, учитывающую углы закрытия и параметры атмосферы [4]:

$$D=\sqrt{\left(\frac{2a\cdot tg\beta}{2}\right)^2+\frac{2a}{1000}\cdot\left(H+h\right)}-\frac{2a\cdot tg\beta}{2}, \quad (1)$$

где D — дальность действия радиолокатора с учетом углов закрытия, км;

β — угол закрытия, град.;

H — высота полета ВС, м;

h — высота фазового центра антенны радиолокатора, м;

a — эквивалентный радиус Земли, км (для стандартной атмосферы принимается 8450 км).

Влияние параметров атмосферы на ЗД учитывается через эквивалентный радиус Земли a, определяемый как [4]:

$$a=\frac{a_0}{1+a_0\cdot dN/dh\cdot 10^{-5}}, \quad (2)$$

где a_0 — фактический радиус Земли (6370 км);

dN/dh — градиент индекса преломления атмосферы.

Для первоначальной оценки ЗД возможно применение эквивалентного радиуса Земли, рассчитанного исходя из параметров стандартной атмосферы. Для учета параметров реальной атмосферы, необходимо для различных высот рассчитывать индекс рефракции N:

$$N=\frac{77,6P}{T}-\frac{5,6P}{T}+\frac{3,75\cdot 10^5\cdot e}{T^2}, \quad (3)$$

где P — давление воздуха, ГПа;

T — температура воздуха, К;

e — давление водяных паров, ГПа.

Значения эквивалентного радиуса, рассчитанные на примере Санкт-Петербурга по выражениям (2) и (3) равны 8338 км (среднегодовое значение) и 7816 км (для июля, как наихудшего месяца).

Траектория радиоволны имеет непостоянную кривизну, вследствие изменения градиента индекса преломления атмосферы с высотой. Таким образом, значения дальности действия, полученные с помощью (1) должны быть скорректированы в сторону уменьшения. Это учитывается путем введения коэффициента использования радиогоризонта, значения которого представлены в табл. 1 [5, 6].

Таблица 1

Коэффициент использования радиогоризонта для различных длин радиоволн

Условия прохождения	Длина радиоволны 10 см	Длина радиоволны 30 см	Длина радиоволны 100 см
Ясная погода	0,7	0,75	0,8
Дождь с интенсивностью 5 мм/ч	0,6	0,75	0,8
Дождь с интенсивностью 100 мм/ч + ослабление в дождевом облаке.	0,5	0,70	0,8

В качестве примера влияния рельефа местности на ЗД средств наблюдения, рассмотрим радиолокационный комплекс (РЛК) «Лира-А10», размещенный на аэродроме Бодайбо. График углов закрытия представлен на рис. 1. ЗД первичного канала РЛК, рассчитанные по методике, изложенной в [4] и скорректированные по результатам летной проверки, проведенной в 2020 году, представлены на рис. 2.

Рис. 1. График углов закрытия РЛК «Лира-А10», аэродром Бодайбо

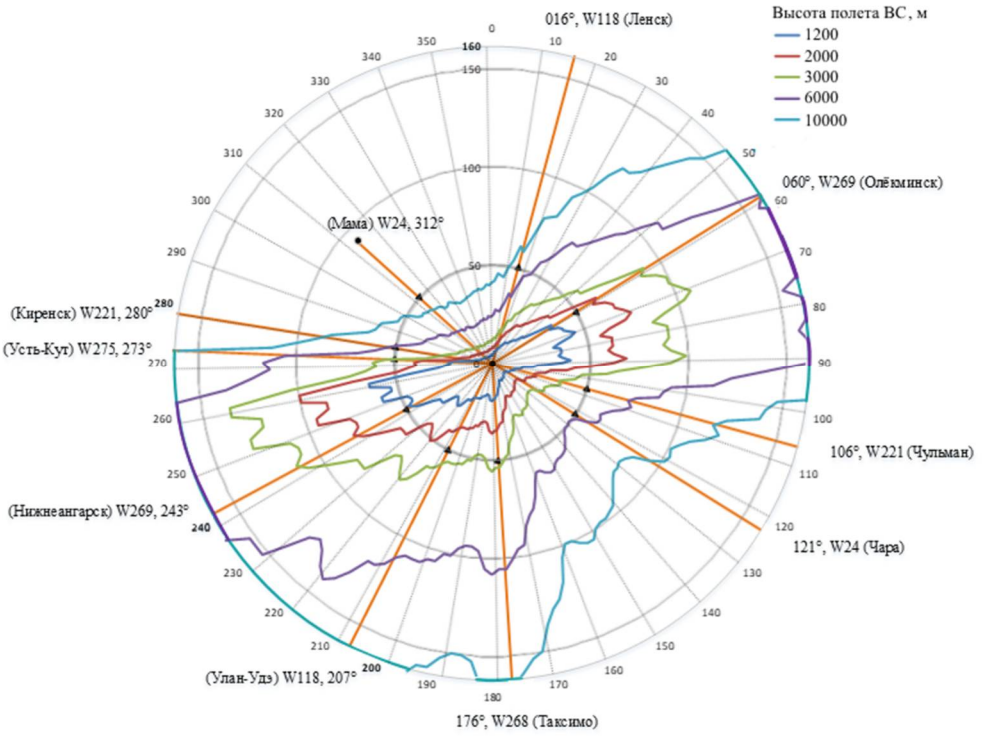


Рис. 2. Зоны действия первичного канала РЛК «Лира-А10», аэродром Бодайбо, для высот полета ВС 1200, 2000, 3000, 6000 и 10000 м

Рис.2 показывает, что рельеф местности способен ограничить дальность действия РЛК до 40 км для высоты полета 10000 м. Влияние рельефа заключается также в искажении формы ДНА и возникновении пассивных помех, вызванных отражением радиосигналов. Эти факторы, согласно данным службы движения, вызывают в зонах ожидания единичные пропадания координатных отметок.

Схожая ситуация наблюдается и для РЛК «Лира-А10», расположенного на аэродроме Улан-Удэ (Мухино). ЗД первичного канала, рассчитанные с учетом углов закрытия и скорректированные по результатам летной проверки, представлены на рис. 3.

