

МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА И КОММУНИКАЦИЙ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ «БЕЛОРУССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ
АКАДЕМИЯ АВИАЦИИ»

Факультет гражданской авиации
Кафедра организации движения и обеспечения безопасности на воздушном
транспорте

КОНКУРСНАЯ РАБОТА

**АНАЛИЗ ОРГАНИЗАЦИИ ВОЗДУШНОГО ДВИЖЕНИЯ В КРУПНЫХ
АЭРОПОРТАХ МИРА И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ВОЗДУШНОГО
ДВИЖЕНИЕ В НАЦИОНАЛЬНОМ АЭРОПОРТУ МИНСК**

Авторы: Кунай Екатерина Юрьевна
Савринович Яна Михайловна

очная форма обучения

специальность: 1-44 01 05 «Организация движения и обеспечение полётов на
воздушном транспорте»

3 курс гр. У118

Научный руководитель
Магистр психологии, старший преподаватель Барабан И.И.

Минск 2021

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1. Методы упорядочения потоков ВД	5
2. Схема упорядочения прибывающих потоков воздушного движения «Тромбон»	6
3. Слияние как перспективный способ упорядочения прибывающих потоков воздушного движения	9
4. «Point merge system» («веер»)	10
4.1 Дизайн «PMS»	11
4.2 Построение PMS и рабочий метод	13
4.3 Параметры построения и другие особенности	14
4.4 Вероятные последствия внедрения PMS	18
5. Результаты внедрения «point merge system» и схемы «тромбон» в крупных аэропортах мира	19
6. Выбор схемы прибытия RNAV для аэродрома «Минск-2»	21
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	26
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	28
ПРИЛОЖЕНИЯ	29
ПРИЛОЖЕНИЕ А	29
ПРИЛОЖЕНИЕ Б	31
ПРИЛОЖЕНИЕ В	33
ПРИЛОЖЕНИЕ Г	34
ПРИЛОЖЕНИЕ Д	35
ПРИЛОЖЕНИЕ Е	36
ПРИЛОЖЕНИЕ Ж	37
ПРИЛОЖЕНИЕ И	38
ПРИЛОЖЕНИЕ К	39

ВВЕДЕНИЕ

В условиях быстро развивающегося мира, когда одной из приоритетных задач является обеспечение безопасного и быстрого перемещения из одной точки в другую, значение гражданской авиации как основного способа передвижения на дальние расстояния непрерывно растет, что влечет за собой увеличение прибывающих и убывающих воздушных судов, и, соответственно, усиление требований к способам упорядочения в районах аэродромов.

Целью данной работы является рассмотрение и оценка существующих способов упорядочения воздушных потоков и определение наиболее эффективной модели организации воздушного движения для прибывающих воздушных судов в районе аэродрома «Минск-2».

Задачами исследовательской работы являются:

анализ существующих способов упорядочения потоков воздушного движения, сравнение применяемых способов ОрВД в Республике Беларусь и других стран мира,

изучение методов формирования очередности прибывающих потоков воздушного движения по типу «point merge», «тромбон»;

детальное сравнение данных методов на основе анализа существующей структуры воздушного пространства в районе аэродрома «Минск-2»;

выбор наиболее подходящего варианта оптимизации процессов обслуживания прибывающих ВС и внесение предложений по улучшению схем прибытия и захода на посадку.

Объект исследования – организация воздушного движения в Республике Беларусь, а также организация воздушного движения в ведущих в области авиации странах мира.

Предмет исследования – процесс оптимизации способов упорядочения прибывающих потоков и внедрение процедур на основе RNAV в рамках реализации концепции PBN в воздушном пространстве Республики Беларусь, а в частности использование схем «тромбон» и «point merge» в районе аэродрома «Минск-2».

В данной работе мы провели тщательный анализ существующих способов упорядочения потоков как в Республике Беларусь, так и за ее пределами, рассмотрели существенные особенности таких принципиально важных схем прибытия как «тромбон» и «point merge» благодаря теоретическому и

методологическому материалу с указанием ссылок на авторов, а также рассмотрели особенности внедрения схем «тромбон» и «point merge» для организации воздушного движения в районе аэродрома «Минск-2».

1. Методы упорядочения потоков ВД

Сегодня применяются различные способы упорядочения прибывающих воздушных судов. К проверенным и устоявшимся методам относятся такие, как векторение, использование зон ожидания, управление скоростью [4], но их рабочий запас не является неисчерпаемым и постепенно они уступают место более производительным способам.

