

Заключение

1. Отработана методика прочностного расчета рамы кузова вагона метрополитена 81 серии. Примененный пакет программного проектирования позволил создать объёмную конечно-элементную модель рамы кузова и по методу конечных элементов в программном продукте провести многовариантный анализ расчетов с учетом всех нормированных нагрузок.

2. Анализ полученного напряженного состояния несущих элементов рамы кузова позволил выбрать рациональную конструкцию консольной части рамы и установить целесообразность применения усиливающих раскосов.

Библиографический список

1. **Электропоезда метрополитена** / Э.М. Добровольская. – Москва : ИРПО ; Академия, 2003. – 320 с.

2. **Нормы** для расчета и проектирования механической части новых и модернизированных вагонов метрополитенов СССР колеи 1520 мм. – Москва : ВНИИВ-ВНИИЖТ-ММЗ, 1987.

3. **Применение** метода конечных элементов / Л. Сегерлинд. – Москва : Мир, 1979. – 392 с.

4. **Расчет** на прочность рамы кузова вагона метрополитена модели 81-717/714. – Москва : ОАО «НИИ вагоностроения», 2014.

УДК 629.052.3

Е. В. Соболев, Ал-Рубой Мудар, Е. А. Рубцов

Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации

ОЦЕНКА СТЕПЕНИ ПОКРЫТИЯ ВОЗДУШНЫХ ТРАСС РЕСПУБЛИКИ ИРАК РАБОЧИМИ ОБЛАСТЯМИ РАДИОМАЯКОВ VOR/DME

Покрытие воздушных трасс зонами действия радиотехнических средств навигации является необходимым условием обеспечения безопасности полетов. Достаточным же условием является покрытие воздушных трасс рабочими областями, что позволяет обеспечить требуемую точность и безопасность полетов.

В статье выполнен расчет степени покрытия выбранных трасс рабочими областями маяков VOR/DME, который выявил протяженные участки трасс, где не соблюдаются требования к точности определения координат ВС. Рекомендовано внедрить дополнительные навигационные маяки. Расчет, выполненный с учетом рекомендаций, показал, что в этом случае протяженность непокрытых участков уменьшится от 2,2 до 2,7 раз в зависимости от высоты полета.

рабочая область, VOR/DME, RNP, зональная навигация.

Введение

Рост объемов воздушных перевозок в Республике Ирак обуславливает необходимость повышения пропускной способности воздушного пространства и его оптимального использования с учетом возрастающих требований к безопасности полетов.

В работе [1] были определены зоны действия существующих маяков VOR/DME, расположенных на территории Республики Ирак и вдоль границы страны, а также даны рекомендации по внедрению дополнительных маяков. Рекомендации позволяют добиться полного покрытия воздушных трасс зонами действия РТС-навигации. Данное обстоятель-

ство является необходимым условием обеспечения безопасности полетов. Достаточным же условием является выполнение требований к точности определения координат воздушных судов (ВС).

1 Требования к безопасности полетов

Основные требования к безопасности полетов устанавливают исходя из действующих норм эшелонирования, допустимого уровня опасных сближений летательных аппаратов и риска столкновений воздушных судов друг с другом вследствие нарушения норм эшелонирования [2].

Однако в навигационной практике чаще применяются критерии точности самолетовождения. Общая погрешность самолетовождения состоит из следующих погрешностей: задания траектории, навигационных измерений, отображения информации, инструментальной погрешности вычислений, а также погрешности пилотирования. Перечисленные погрешности являются независимыми [2].

Основными составляющими в суммарной погрешности самолетовождения являются погрешности навигационных измерений и погрешности пилотирования:

$$\sigma_{\text{доп}} = \sqrt{\sigma_{\text{нс}}^2 + \sigma_{\text{пил}}^2}. \quad (1)$$

Отсюда допустимая средняя квадратическая погрешность (СКП) навигационных измерений:

$$\sigma_{\text{нс_треб}} = \sqrt{\sigma_{\text{доп}}^2 - \sigma_{\text{пил}}^2}. \quad (2)$$

СКП пилотирования при полете по маршруту не превышает 0,463 км [3].

2 Расчет рабочей области маяка VOR/DME

Чтобы оценить точность самолетовождения при полетах по концепции зональной

навигации, необходимо рассчитать рабочие области (РО) навигационных маяков. РО называют объем пространства, в пределах которого данная радиотехническая система обеспечивает требуемые точность и безопасность полетов. В свою очередь, точность РТС есть способность полной системы удерживать ВС в пределах требуемого интервала с вероятностью не хуже заданной [2].