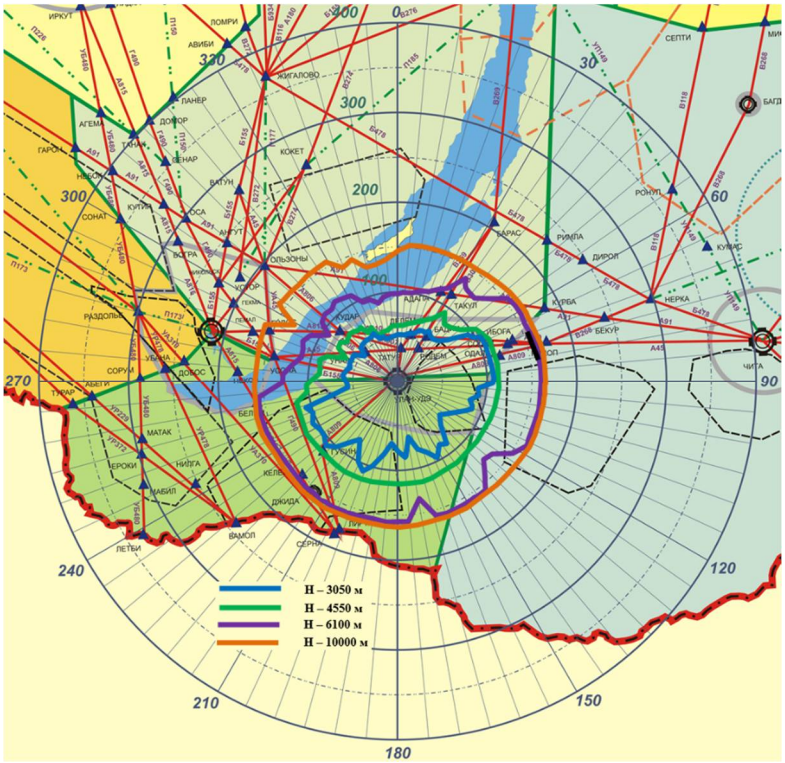


Рис. 3. Зоны действия первичного канала РЛК «Лира-А10», аэродром Улан-Удэ (Мухино), для высот полета ВС 3050, 4550, 6100 и 10000 м

По результатам летной проверки, проведенной в 2018 году, были выявлены пропадания координатных отметок в зонах ожидания. Описанные случаи могут быть вызваны влиянием рельефа, а также зданиями и другими объектами ПАТ. Поэтому целесообразно на подготовительном этапе произвести сверку данных о соответствии размещения средств РТОП нормативным требованиям. При подтверждении соблюдения требований, проводится анализ возможного влияния на работу средств РТОП объектов застройки ПАТ.

Примеры влияния объектов ПАТ на работу средств РТОП

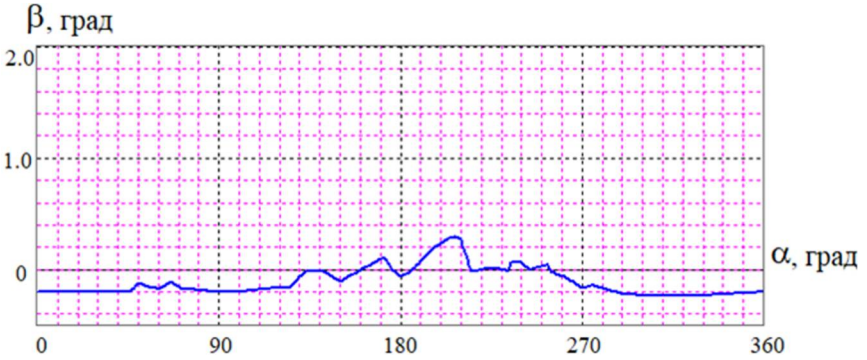
Рассмотрим методику оценки влияния объектов на ЗД таких средств РТОП, как радиолокаторы, системы ближней навигации VOR и DME, средства радиосвязи метровых волн, наземные станции автоматического зависимого наблюдения. Для проведения оценки необходимо выполнить следующие шаги:

1) построить графики углов закрытия для существующей ПАТ (рис. 4а) и с учетом планируемой застройки (рис. 4б);

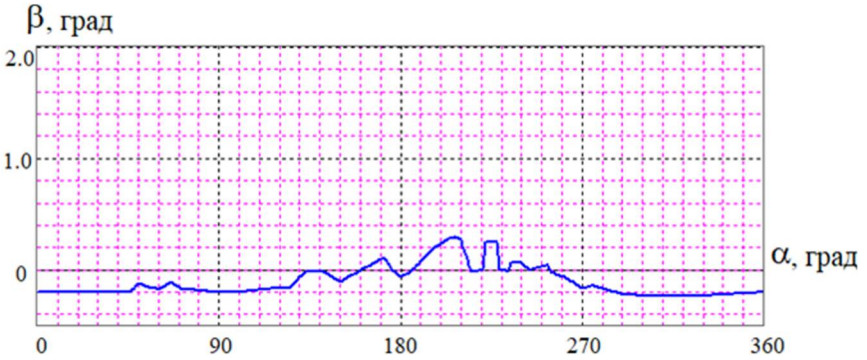
2) составить таблицу дальности действия в секторе планируемой застройки для существующей ПАТ и с учетом параметров будущего объекта строительства (табл.2);

3) отобразить зоны действия на радионавигационной карте для существующей ПАТ (рис. 5а) и с учетом планируемой застройки (рис. 5б).

Результаты расчета предоставляются специалистам службы эксплуатации радиотехнического оборудования и связи (ЭРТОС). После проведения анализа выдается заключение, в котором указывается, будет ли планируемая застройка влиять на работу средств РТОП, в частности, являются ли изменения ЗД допустимыми.



а



б

Рис. 4. Пример графиков углов закрытия: а – для существующей ПАТ; б – с учетом планируемой застройки

Таблица 2

Пример результатов расчета дальности действия в секторе планируемой застройки для высоты полета 1000 м

Вариант анализа	Сектор азимута, град	Угол закрытия, град	Дальность действия, км
Для существующей ПАТ	222–228	0,007	116,6
С учетом планируемой застройки	222–228	0,250	88,9

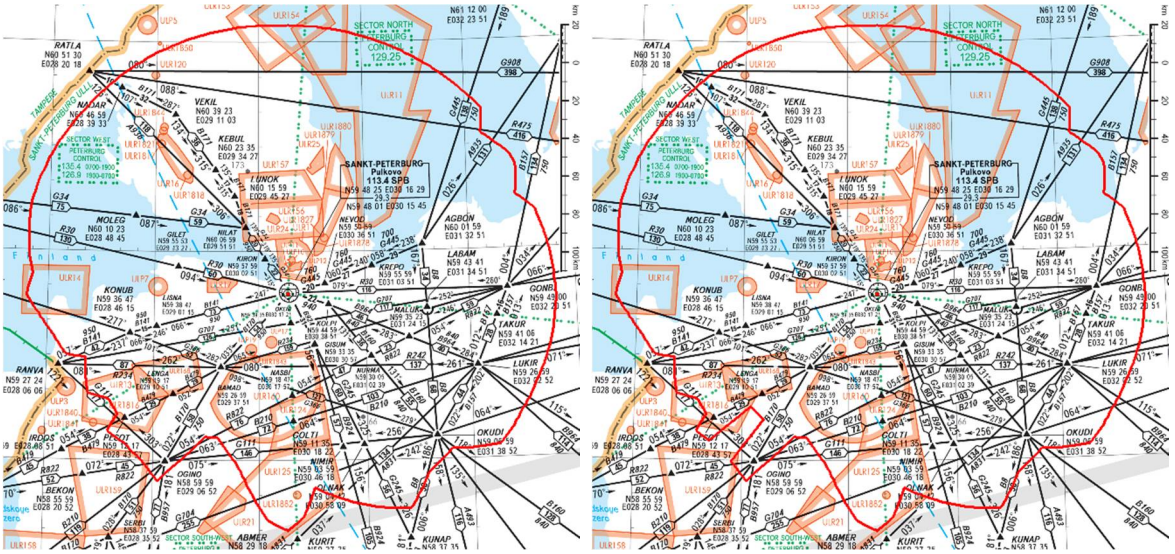


Рис. 5. Пример зоны действия при высоте полета 1000 м: а – для существующей ПАТ; б – с учетом планируемой застройки

Рассмотрим примеры влияния застройки на работу РМС. Важнейшей характеристикой радиомаяков является стабильность положения курсовой и глиссадной линий, которая зависит от наличия переторажателей, в секторе захода на посадку. Схематичное изображение искривленной линии курса и глиссады показано на рис. 6.