Векторение представляет наиболее универсальный прием, направленный на рассредоточение и упорядочение прибывающих ВС, за исключением оборудования радиолокационного комплекса, он не требует никаких высокотехнологичных и дорогостоящих дополнений, улучшающих навигационные характеристики, являясь вполне эффективным и широко используемым. В тоже время надежность и безопасность метода остается не самой лучшей, так как приходится полностью полагаться на человеческие способности, которые ограничены человеческим фактором. Также, учитывая потребности и стремление авиационного сообщества наладить максимально эффективное использование воздушного пространства путем оптимизации траекторий и заходов на посадку, его эксплуатация рассматривается нежелательной. Отсутствие возможности просчитывать расстояние по траектории полета исключает практическое прогнозирование, что делает воздушную обстановку слегка нечеткой и повышает роль мгновенной реакции пилота. Постоянное участие диспетчера, скудная осведомленность экипажа, избыток радиосвязи, нарастающий вероятность ошибок и невозможность внедрения процедуры постоянного снижения считаются очевидными недостатками, решение которых может быть найдено в рамках реализации концепции PBN.

Скорость. Контроль и назначение скорости полета можно скорее назвать приемом, который используется при выполнении как замкнутых, так и незамкнутых схем захода на посадку. Для обеспечения эшелонирования при выполнении полета по схемам, чаще всего скорость просчитана заблаговременно и ее «живая» регулировка не требуется, хотя в условиях высокой интенсивности позволяет уплотнить потоки прибывающих воздушных судов и избежать изменения траектории.

Грамотная эксплуатация зон ожидания создает возможность для построения очередности захода на посадку, однако постоянное скопление

воздушных судов и захват большого объема воздушного пространства, в некоторых случаях препятствующий вылетам, делает метод довольно специфическим и малоприменимым в большинстве районов воздушного пространства.

В качестве вспомогательного средства при упорядочении потоков воздушного движения выступают автоматизированные системы такие, как AMAN/DMAN, предназначенные для содействия диспетчерам и рационализации процессов использования воздушного пространства через планирование стекающегося к аэропорту движения. Менеджеры прибытия оптимизируют пропускную способность осуществляя регулировку очередности и поддержку расчета максимально полезных интервалов при входе воздушных судов в зону подхода. Совместное применение таких систем с различными методами обслуживания воздушного движения организует гибкую и продуктивную среду его управления, способную выдерживать высокие нагрузки и соответствовать современным стандартам организации воздушного пространства.

Следует отметить, что уже существуют более продвинутые методы организации воздушного движения, направленные на противодействие нарастающей интенсивности, которые в качестве основы используют весьма оригинальный подход. Они организуются за счет выстраивания схем, предусматривающих удлинение траектории или обозначение точек слияния, позволяющие эффективно и заблаговременно регулировать очередность воздушных судов. Данные «продвинутые» методы ОрВД, безусловно, облегчают как работу диспетчера, так и работу пилота, а также повышают уровень безопасности полетов, сокращая риск столкновений в районе аэродрома. Особое место среди инновационных методов занимают использование схемы «тромбон» и системы слияния в одну точку «Point Merge System».

2. Схема упорядочения прибывающих потоков воздушного движения «Тромбон»

«Тромбон» главным образом является процедурой RNAV, известной как «RNAV transitions» [3]. Это участок с параллельными, противоположно направленными прямолинейными треками, позволяющий организовать очередность захода на посадку для ВС с одинаковым временем прибытия на конечную точку пути стандартного маршрута (рис. 1). Данная схема

определяется последовательностью точек пути или waypoints, ограничениями скорости, высоты, направления разворота, а также навигационными средствами.

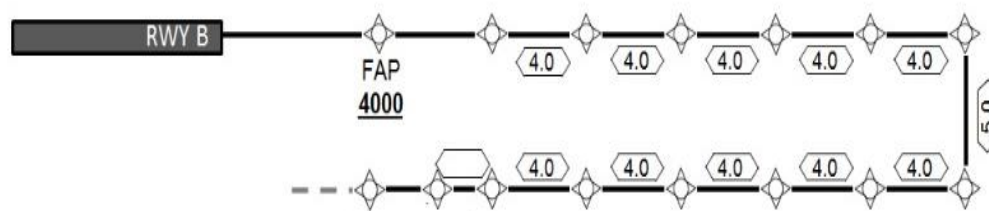


Рисунок 1 – Участок схемы «Тромбон»

Эксплуатация схемы основана на методе удлинения траектории, осуществляемом через указание контрольной точки выполнения разворота на промежуточный/начальный участок захода на посадку и позволяющем создать необходимую очередность.

В случае отсутствия каких-либо инструкций в реальном режиме времени полет выполняется по всей схеме, но чаще всего условия низкой интенсивности дают возможность вмешаться, и диспетчер выдает указание формата «direct to» – следовать к определенной waypoint, для последующего выхода к промежуточному/начальному этапу захода на посадку, таким образом, спрямляя маршруты прибытия.