В качестве показателя точности навигации в Руководстве ИКАО выбрана круговая погрешность заданного радиуса. В пределах РО вероятность нахождения ВС в круговой области должна составлять не менее 0,95. Так как в качестве показателя точности используется величина круговой погрешности, то это означает, что в пределах указанных величин должны находиться погрешности навигации как в боковом, так и в продольном направлении.

Радиус круговой погрешности зависит от типа воздушного пространства. Для континентального воздушного пространства, в регионах, оснащенных радиомаяками VOR/DME при сравнительно небольшом их разnose, рекомендуется использовать RNP4. При этом круговая погрешность навигации не должна превышать 4 мм (7,4 км) для вероятности 95 %. При учете погрешности пилотирования по формуле (2) получим, что предельно допустимая погрешность систем навигации для RNP4 составляет 7,38 км.

Для расчета текущей погрешности определения координат ВС в ИКАО разработана методика расчета, в основе которой лежит расчет радиуса аппроксимирующего круга [4]:

$$R = 2 \cdot d_{rms}, \quad (3)$$

где $d_{rms} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}$ – суммарная СКП; σ_1, σ_2 – погрешности каналов измерения координаты ВС.

Затем методом имитационного моделирования находят удаление, на котором радиус аппроксимирующего круга равен радиусу круга удерживания соответствующего типа воздушного пространства. Найденное удаление будет радиусом РО.

Навигационные параметры измеряются различными системами: азимут – угломерным оборудованием VOR, удаление – дальномерным оборудованием DME. Таким образом, СКП измерения навигационных параметров являются независимыми.

Система VOR/DME является азимутально-дальномерной; линейная погрешность азимутального канала находится как

$$\sigma_{\alpha_лин} = D \cdot \sigma_{\alpha}, \quad (4)$$

где σ_{α} – СКП азимутального канала (в радианах); D – удаление от маяка; погрешность дальномерного канала находится как

$$\sigma_D = \sqrt{\sigma_{D0}^2 + (D \cdot k_D)}, \quad (5)$$

где σ_{D0} – СКП дальномерного канала; k_D – коэффициент нарастания погрешности с расстоянием.

Зададим значения погрешностей маяка, рекомендованные ИКАО [5]:

$$\sigma_{\alpha} = 1^{\circ} = 0,0175 \text{ рад};$$

$$\sigma_{D0} = 0,495 \text{ км};$$

$$k_D = 0,00125.$$

Погрешность пилотирования по маршруту примем 0,463 км. Тогда радиус рабочей области для воздушного пространства типа RNP4 составит 213 км.

В отсутствие закрытий РО имеет форму круга. Однако размеры рабочей области не

могут превышать размеров зоны действия, что становится заметным при больших закрытиях и на малых высотах [2]. Это видно на рис. 1–4.

3 Оценка покрытия воздушных трасс рабочими областями существующих маяков VOR/DME

Результаты расчета степени покрытия воздушных трасс РО для высоты полета 10000 м при существующем навигационном обеспечении представлены на рис. 1 и в табл. 1.

Интегральная степень покрытия трасс РО равна 42 %.

Результаты расчета степени покрытия воздушных трасс РО для высоты полета 6000 м при существующем навигационном обеспечении представлены на рис. 2 и в табл. 2.

Интегральная степень покрытия трасс РО равна 34 %.

4 Оценка покрытия воздушных трасс рабочими областями маяков VOR/DME учетом рекомендаций

В работе [1] была дана рекомендация дооснастить аэродромы Багдада и Сулеймании дальномерным оборудованием DME, а также внедрить маяки VOR/DME в Таль-Афаре и Аль-Асаде.