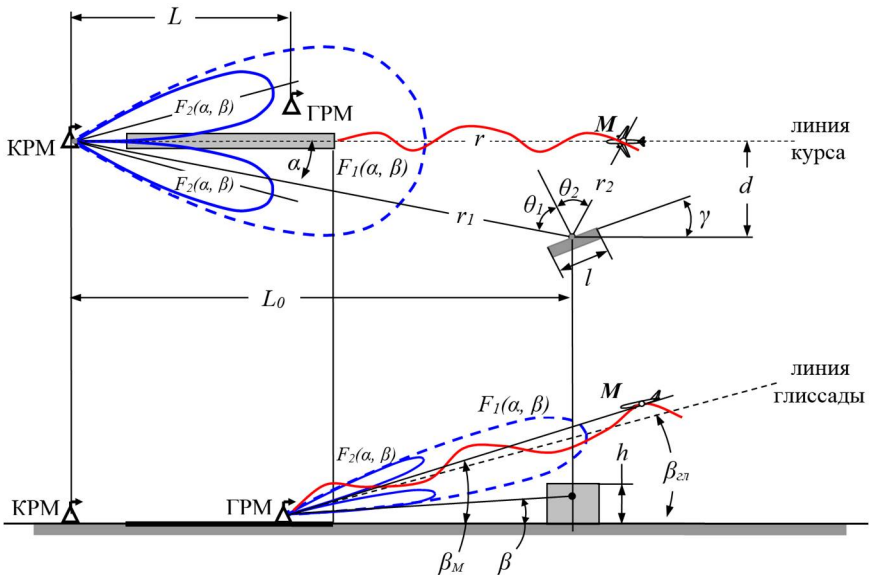


Рис. 6. Искривление линий курса и глиссады РМС, из-за переотражений сигналов от объекта

Напряженность поля прямого и отраженного сигналов в точке приема (точка *M* на рис. 6) определяется формой ДНА. У радиомаяков с опорным нулём это однолепестковая

диаграмма $F_1(\alpha, \beta)$ – для суммарного канала и двухлепестковая $F_2(\alpha, \beta)$ – для разностного канала, где α – угол в горизонтальной плоскости отсчитываемый от оси взлетно-посадочной полосы (ВПП); β – угол в вертикальной плоскости, отсчитываемый вверх от порога ВПП. Для упрощения оценки, отражатели аппроксимируются моделями стенки (имитирует отражения от зданий, мостов, заборов и др.), цилиндра (имитирует отражения от заводских труб, цистерн, емкостей и др.) и полусферического диффузного отражателя (имитирует отражение от возвышенностей рельефа). Как правило в зоне облучения КРМ или ГРМ находится несколько разнотипных переторажателей, влияние которых суммируется [7-10].

Величина разности глубин модуляции (difference in the depth of modulation, DDM), в точке приёма M (см. рис. 6) от i-го отражателя определяется как [11-14]:

$$DDM = m\frac{E_{m2}}{E_{m1}} \cdot \frac{F_2(\alpha,\beta_M) + F_2(\alpha,\beta)k\cos\psi_i}{F_1(\alpha,\beta_M) + F_1(\alpha,\beta)k\cos\psi_i}, \tag{4}$$

где m — коэффициент амплитудной модуляции (равный 0,2 для КРМ и 0,4 для ГРМ);

E_{m2} / E_{m1} — отношение напряженностей полей, создаваемых разностным и суммарным каналами;

α — угол в горизонтальной плоскости, отсчитываемый от оси ВПП, град;

β — угол места отражателя, наблюдаемого из точки размещения радиомаяка, град.;

β_M — угол места точки M, наблюдаемой из точки размещения радиомаяка, град.;

k — коэффициент отражения;

h — высота фазового центра антенны радиолокатора, м;

Ψ — фазовый сдвиг между прямым и отраженным от объекта сигналами в точке M, град.

Искривление линии курса имеет периодический характер. Частота искривлений F зависит от угла прихода отраженного сигнала и скорости полета ВС:

$$F = \frac{W}{\lambda} \cdot (1 - \cos\theta), \tag{5}$$

где F — частота искривлений линии курса, Гц;

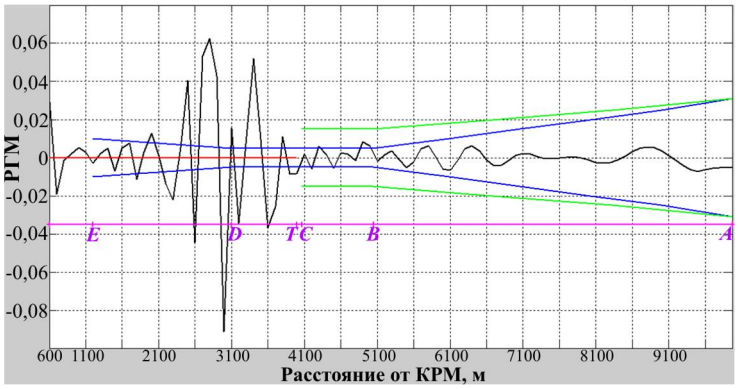
W — скорость полета ВС, м/с;

λ — длина радиоволны, м;

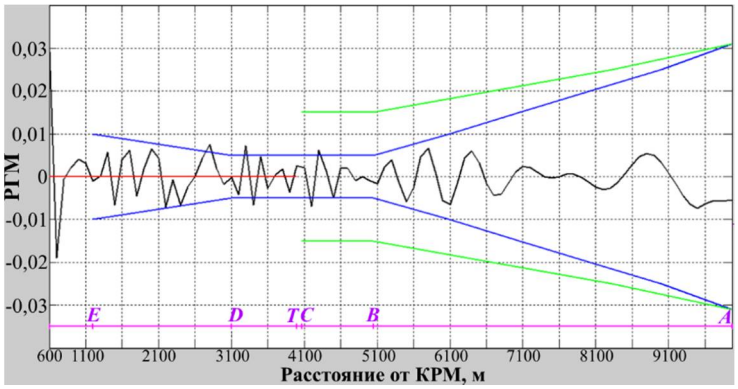
θ — угол прихода отраженного сигнала, град.

По мере приближения к ВПП частота искривлений возрастает, поскольку угол прихода отраженного сигнала увеличивается. При заходе на посадку наиболее опасными являются искривления, частота которых составляет от 0,01 до 10 Гц, что может привести к невозможности успешного завершения этапа посадки.