Преимущества зональной навигации, исключая привязку к навигационным средствам, позволяют разрабатывать различные вариации представленной схемы, что делает ее более приспособляемой и эффективной для любой структуры воздушного пространства. Специфическим примером этого, служит «развернутый тромбон» (рис. 2), который увеличивает его полезную зону по отношению к полной площади и устраняет проблему большого количества запретных зон и зон ограничения, затрудняющих операции вылета и прибытия.

Еще одним примером вариации данной схемы является «зеркальный тромбон» (рис. 3), который, как правило, применяется для двух параллельных ВПП. Однако такой вариант схемы в два раза увеличивает полезную площадь, что в ряде случаев неприемлемо из-за расположения запретных зон.

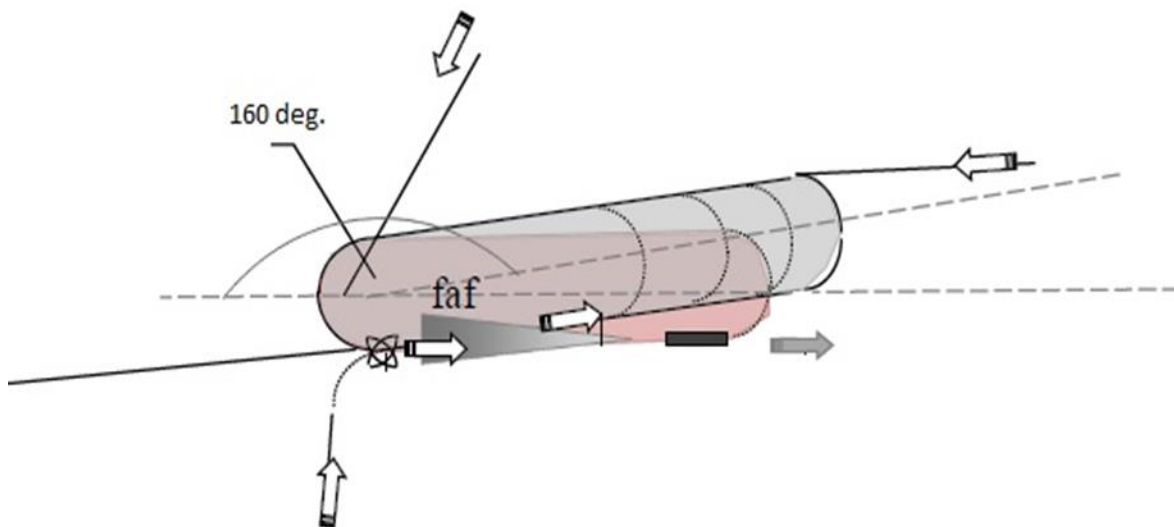


Рисунок 2 – Схема тромбон, развернутого на 160°

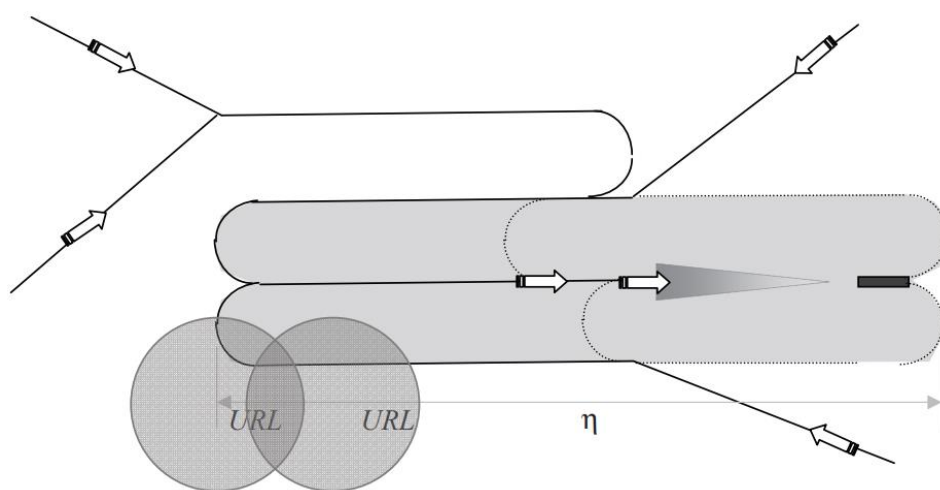


Рисунок 3 – Зеркальный тромбон

Возможность задерживать большое количество воздушных судов за счет продления «downwind leg» на заблаговременно рассчитанное и известное FMS расстояние, рационализация использования воздушного пространства, сокращение сжигаемого топлива и безопасность делают данный способ упорядочения оптимальным вариантом модернизации метода организации воздушного движения. Для многих аэропортов серьезным препятствием для введения новых процедур считается дефицит воздушного пространства, в связи с чем продолжается использование обыденных методов ОВД. Особенность «тромбон» в схожести с траекториями векторения решает и эту проблему, делая

метод подходящим для локаций с небольшими размерами района аэродрома/аэроузла.