ТАБЛИЦА 1. Степень покрытия трасс РО существующих маяков VOR/DME для высоты полета 10000 м

Трасса	1–1'	2–2'	3–3'	4–4'	5–5'
Длина трассы, км	1128	1143	1212	772	564
Длина участков, покрытых РО, км	777	381	127	342	287
Степень покрытия, %	69	33	11	44	51

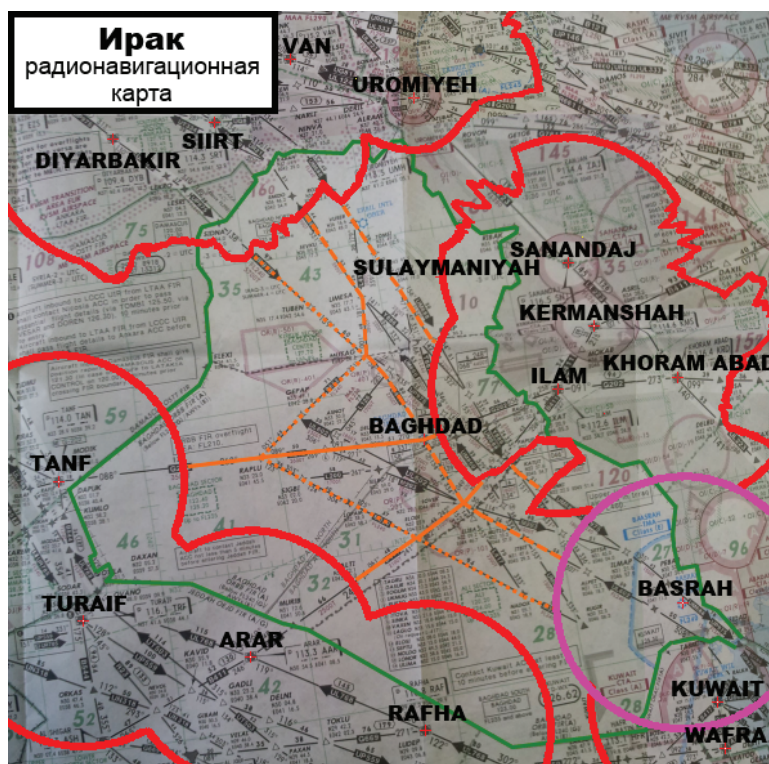


Рис. 1. Анализ покрытия воздушных трасс PO для существующих маяков VOR/DME для высоты полета 10 000 м

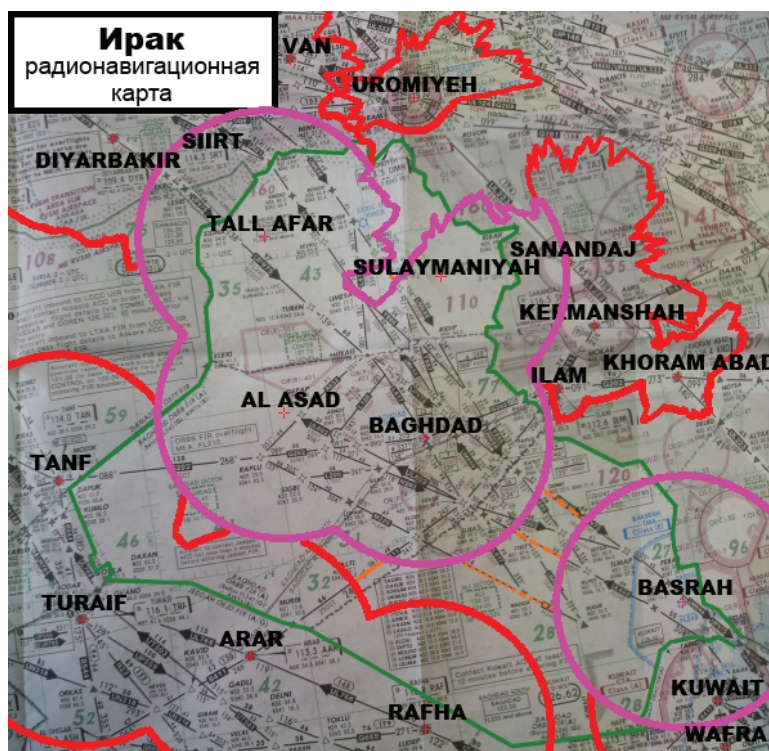


Рис. 2. Анализ покрытия воздушных трасс PO для существующих маяков VOR/DME для высоты полета 6 000 м