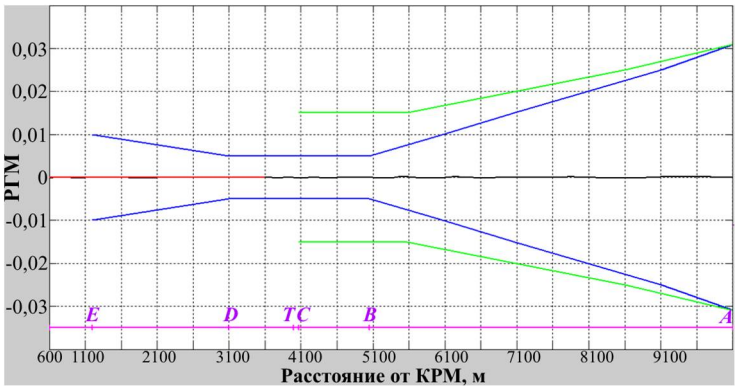
Оценим влияние объектов ПАТ для аэродрома Хомутово (Южно-Сахалинск). Рассмотрим ситуацию на момент 2016 года, когда переторажателями являлись лесополоса, проходящая в 183 м параллельно ВПП и строительный мусор, находящийся в полутора километрах от ВПП. Результаты расчетов искривления линии курса, с применением (4) представлены на рис. 7.



а



б



в

Рис. 7. Расчетные значения искривления линии курса: а – при наличии лесополосы и строительного мусора; б – при наличии лесополосы и ликвидации строительного мусора; в – при условии вырубки лесополосы и ликвидации строительного мусора

На рис. 7 черная кривая показывает искривления линии курса, зеленым цветом выделены допустимые искривления для категории I, синим цветом – для категорий II и III, красным цветом выделена ВПП и отдельно обозначены характерные точки: *E* – расположенная в 600 м от торца ВПП, *D* – расположенная в 900 м от входного порога ВПП, *T* – расположенная на торце ВПП, *C* – расположенная на удалении принятия решения для категории I, *B* – расположенная на удалении 1050 м от торца ВПП, *A* – расположенная на удалении 7400 м от торца ВПП.

Расчет показал, что строительный мусор создает большие по амплитуде высокочастотные искривления в районе ВПП (рис. 7а). Отражение радиоволн от лесополосы (рис. 7б) вызывает периодические колебания линии курса, при этом частота колебаний, рассчитанная с применением (5) составляет единицы Герц и является опасной. При ликвидации строительного мусора и вырубке лесополосы можно добиться минимального уровня искривлений и обеспечить требования категории II и III (рис. 7в).

Рассмотрим выявленное влияние ПАТ на работу РМС Внуковского центра обслуживания воздушного движения, обнаруженное в 2018 году. Из-за регулярных замечаний от экипажей ВС на работу ГРМ, была проведена специальная летная проверка, которая подтвердила наличие неравномерности РГМ на удалении 2,7…3,75 км от торца ВПП, при этом активных радиопомех выявлено не было. Был сделан вывод о наличии переотражателей, создающих пассивные помехи. При объезде ПАТ были обнаружены строительные краны и строительство жилого микрорайона недалеко от линии захода на посадку, при этом согласование строительства не производилось. После демонтажа строительных кранов, неравномерность параметра РГМ глиссадного радиомаяка сохранилась на удалении 2,7…3,2 км от торца ВПП, однако амплитуда искривлений уменьшилась; снизилось число замечаний от экипажей. Оценка безопасности полетов показала, что частота опасного события оценена как «Периодическое», категория частоты событий – 4, серьезность последствий события оценена как «Незначительное», категория серьезности – D, оценка риска – 4D (приемлемо).

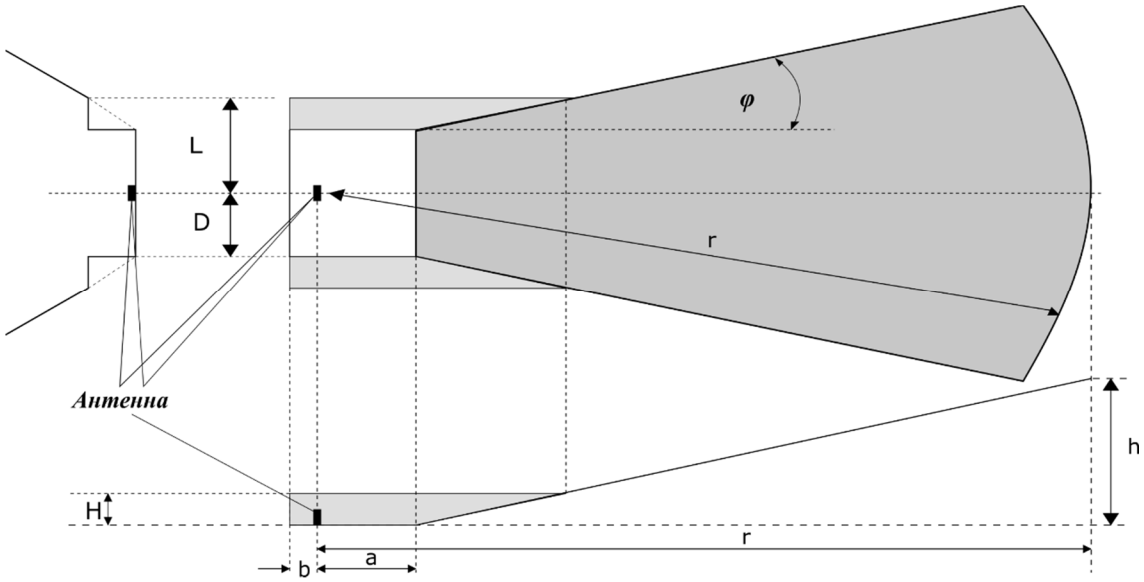
Анализ документов, содержащих требования к объектам ПАТ

Основные требования к объектам, размещенным в пределах ПАТ в части исключения влияния на работу средств РТОП изложены в Европейском инструктивном материале по управлению зонами ограничений застройки, разработанном Международной организацией гражданской авиации (ИКАО). Документ содержит систематизированную информацию по методикам оценки влияния застройки ПАТ на работу основных средств РТОП, а также описание двухэтапного алгоритма проведения оценки. Первый этап включает оценку нарушений зон ограничения застройки (building restricted areas, BRA). Для проведения оценки вводятся защитные объемы BRA для направленных и ненаправленных средств РТОП (см. рис. 8), а также разработаны таблицы с рекомендуемыми размерами зон (см. табл. 3 и табл. 4). Второй этап включает инженерный анализ, который может проводиться специализированными организациями. Рекомендации Европейского инструктивного материала широко применяются в научных исследованиях и практических работах [15, 16].