3. Слияние как перспективный способ упорядочения прибывающих потоков воздушного движения

А теперь рассмотрим второй, уникальный в своем роде и отличающийся от выше перечисленных, метод упорядочения прибывающих ВС. Суть метода состоит в том, чтобы благодаря схемам прибытия упорядочение прибывающих потоков воздушного движения происходит через точку слияния по уже заранее известным маршрутам. Его базисом служит ТМА, который выполняет своеобразную роль переходного слоя между сетью маршрутов и самим аэродромом. Следует обратить внимание, что данное улучшение эксплуатационной среды было вызвано повсеместным внедрением концепции PBN.

Использование новейших методов упорядочения и схем прибытия RNAV позволяет добиться больших результатов. Для выполнения слияния (рис. 4) допускается применение различных схем, однако проведенные исследования демонстрируют явное превосходство лишь одного дизайна, которым является «point merge» [1].

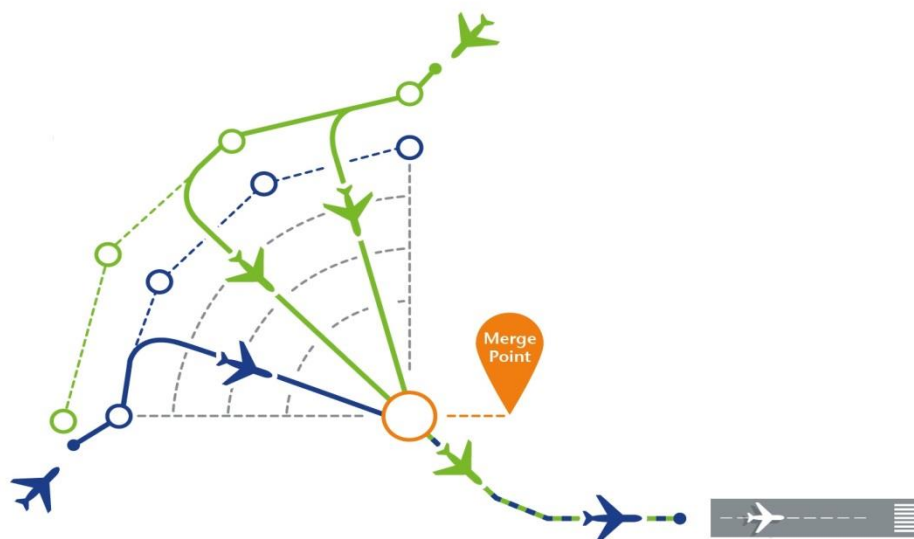


Рисунок 4 – Слияние

4. «Point merge system» («веер»)

«Point merge system» («PMS») или «веер» является систематизированным методом упорядочения потоков воздушного движения, который был разработан экспериментальным центром Евроконтроля в 2006 году. Это основанный на зональной навигации дизайн маршрута, представить который можно в виде схемы, состоящей из касательных к окружности, представляющих горизонтальные участки установления очередности, центром которой является равноудаленная точка слияния. Выполнение полета в соответствии со схемой point merge производится по, так называемым, «sequencing legs» (рис. 5) – участкам упорядочения (секвенирования), чье количество и конфигурация предопределяется заранее и, в основном, зависит от величины потока, а также структуры воздушного пространства. Движение по данным участкам выполняется на заданной наиболее экономичной скорости до тех пор, пока интервалы эшелонирования не позволят диспетчеру выдать указания типа «direct to» – следовать к точке слияния. Продольный интервал между предшествующим и преследующим ВС обеспечивается регулировкой скорости.

После покидания участка формирования очередности предусматривается выполнение подхода к точке начального захода на посадку в режиме постоянного снижения, что обеспечивается равноудаленностью основных точек. Стоит отметить, что удлинение траектории не требует никакого вмешательства диспетчера, все происходит в соответствии с опубликованной и занесенной в бортовой компьютер процедурой, учитывающей полное прохождение участков схемы. Иными словами, point merge – это схема STAR с замкнутой траекторией, поэтому после пролета всех участков и отсутствия указаний, схождение к точке слияния происходит автоматически, а в обязанности диспетчеров входит только контроль траектории.



Рисунок 5 – Типовая схема «Point merge system»

4.1 Дизайн «PMS»

Выполнение упорядочения через точку слияния можно разложить на 3 этапа: до слияния, процесс слияния, после слияния.

Существует 3 опорных опции построения схемы, которые реализуются через (рис. 6) [2]:

1. Параллельные участки с полным перекрытием требуют строгого выдерживания высоты. Такая конфигурация предусматривает режим постоянного снижения в начале процесса слияния, после указания «direct to».