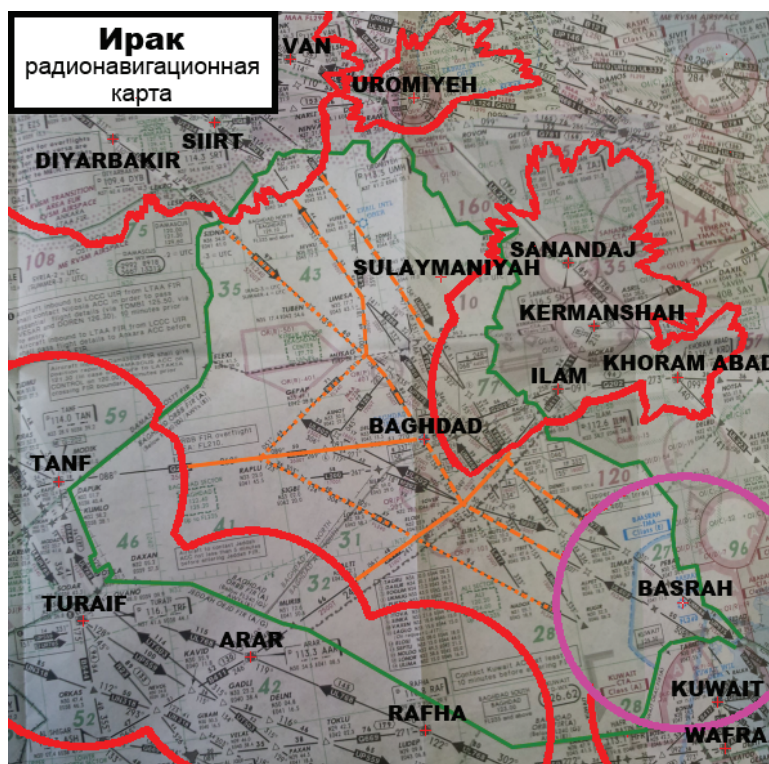


Рис. 3. Анализ покрытия воздушных трасс ПО маяков VOR/DME DME с учетом рекомендаций для высоты полета 10000 м

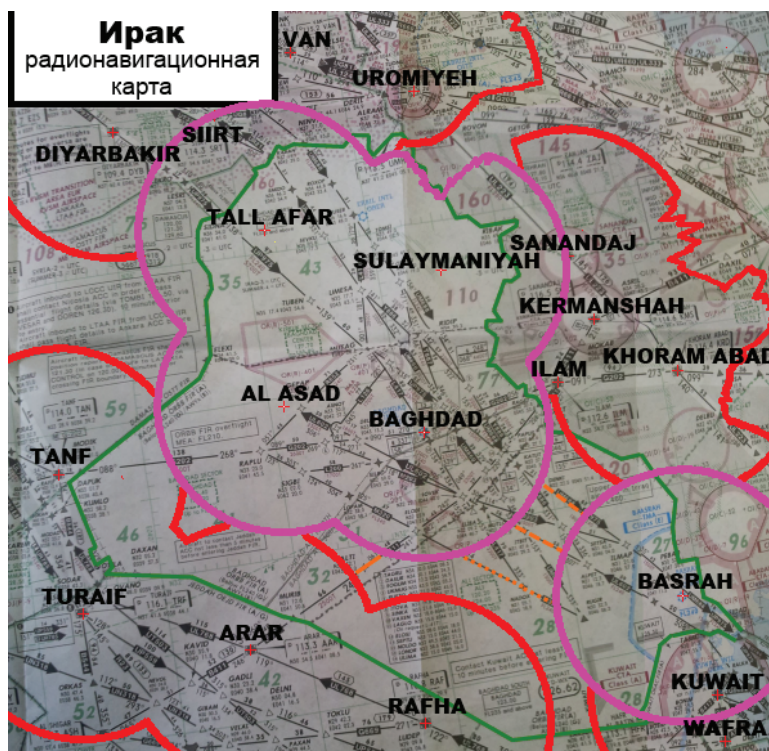


Рис. 4. Анализ покрытия воздушных трасс ПО маяков VOR/DME DME с учетом рекомендаций для высоты полета 6000 м

ТАБЛИЦА 2. Степень покрытия трасс РО существующих маяков VOR/DME для высоты полета 6000 м

Трасса	1–1'	2–2'	3–3'	4–4'	5–5'
Длина трассы, км	1128	1143	1212	772	564
Длина участков, покрытых РО, км	628	343	60	332	192
Степень покрытия, %	56	3	5	43	34

Результаты расчета степени покрытия воздушных трасс РО для высоты полета 10000 м при условии внедрения дополнительного оборудования представлены на рис. 3 и в табл. 3.