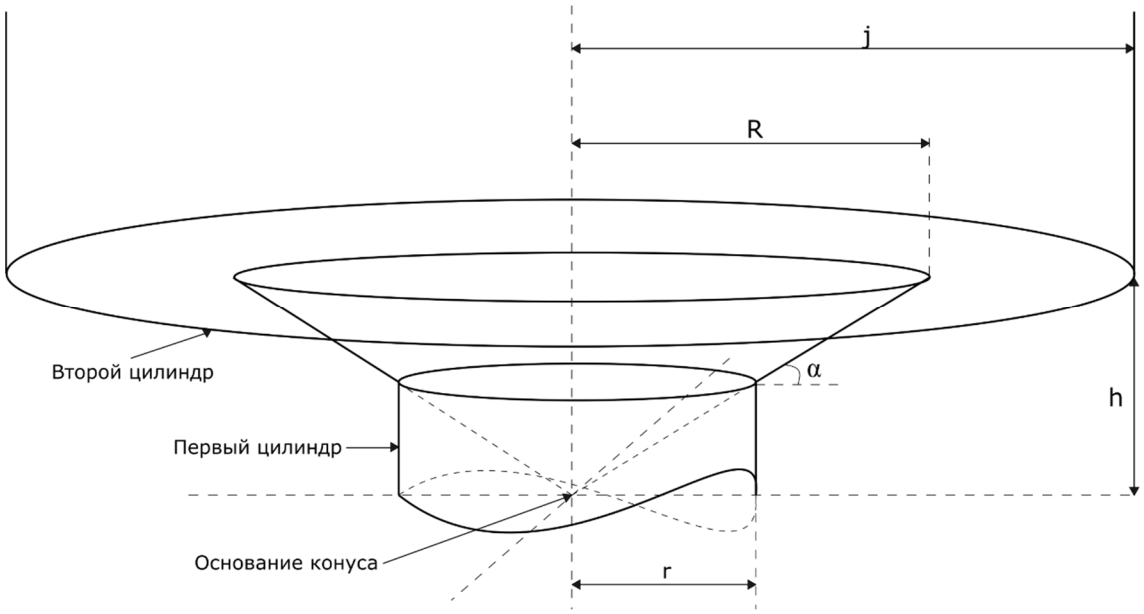
К недостаткам документа ИКАО можно отнести отсутствие в списке некоторых средств (например, средств декаметровой и спутниковой связи, радиорелейных станций). Также, согласно документу, застройщик в случае выявления нарушения зон ограничения застройки имеет право провести инженерный анализ с привлечением сторонних организаций, которые могут применять закрытое программное обеспечение и методики оценки собственной разработки.

На основе Европейского инструктивного материала разработаны национальные правила и стандарты, например, австралийские Руководящие указания по планированию для стратегических аэропортов и авиационных объектов (State Planning Policy - state interest guideline. Strategic airports and aviation facilities), а также Национальная система защиты аэропортов (National Airports Safeguarding Framework Principles and Guidelines), которые несколько рас-

ширяют методики оценки и список средств РТОП базового документа, а также содержат описание действий ответственных лиц. Однако в этих документах отсутствует описание методик инженерного анализа и нет обоснования некоторых требований к размеру зон BRA.



а



б

Рис. 8. Зона ограничения застройки (BRA) для: а – ненаправленных средств РТОП; б – направленных средств РТОП

Таблица 3

Размеры зон BRA для направленных средств РТОП

Средство РТОП	Параметры							
	a, м	b, м	h, м	r, м	D, м	H, м	L, м	φ, град
КРМ	До порога	500	70	a+6000	500	20	1500	20
ГРМ	800	50	70	6000	250	5	325	10
Посадочный радиомаяк DME	До порога ВПП	20	70	a+6000	600	20	1500	40

Таблица 4

Размеры зон BRA для ненаправленных средств РТОП

Средство РТОП	Радиус цилиндра r, м	Угол α, град	Радиус конуса R, м	Радиус цилиндра j, м	Высота цилиндра h, м	Основание конуса или осей цилиндров
Первичный радиолокатор	500	0,25	15000	–	–	На уровне земли
Вторичный радиолокатор	500	0,25	15000	–	–	На уровне земли
Радиомаяк дальномерный	300	1,0	3000	–	–	На уровне земли
Радиомаяк азимутальный	600	1,0	3000	15000	52	Центр антенной системы
Доплеровский радиомаяк азимутальный	600	1,0	3000	10000	52	Центр антенной системы
Средства связи ОВЧ-диапазона	300	1,0	2000	–	–	На уровне земли

Руководящие указания Ирландского авиационного управления по планированию землепользования и застройки за пределами аэродрома (Irish aviation authority policy. Land use planning and offshore development) предполагают учет влияний зданий, сооружений и иных постоянных, временных или мобильных объектов. В документе предусматривается двухэтапный алгоритм оценки, включающий инженерный анализ, однако текст документа не содержит рекомендуемых методик.

Разработанный Евроконтролем Инструктивный материал по оценке потенциального влияния ветрогенераторов на работу систем наблюдения (Eurocontrol guidelines for assessing the potential impact of wind turbines on surveillance sensors) представляет собой справочное руководство для анализа воздействия ветряных турбин на системы авиационного наблюдения. Документ содержит методологию оценки и типовые решения по снижению последствий, описанные методики могут применяться при проведении инженерного анализа.

В России приказом Госкорпорации по организации воздушного движения (ОрВД) №275-п от 02.06.2022 принята уточненная Методика оценки влияния застройки ПАТ на работу средств РТОП, которая содержит некоторые положения из Европейского инструктивного материала (в части ограничений для ненаправленных средств РТОП) и предполагает четыре сценария оценки: для объектов ПАТ, для объектов авиационной инфраструктуры, для внедрения или переноса позиций средств РТОП, а также для планирования новых аэро-

дромов. Для каждого сценария описан алгоритм оценки и необходимые документы для согласования строительства. При этом в документе отсутствуют некоторые современные средства: станция мониторинга радиолокаторов, микроволновая система посадки, радиорелейная станция, станция беспроводного широкополосного доступа; требования к зонам ограничения застройки отличаются от международных (в частности, отличаются максимально допустимые углы места планируемого объекта застройки при наблюдении из точки размещения фазового центра антенны, представленные в табл. 3 и табл. 4), что сказывается на гармонизации отечественного и международного законодательства.

Главным недостатком можно считать отсутствие средств автоматизации оценки влияния объектов строительства ПАТ на работу средств РТОП. Проблема автоматизации данной операции в некоторых случаях приобретает статус государственной задачи. Так, государственная корпорация Австралии по управлению воздушным движением ставит целью создание веб-портала для оценки воздействия застройки. С помощью него застройщик в дистанционной форме сможет определить, нарушает ли планируемая застройка зоны BRA, а также получить заключение стандартной формы. Однако в большинстве случаев, программные продукты разрабатывают частные организации.