2. Параллельные участки с частичным перекрытием требуют строгое выдерживание высоты на участке перекрытия, вне его возможно ограниченное снижение. Постоянное снижение разрешается так же после указания «direct to».

3. Не параллельные участки без перекрытия (разведенные) – ограничения к снижению отсутствуют, за исключением обозначения допустимых высот на обоих краях схемы. В случае отсутствия движения в тот же момент претендующего на заход на посадку, регулировка профиля снижения возможна с наиболее удобной точки.

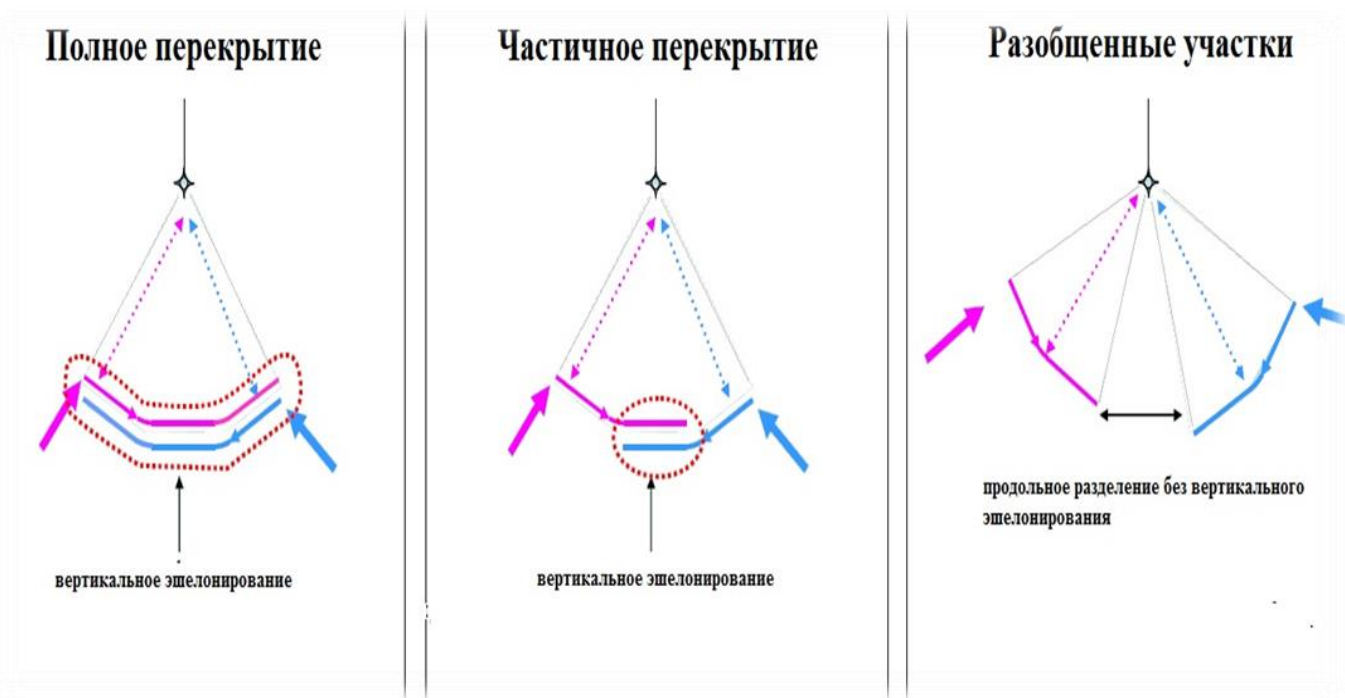


Рисунок 6 – Вариации «PMS»

Естественно, каждая из схем не может быть оптимальной для любой структуры воздушного пространства, поэтому для достижения желаемых преимуществ следует проводить её тщательный анализ. Как было выявлено в результате наблюдений, основными сопутствующими выгодами при выборе подходящей вариации являются:

1. Повышение пропускной способности ТМА (обеспечивается снижением рабочей нагрузки и уменьшением занятости канала связи);
2. Уплотнение потока и приближенное к максимуму использование пропускной способности ВПП;
3. Повышение предсказуемости воздушной обстановки (обеспечивается удлинением траектории через известные FMS основные точки);
4. Минимизация воздействия на окружающую среду (обусловлена сокращением траекторий и оптимальным профилем снижения);
5. Стандартизация и рационализация методов работы диспетчерского персонала;
6. Повышение уровня безопасности, за счет высокой устойчивости метода.