Интегральная степень покрытия трасс РО равна 92 %.

Результаты расчета степени покрытия воздушных трасс РО для высоты полета 6000 м при условии внедрения дополнительного оборудования представлены на рис. 4 и в табл. 4.

Интегральная степень покрытия трасс РО равна 91 %.

Заключение

Анализ точности самолетовождения для полетов по концепции зональной навигации был

проведен методом расчета рабочих областей маяков VOR/DME. Внедрение дополнительных маяков привело к тому, что интегральная степень покрытия воздушных трасс РО выросла для высоты полета 10000 м в 2,2 раза (с 42 до 92 %), для высоты полета 6000 м – в 2,7 раза (с 34 до 91 %).

Предложенные рекомендации позволят значительно повысить точность самолетовождения и уровень безопасности полетов в регионе.

Внедрение дополнительных маяков VOR/DME и дальномерного оборудования позволит не только улучшить навигационное обеспечение в регионе, повысить точность самолетовождения и уровень безопасности полетов, но и (за счет того, что маяки предполагается расположить на территории Республики Ирак)

ТАБЛИЦА 3. Степень покрытия трасс РО маяков VOR/DME DME с учетом рекомендаций для высоты полета 10000 м

Трасса	1–1'	2–2'	3–3'	4–4'	5–5'
Длина трассы, км	1128	1143	1212	772	564
Длина участков, покрытых РО, км	1044	1048	1030	772	503
Степень покрытия, %	93	92	85	100	89

ТАБЛИЦА 4. Степень покрытия трасс РО маяков VOR/DME DME с учетом рекомендаций для высоты полета 6000 м

Трасса	1–1'	2–2'	3–3'	4–4'	5–5'
Длина трассы, км	1128	1143	1212	772	564
Длина участков, покрытых РО, км	1016	1025	1030	772	503
Степень покрытия, %	90	90	85	100	89

обеспечить навигационную независимость страны.

Авторы выражают благодарность Министерству образования и науки Республики Ирак, а также сотрудникам посольства Республики Ирак за оказанную помощь и поддержку.

Библиографический список

1. **Вариант** рационального состава и размещения радиомаяков VOR/DME в Республике Ирак для обеспечения зональной навигации / Е. В. Соболев, Ал-Рубой Мудар, Е. А. Рубцов // Изв. Петербург. ун-та путей сообщения. – 2014. – Вып. 2 (39). – С. 111–117.

2. **Организация** радиотехнического обеспечения полетов. Ч. 1. Основные эксплуатационные требования к авиационным комплексам навигации, посадки, связи и наблюдения: учеб. пособие / Е. В. Соболев. – Санкт-Петербург : СПбГУ ГА, 2007. – 120 с.

3. **Руководство** по требуемым навигационным характеристикам (RNP). ИКАО документ 9613 AN-937, 1999. – 68 р.

4. **Stellios, P.M.** Error distributions and accuracy measures in navigation: an overview. Geodesy and geomatics engineering UNB, technical report N 113/Dep. of Surveying Engineering Univ. of New Brunswick. – Canada, 1985. – 160 p.

5. **Руководство** по навигации, основанной на характеристиках (PBN). ИКАО документ 9613 AN/937, 3-е изд., 2008. – 264 с.

УДК 504:656.2

Т. С. Титова, Е. И. Макарова

Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ЭКОЗАЩИТНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ОЧИСТКИ ЗАГРЯЗНЕННЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Проведена оценка качества технологий очистки загрязненных металлических поверхностей с использованием моющих средств, разработанных на кафедре «Инженерная химия и естествознание» в сравнении с известными моющими средствами, применяемыми в настоящее время на железнодорожном транспорте. Оценка производилась с помощью индексов PQ (property quality), поскольку в этом случае можно, используя определенные математические операции, проанализировать различные аспекты: экологические, технологические и эксплуатационные; полученные данные затем суммируются; чем выше значение индекса PQ, тем выше качество технологического решения.

экозащитная технология, качество технологии, очистка поверхностей, загрязнение, моющее средство, утилизация отработанных моющих растворов, защита окружающей среды, железнодорожный транспорт.

Введение

В процессе эксплуатации металлические детали подвижного состава неизбежно подвер-

гаются загрязнению, причины которого связаны, прежде всего, с налипанием дорожной