Анализ программных продуктов по оценке влияния объектов ПАТ на работу средств РТОП

Пакет прикладных программ FDAM (Flight Procedures Design & Airspace Management) итальянской компании IDSAirNav имеет множество функций, среди которых есть функция определения защитных зон BRA для различных средств РТОП [17]. Турецкая компания Haritaevi предлагает продукт Obstacle Limitation Surface Analysis, который позволяет помимо решения задач по оценке препятствий, выполнить расчет и отображение на карте зон BRA для средств РТОП [18, 19]. Немецкая компания Con-Terra предлагает продукт 3D System Building Restricted Areas [20, 21], позволяющий на основе двухэтапного алгоритма производить оценку и отображение зон BRA на карте для проведения предварительного анализа застройщиком (см. рис. 9).

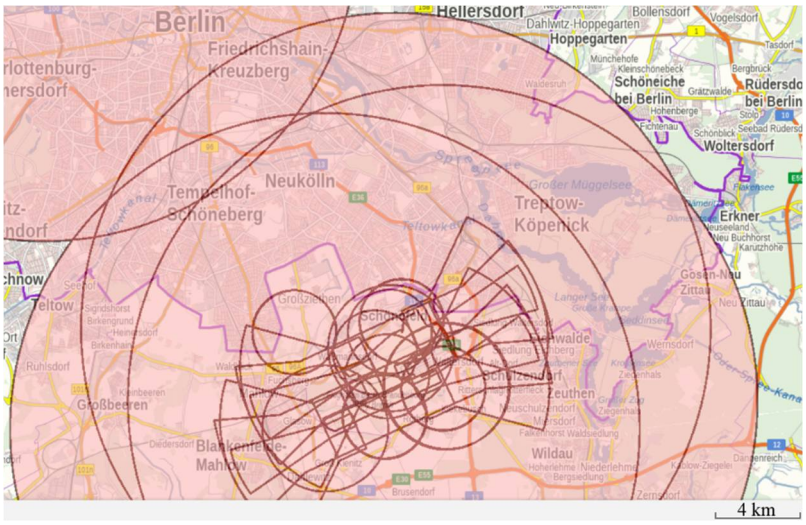


Рис. 9. Пример отображения зон BRA для средств РТОП аэродрома Тигель (Берлин)

В России для проведения инженерного анализа могут привлекаться специализированные организации. Так, в 2020 году специалистами АО «НИИИТ-РК» была проведена оценка влияния строительства спортивного комплекса на работу средств РТОП аэродрома Пулково (Санкт-Петербург). При проведении оценки специалисты пользовались закрытыми программными продуктами собственной разработки.

Применение разнородных программных продуктов с закрытыми методами анализа может привести к искажению результатов оценки или их неправильной интерпретации. Необходима унификации продуктов по оценке влияния застройки ПАТ на работу средств РТОП и разработки общих и прозрачных правил автоматизации. В настоящее время в России вопросами разработки и внедрения систем автоматизации занимается компания ООО «СТОК-АЭРО» [22], специалисты которой являются разработчиками Методики оценки влияния застройки ПАТ на работу средств РТОП.

Рекомендации по автоматизации оценки влияния объектов ПАТ на работу средств РТОП

Учитывая зарубежный и отечественный опыт, можно сделать вывод о правильности подхода, принятого в государственной корпорации Австралии по созданию веб-портала. Целесообразно и в России реализовать уточненную Методику, принятую Госкорпорацией по ОрВД в виде автоматизированной системы, интегрирующую в себе нормативную базу и расчетные модули параметров средств РТОП с учетом влияния объектов ПАТ. Для создания единой базы данных зон ограничения застройки необходимо внедрить веб-портал, в который можно входить с различных устройств, и позволяющий организовать работу (и соответствующий уровень доступа) для специалистов службы ЭРТОС и для застройщиков.

В автоматизированной системе специалист службы ЭРТОС вводит данные о расположении и параметрах средств РТОП, при этом проверяется соблюдение требований по размещению согласно действующим нормативным документам (ФАП-297, АП-170, ВСН 7-86, базисам). Зоны ограничения застройки рассчитываются автоматически на основе актуальных требований и рекомендаций. Результаты расчетов предоставляются в табличном и графическом виде, например, как в 3D System Building Restricted Areas (рис. 9).

Целесообразно в виде опции внедрить возможность проведения оценки с учетом рекомендаций ИКАО для направленных (рис. 8а, табл.3) и ненаправленных средств РТОП (рис. 8б, табл.4). Также требуется автоматизировать оценку влияния планируемой застройки на форму и размер ЗД средств РТОП, выполненную с применением (1-3) и оценку искривлений линии курса и глиссады РМС с применением (4).

Застройщик вводит в автоматизированную систему параметры планируемой застройки и получает сведения о ее влиянии на работу средств РТОП согласно своему уровню доступа. В случае нарушения зон ограничения застройки, выдается заключение с указанием величины превышения планируемого объекта. Доступ к информации о проведенной проверке также получают специалисты службы ЭРТОС.

В случае, если планируемый объект не нарушает зон ограничения застройки, застройщик получает форму решения о согласовании, которая после утверждения руководителем территориального органа Росавиации становится официальным документом, на основе которого возможно проводить строительные работы.

Заключение

В последнее время застройка ПАТ стала серьезной проблемой для аэродромов в крупных и средних городах России. Несмотря на развитие нормативной базы, регламентирующей проведение оценки влияния объектов ПАТ на работу средств РТОП, сам анализ в большинстве случаев выполняется вручную, а для проведения детального инженерного анализа могут привлекаться организации, применяющие закрытые программные продукты.

В связи с ростом числа заявок на строительство объектов в пределах ПАТ, важнейшей задачей стала автоматизация оценки их влияния на работу средств РТОП. На основе зарубежного и отечественного опыта предлагается разработать и внедрить автоматизированную систему в виде веб-портала с возможностью доступа с различных устройств для застройщиков и специалистов службы ЭРТОС (и специалистов Госкорпорации по ОрВД в целом). Данная задача должна быть поставлена на государственном уровне, для обеспечения унификации методик и правил проведения оценки во всех регионах страны. Применение автоматизированной системы позволит применять общие и понятные для всех пользователей методики и правила оценки, свяжет единой базой данных застройщиков и специалистов Госкорпорации по ОрВД, уменьшит вероятность возможных ошибок при оформлении документов и значительно сократит время согласования строительства, или получения ответа о несогласовании с указанием причин и рекомендаций по их устранению. Целесообразно к разработке автоматизированной системы привлечь специалистов по эксплуатации средств РТОП, разработчиков оборудования, а также разработчиков существующей Методики оценки влияния застройки ПАТ на работу средств РТОП.

Литература

1. Integrated method for accurate identification and dynamic monitoring of buildings in aerodrome obstacle free space / Tong K., Song Y., Kong X., Zhang K., Chen Z. // ICAS 2020, 2020. Pp. 1-14.

2. Environmental assessment of Obstacle Limitation Surfaces (OLS) in airports using geographic information technologies / Contreras-Alonso M.R., Ezquerra-Canalejo A., Pérez-Martín E., Herrero-Tejedor T.R., López-Cuervo Medina S. // PLOS ONE. N.15(2): e0229378, 2020. Pp.1-13. doi:10.1371/journal.pone.0229378.