Однако предполагаемые ограничения и особенности при намерении реализовать схему влекут за собой и определенные нюансы:

появление нюансов в обслуживании и, следовательно, дополнительное обучение персонала;

на начальных этапах разработки необходимо привлечение диспетчерского состава и других заинтересованных лиц, для оценки практичности;

требуется проверка всех параметров базы данных (кодирование, доступная информация, декодирование), стандартизация систем зональной навигации и проверка их точности;

требуется сбор информации о возможностях и характеристиках воздушных судов, использующих соответствующее воздушное пространство;

необходима доработка фразеологии радиообмена.

Как известно, в авиации большую роль играют не только машины, но и человек. Поэтому, как и в любом другом вопросе, связанным с безопасностью полетов, особое место занимает человеческий фактор. В следствие этого, мы также посчитали нужным выделить ряд особенностей, связанных с человеческим фактором, при внедрении системы «point merge»:

изменение процедуры в сторону облечения и систематизации создает условия монотонной и повторяющейся деятельности, что, как и в случае вождения по не извилистой и свободной дороге, понижает бдительность;

возможно ухудшение умения осуществлять навигационное наведение, поэтому требуется выделение особого внимания тренировке данной процедуры, на случай непредвиденных или нештатных ситуаций;

процедура подразумевает использование изначально длинной траектории, а сама схема охватывает достаточный объём воздушного пространства, что требует одновременного восприятия и оценки большего массива информации, чем при векторении.

Для экипажей существенной деталью является геометрия схемы, которая предполагает полет с частым изменением положения относительно направления ветра.

4.2 Построение PMS и рабочий метод

Важным принципом при построении схемы «веер» является равноудаленность, определяющая интуитивность и точность метода [2]. Она рассматривается как ключевая особенность «point merge system», так как на ней полностью основывается успешный процесс слияния. Поэтому дизайн участков удаления должен непременно обеспечивать схожесть с дугой, которая позволит максимально выровнять расстояние от каждой точки сегмента до точки

слияния. Помимо этого, при любом выбранном варианте построения для учреждения простоты процедуры симметрия имеет принципиальное значение.

В соответствии с руководящими принципами проектирования воздушного пространства терминала, проектирование структуры маршрута должно обеспечивать стратегическую деконфликтацию между прибытиями из разных потоков (в дополнение к стратегической деконфликтации между прибытиями и вылетами) прежде, чем последовательность будет построена [2]. В частности, участки секвенирования должны быть соответствующим образом разделены в боковой и/или вертикальной плоскостях. В вертикальной плоскости допустимым считается разделение в 1000 ft, т.е. возможно использование последовательно размещенных эшелонов, тем не менее рекомендуется выделять дополнительный эшелон выше или между участками удаления для обеспечения диспетчеров добавочной мерой предосторожности, увеличивающей допустимое время реакции, на случай несвоевременного выхода ВС за их пределы или возникновения внештатной ситуации. Непараллельные участки не требуют вертикального рассредоточения. Следует учитывать достаточное боковое расстояние между двумя параллельными участками, чтобы избежать загромождения дисплея диспетчера.

Согласно геометрии схемы, параллельные участки при выдаче указаний «direct to» представляют определенные риски, связанные с невозможностью точно просчитывать безопасные интервалы, поэтому желательным и благоразумным является размещение внутреннего из них выше, чем более удаленного от точки слияния.

4.3 Параметры построения и другие особенности

Система point merge включает в себя такие ключевые параметры, как [2]:

протяженность участков упорядочения;

расстояние между участками упорядочения и точкой выхода;

расстояние между участками упорядочения и точкой слияния;

высота участков упорядочения;

высота точки слияния;

количество участков упорядочения.

Изменение значений каждого из параметров значительно сказывается на удобстве, а также потенциальных преимуществах способа упорядочения, поэтому рассмотрим их возможные вариации. Наиболее распространенной является конфигурация с параллельным расположением сегментов, поэтому

рассмотрение произведем на ее основе. Рассмотрим последствия от изменения данных параметров.

Увеличение участков упорядочения. Позволяет увеличить время задержки, придавая схеме своеобразную роль линейной зоны ожидания (полет по участкам осуществляется дольше), в то же время это является и минусом, поскольку захватываемая площадь воздушного пространства увеличивается (2D). На основе расчетов, учитывающих максимально неудобные значения попутного ветра, допустимые значения длины сегмента колеблются в пределах от 5 до 10 м.м., удлинение участков при достаточном объеме ВП существенно минимизирует вероятность «беспорядка».

Увеличение высоты размещения участков упорядочения. Снижает воздействие на окружающую среду и, вместе с достаточным расстоянием до точки выхода из схемы, создает идеальные условия для организации постоянного снижения с более высокого эшелона. С другой стороны, требует увеличения расстояния между сегментами упорядочения и точкой слияния, что не для всех является приемлемым, исходя из доступного объема воздушного пространства.

Выполнение полета на такой высоте происходит на более высоких скоростях, что ускоряет прохождение участков упорядочения, уменьшая порой необходимые задержки. Также приводит к проявлению разнородности в характеристиках обслуживаемых ВС: выражается разностью используемых параметров полета.

Увеличение расстояния между участками упорядочения и точкой слияния. Облегчает обслуживание по установлению безопасных интервалов эшелонирования. Длинная дистанция снижает критичность указаний «direct to», позволяя компенсировать допущенные ошибки, за счет применения управления скоростью во время полета в секторе «point merge». Отрегулированная в секторе очередность повышает предсказуемость процесса слияния, однако при возникновении непредвиденных обстоятельств или ухода на второй круг ухудшает гибкость процедуры по заполнению пробелов схемы.

Чем дальше точка слияния, тем выше должны находиться сегменты схемы, для обеспечения выгодного профиля снижения. Вполне очевидно, что для многих ПАНО приведенная подстройка не может быть актуальной из-за ограниченного объема воздушного пространства и единственной интересующей их деталью является минимальное расстояние, которое позволит им реализовать схему. Минимально оптимальным, усредненным для всех типов ВС

расстоянием, позволяющем применять постоянное снижение с участка удаления было принято 20 м.м.

Количество участков упорядочения. Типовой вариант построения схемы состоит из 2-ух участков упорядочения, но для случаев, когда количество входящих потоков усложняет процесс обслуживания предусматривается возможность наращивания организующих сегментов. Могут применяться и 3, и 4 параллельных участка упорядочения, однако их эффективность за редким исключением бывает оправдана.

Недостатки применения большого количества участков упорядочения:

эксплуатация более, чем 2-ух участков заметно повышает сложность и время выдачи указаний «direct-to»;

построение схемы с 3-мя или 4-мя участками требует большого объема воздушного пространства, за счет необходимой дистанции между сегментами, а также их рассредоточения по высоте;

затрудняет построение маршрутов вылета;

постоянное снижение становится нереализуемым.

Процедура упорядочения не предусматривает никаких строгих ограничений к развернутости сектора и его угол может составлять вплоть до 180°. Такое решение считается опрометчивым даже несмотря на возможное удобство, поскольку характеризуется повышенным риском при соблюдении безопасных интервалов эшелонирования и регулировании потоков, связанным с конфликтным движением ВС к точке слияния. Поэтому рекомендуемыми рамками являются менее раскрытые схемы. Как и любая схема прибытия или захода на посадку, после разработки процедура включается в AIP, в виде схемы прибытия STAR (RNAV).

Небольшие ТМА. Так как доступное воздушное пространство многих районов аэроузла не обладает внушительными размерами, остановимся на определенных подробностях, касающихся внедрения «point merge» в такие системы. Вполне очевидно, что небольшие ТМА сужают возможный выбор вариаций параметров при конструировании схемы и существенно уменьшают ее размеры, которые тесно связаны со всеми ее эксплуатационными характеристиками. Хотя осложнения и не являются неизбежными и полностью зависят от фактической нагрузки на схему, стоит отметить ожидаемые недостатки компактности. Для обеспечения безопасных интервалов эшелонирования, в условиях малых ТМА значительно возрастает важность точных «direct-to» указаний, из-за сжатости дистанции до точки слияния снижается эффективность управления скоростью по сравнению с более

крупными схемами, а также слегка снижается общая гибкость процесса.

Тем не менее, после некоторых проверок пригодности, экспериментальной группой Евроконтроля было определено, что, несмотря на снижения гибкости взятого способа упорядочения, вызываемого сокращением сегментов, процедура будет приемлемой и вполне продуктивной даже при внедрении конфигурации, где участки упорядочения составят 15 м.м. на эшелонах FL70/80 с дистанцией 10 м.м. до точки слияния.

Зоны ожидания. Использование процедуры слияния point merge представляет систематизированное регулирование и удержание потоков воздушного движения за счет растяжения траектории прибытия и последующего слияния, но не в какой степени не исключает применение зон ожидания, они, напротив, являются отличным дополнением способа упорядочения. Лучшей опцией построения зон ожидания в среде «point merge» можно считать выставление зон ожидания на небольшом удалении от участков упорядочения для снабжения схемы отрегулированными потоками (рис. 7). В тоже время такая конфигурация позволяет перенаправлять ВС на повторное упорядочение с другого участка, когда поток движения слишком плотный или посадка временно ограничена из-за проблем с ВПП или метеорологической обстановкой.