3. *Mitsevich L., Zhukovskaya N.* Geospatial modeling, analysis and mapping for aerodrome land development // E3S Web of Conferences. Vol. 310. EDP Sciences, 2021. Pp. 1-10. doi:10.1051/e3sconf/202131004003.

4. Методика оценки зон действия радиотехнических систем гражданской авиации при выборе позиций их размещения / С. А. Беляев, А. В. Экало, Е. А. Рубцов, С. А. Кудряков // Известия СПбГЭТУ ЛЭТИ. – 2018. – № 7. – С. 7-13.

5. Методика оценки зон действия радиотехнических средств связи ОВЧ диапазона с учетом требований по безопасности полетов / Е. А. Рубцов, Е. В. Соболев, С. В. Григорьев, С. А. Кудряков // Актуальные проблемы защиты и безопасности: Труды XXI Всероссийской научно-практической конференции. Санкт-Петербург: НПО Специальных материалов, 2018. С. 152-157.

6. *Шереверов С.И., Мешалов Р.О., Сегедин Р.А.* Методы создания сплошного радиосвязного поля ОВЧ диапазона // Аспирант, 2021. № 3(60). С. 280-284.

7. *Войтович Н.И., Юнгайтис Е.М., Ершов А.В.* Дифракция электромагнитных волн на полуплоскости применительно к системе посадки воздушных судов на аэродромы с высоким уровнем снежного покрова и сложным рельефом местности в зоне захода на посадку //

Вестник УрФО. Безопасность в информационной сфере, 2022. № 1(43). С. 11-21. doi:10.14529/secur220102.

8. *Юнгайтис Е.М., Войтович Н.И.* Влияние рельефа местности на поведение глиссады // СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии, 2021. № 3. С. 478-479.

9. *Mori R., Fujita M.* Accurate Estimation of Ground Obstacle Collision Probability During ILS Approach // IEEE Access, 2020. V. 8. Pp. 66662-66671. doi:10.1109/ACCESS.2020.2985688.

10. ILS Glide Slope Antenna Array for Airfields with a High Level of Snow Cover / M. E. Iungaitis, A. V. Ershov, V. B. Zhdanov, Voytovich N.I. // 13th European Conference on Antennas and Propagation, EuCAP 2019. Krakow, 2019. Pp. 8740267.

11. Поведение информационного параметра глиссадного радиомаяка системы посадки самолётов / Е.М. Юнгайтис, Б.В. Жданов, А.В. Ершов, Н.И. Войтович // СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии, 2020. № 1-2. С. 74-75.

12. *Vorontsov K., Lacane M.A.* Case Study for Riga International Airport Modernization: ILS Localizer Signal Accuracy Depending on Ground Obstacles Located Nearby // International Conference on Reliability and Statistics in Transportation and Communication. Springer, Cham, 2020. Pp. 235-245. doi:10.1007/978-3-030-68476-1.

13. Искривления радиотехнической глиссады как голографический портрет рельефа местности / Е.М. Юнгайтис, А.В. Ершов, Б.В. Жданов, Н.И. Войтович // СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии (КрыМиКо'2019). Севастополь, 2019. С. 43-48.

14. *Zotov A.V., Zhdanov V.B., Voytovich N.I.* Theory and experiment of ILS localizer course line electronic adjustment // 2019 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2019. Sochi, 2019. Pp. 8743091. doi:10.1109/ICIEAM.2019.8743091.

15. *Sandmann S., Garbe H.* Disturbing impact of multiple wind turbines on the indicated DVOR bearing // Adv. Radio Sci. N.17, 2019. Pp. 11–17. doi:10.5194/ars-17-11-2019.

16. *Fries M., Demule H., Eichhorn R.* Combining Full Wave Electromagnetic Simulations with UAV Multicopter Measurements to improve VOR signal quality monitoring and interference prevention // 21st IFIS Papers, 2022. Pp. 1-12.

17. The professional solution for flight procedure design // IDS AIRNAV. URL: https://www.idsairnav.com/main-areas/aim/flight-procedure-design/fpdam (дата обращения 10.09.2022).

18. What is Obstacleanalyze // Obstacleanalyze. URL: https://www.obstacleanalyze.com/ (дата обращения 10.09.2022).

19. Obstacle limitation surface analysis // Haritaevi. URL: https://www.haritaevi.com/en/software/ols-analysis (дата обращения 10.09.2022).

20. 3D system building restricted areas // Con-terra. URL:https://www.con-terra.com/casestudies/3d-system-building-restricted-areas/ (дата обращения 10.09.2022).

21. Interaktive Karte // Bundesaufsichtsamt fur Flugsicherung. URL: https://www.baf.bund.de/DE/Service/Anlagenschutz/InteraktiveKarte/interaktivekarte_node.html;jsessionid=F3E3C278825443D167F42012AE9470D2.live11294 (дата обращения 10.09.2022).

22. Оценка влияния размещения высотных объектов на безопасность полётов и согласование их размещения с уполномоченными органами в области гражданской авиации // STOK-AERO. URL:https://stok-aero.ru/impact-assessment/ (дата обращения 10.09.2022).

AUTOMATION OF THE IMPACT ASSESSMENT OF CONSTRUCTION OBJECTS ON THE OPERATION OF AIDS OF RADIO TECHNICAL SUPPORT FOR FLIGHTS

EVGENY A. RUBTSOV
PhD, specialist of the Scientific and educational air transport center, Russian university of transport
Moscow, Russia, rubtsov.spb.guga@rambler.ru

ABSTRACT

Introduction: Currently, active development carried out within the borders of the aerodrome territories. The assessment of the impact of construction objects on the aids of radio technical support for flights is in most cases performed manually. The task of analyzing the existing requirements and recommendations for assessing the impact of objects near the aerodrome area, software products used abroad and in Russia and developing recommendations for automating the assessment of the impact becomes relevant. **Problem statement:** analysis of existing requirements and methods for assessing the impact of construction objects on the aids of radio technical support for flights and developing recommendations for automating the assessment process. **Results:** analyzed methods for calculating the coverage areas of non-directional aids of radio technical support for flights and calculating the curvature of the course line and glide path for radio beacon landing systems. It is expedient to use these methods for engineering analysis of the impact of construction objects. Identified discrepancies between the Methodology approved by the State Air Traffic Management Corporation and the European guidance material on the management of development restricted areas, which complicates harmonization with international rules. It is proposed to develop and implement an automated assessment system implemented in the form of a web portal with access to the State Corporation specialists and developers. The system must check compliance with the requirements for the placement aids of radio technical support for flights, calculate building restricted areas and issue recommendations to eliminate the impact (if any) or generate a ready-made application template for construction approval (if there is no impact). **Practical significance:** the automated system will make it possible to apply assessment methods and rules that are common and understandable to all users, link developers and specialists of the State Corporation with a single database, reduce the likelihood of possible errors and inaccuracies in the preparation of documents and significantly reduce the time for approval of construction, or receiving a response on disagreement indicating reasons and recommendations for their elimination. **Discussion:** in further studies, it is planned to highlight the issues of possible architecture and software implementation of the proposed automated system.

Keywords: flight safety; aerodrome territory; aids of radio technical support for flights; building restriction areas; automation.

REFERENCES

1. Integrated method for accurate identification and dynamic monitoring of buildings in aerodrome obstacle free space / Tong K., Song Y., Kong X., Zhang K., Chen Z. // ICAS 2020, 2020. Pp. 1-14.
2. Environmental assessment of Obstacle Limitation Surfaces (OLS) in airports using geographic information technologies / Contreras-Alonso M.R., Ezquerra-Canalejo A., Pérez-Martín E., Herrero-Tejedor T.R., López-Cuervo Medina S. // PLOS ONE. N.15(2): e0229378, 2020. Pp.1-13. doi:10.1371/journal.pone.0229378.
3. *Mitsevich L., Zhukovskaya N.* Geospatial modeling, analysis and mapping for aerodrome land development // E3S Web of Conferences. Vol. 310. EDP Sciences, 2021. Pp. 1-10. doi:10.1051/e3sconf/202131004003.
4. Metodika ocenki zon dejstvija radiotehnicheskih sistem grazhdanskoj aviacii pri vybore pozicij ih razmeshhenija [Methodology for assessing the coverage areas of civil aviation radio systems when choosing positions for their placement] / S. A. Belyaev, A. V. Ekalo, E. A. Rubtsov, S. A. Kudryakov // Izvestiya SPbGETU LETI, 2018. N.7. Pp. 7-13. (In Rus).
5. Metodika ocenki zon dejstvija radiotehnicheskih sredstv svjazi OVCh diapazona s uchetom trebovanij po bezopasnosti poletov [Methodology for assessing the coverage areas of VHF radio communication means taking into account flight safety requirements] / E.A. Rubtsov, E.V. Sobolev, S.V. Grigoriev, S.A. Kudryakov // Actual problems of protection and safety: Proceedings of the XXI All-Russian scientific and practical conference. St. Petersburg: NPO Special Materials, 2018. Pp. 152-157. (In Rus).
6. *Shereverov S.I., Meshalov R.O., Segedin R.A.* Metody sozdanija sploshnogo radiosvjaznogo polja OVCh diapazona [Methods for creating a continuous VHF radio communication field] // Postgraduate student, 2021. No. 3(60). Pp. 280-284. (In Rus).
7. *Voitovich N.I., Yungaytis E.M., Ershov A.V.* Difrakcija jelektromagnitnyh voln na poluploskosti primenitel'no k sisteme posadki vozdushnyh sudov na ajerodromy s vysokim urovnem snezhnogo pokrova i slozhnym rel'efom mestnosti v zone zahoda na posadku [Diffraction of electromagnetic waves on a half-plane in relation to the system of landing aircraft at airfields with a high level of snow cover and difficult terrain in the landing zone] // Bulletin of the Ural Federal District. Security in the information sphere, 2022. No. 1(43). Pp. 11-21. doi:10.14529/secur220102. (In Rus).
8. *Yungaytis E.M., Voytovich N.I.* Vlijanie rel'efa mestnosti na povedenie glissady [Influence of the terrain on the behavior of the glide path] // SHF-technics and telecommunication technologies, 2021. No. 3. Pp. 478-479. (In Rus).
9. *Mori R., Fujita M.* Accurate Estimation of Ground Obstacle Collision Probability During ILS Approach // IEEE Access, 2020. V. 8. Pp. 66662-66671. doi:10.1109/ACCESS.2020.2985688.
10. ILS Glide Slope Antenna Array for Airfields with a High Level of Snow Cover / M. E. Iungaitis, A. V. Ershov, V. B. Zhdanov, Voytovich N.I. // 13th European Conference on Antennas and Propagation, EuCAP 2019. Krakow, 2019. Pp. 8740267.
11. Povedenie informacionnogo parametra glissadnogo radiomajaka sistemy posadki samoljotov [Behavior of the information parameter of the glide path radio beacon of the aircraft landing system] / E.M. Yungaytis, B.V. Zhdanov, A.V. Ershov, N.I. Voitovich // Microwave engineering and telecommunication technologies, 2020. No. 1-2. Pp. 74-75. (In Rus).
12. *Vorontsov K., Lacane M.A.* Case Study for Riga International Airport Modernization: ILS Localizer Signal Accuracy Depending on Ground Obstacles Located Nearby // International Conference on Reliability and Statistics in Transportation and Communication. Springer, Cham, 2020. Pp. 235-245. doi:10.1007/978-3-030-68476-1.
13. Iskrivlenija radiotehnicheskoj glissady kak golograficheskij portret rel'efa mestnosti [Curvature of the radio technical glide path as a holographic portrait of the terrain] / E.M. Yungaytis, A.V. Ershov, B.V. Zhdanov, N.I. Voytovich // Microwave engineering and telecommunication technologies (KryMiKo'2019). Sevastopol, 2019. Pp. 43-48. (In Rus).
14. *Zotov A.V., Zhdanov V.B., Voytovich N.I.* Theory and experiment of ILS localizer course line electronic adjustment // 2019 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2019. Sochi, 2019. Pp. 8743091. doi:10.1109/ICIEAM.2019.8743091.
15. *Sandmann S., Garbe H.* Disturbing impact of multiple wind turbines on the indicated DVOR bearing // Adv. Radio Sci. N.17, 2019. Pp. 11–17. doi:10.5194/ars-17-11-2019.

16. *Fries M., Demule H., Eichhorn R.* Combining Full Wave Electromagnetic Simulations with UAV Multicopter Measurements to improve VOR signal quality monitoring and interference prevention // 21st IFIS Papers, 2022. Pp. 1-12.
17. The professional solution for flight procedure design // IDS AIRNAV. URL: https://www.idsairnav.com/main-areas/aim/flight-procedure-design/fpdam (date of access 10.09.2022).
18. What is Obstacleanalyze // Obstacleanalyze. URL: https://www.obstacleanalyze.com/ (date of access 10.09.2022).
19. Obstacle limitation surface analysis // Haritaevi. URL: https://www.haritaevi.com/en/software/ols-analysis (date of access 10.09.2022).
20. 3D system building restricted areas // Con-terra. URL:https://www.con-terra.com/casestudies/3d-system-building-restricted-areas/ (date of access 10.09.2022).
21. Interaktive Karte // Bundesaufsichtsamt fur Flugsicherung. URL: https://www.baf.bund.de/DE/Service/Anlagenschutz/InteraktiveKarte/interaktivekarte_node.html;jsessionid=F3E3C278825443D167F42012AE9470D2.live11294 (date of access 10.09.2022).
22. Ocenka vlijanija razmeshhenija vysotnyh obektov na bezopasnost' poljotov i soglasovanie ih razmeshhenija s upolnomochennymi organami v oblasti grazhdanskoj aviacii [Assessment of the impact of the placement of high-rise facilities on flight safety and coordination of their placement with the authorized bodies in the field of civil aviation] // STOK-AERO. URL:https://stok-aero.ru/impact-assessment/ (date of access 10.09.2022). (In Rus).