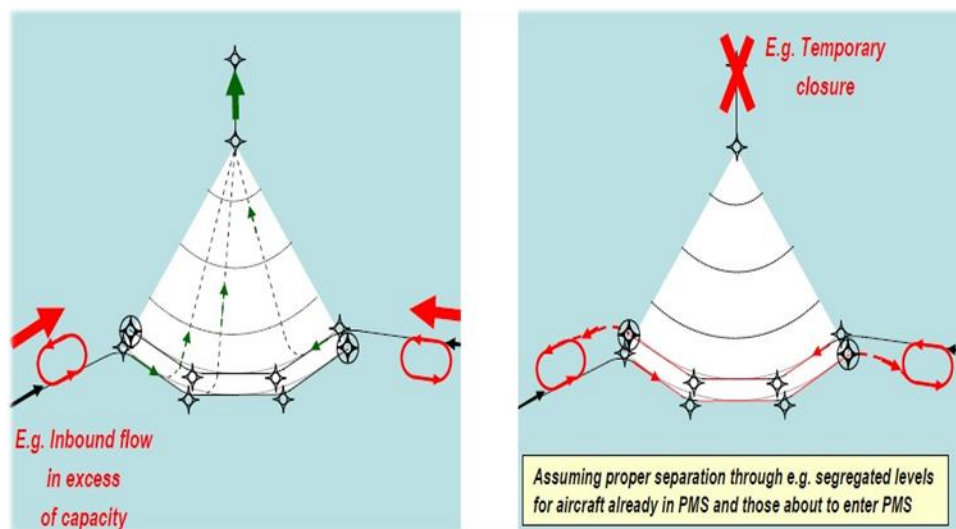


Рисунок 7 – Эффективное размещение зон ожидания

Эшелон перехода. Нахождение изменяющегося в зависимости от метеорологических условий эшелона перехода, ниже участков упорядочения создает неблагоприятные условия для предсказуемости профиля снижения и воплощает риски возникновения «level bust». В связи с этим, где это возможно,

наиболее разумным решением считается размещение «sequencing legs» на высотах ниже эшелона перехода, которое исключает любое замешательство.

Независимо от вышеизложенного, следует отметить, что размер «веера», как ожидается, будет ограничен следующими ограничениями:

размер доступного объема воздушного пространства;

тот факт, что процедура должна быть разработана с вертикальным профилем, который допускает различные типы/массы воздушных судов и атмосферные условия;

секторизация воздушного пространства и границы: система точечного слияния, которая будет распространяться на несколько секторов, очевидно, вызовет оперативные проблемы УВД.

4.4 Вероятные последствия внедрения PMS

Структура маршрутов. Позитивные: отчетливость и интуитивность, небольшой разброс траекторий; простое избежание конфликтных ситуаций на стратегическом этапе планирования. Негативные: строгое ограничение удлинения траектории, обусловленное длиной участков упорядочения; высокая зависимость возможностей схемы от элементов структуры ВП; строгое выдерживание заданных параметров упорядочения, связанное с чувствительностью системы; значительное влияние ветра на упорядочение.

Рабочий метод. Позитивные: стандартизация метода упорядочения; систематичность слежения за воздушной обстановкой, интуитивность и высокая предсказуемость; хорошая осведомленность экипажей. Негативные: необычная сущность процесса слияния; сниженная гибкость, в сравнении с традиционным векторением; повторяемость, вызывающая снижение бдительности диспетчеров УВД; необходимость отработки многих альтернативных вариантов течения воздушной обстановки.

Человеческий фактор. Позитивные: отчетливое распределение задач диспетчеров УВД; простые и комфортные операции удлинения траектории; минимизированное вмешательство диспетчеров УВД; сниженное влияние человеческого фактора на появление ошибок за счет уменьшения рабочей нагрузки и времени связи (для пилотов и УВД); высокая точность прогнозирования воздушной обстановки. Негативные: ухудшение способностей специалистов к производству векторения; для диспетчеров гибкость метода недостаточна в случае нарушения интервалов эшелонирования (вызывает

возврат к векторению); риск нагромождения меток на ИВО во время интенсивного движения;

5. Результаты внедрения «point merge system» и схемы «тромбон» в крупных аэропортах мира

На сегодняшний день многие страны мира уже внедрили данные методы для упорядочения прибывающих потоков воздушного движения, и еще больше стран разрабатывают конструкции данных схем и высчитывают экономическую эффективность конкретно для своего воздушного пространства.

Одним из пионеров во внедрении системы слияния стал аэропорт Дублина в 2012 году на ВПП 28 (Приложение А). Система оптимизирует порядок посадки самолетов в аэропорту Дублина и использует новые методы, помогающие авиакомпаниям выполнять полеты по схеме непрерывного снижения (CDA) к главной взлетно-посадочной полосе. Это почти устранило необходимость переводить воздушные суда в традиционные круговые схемы ожидания в Дублине и значительно снизило расход авиационного топлива и выбросы CO.

Более того, независимый анализ показал, что с помощью Point Merge авиакомпании, совершающие посадку в аэропорту Дублина в 2013 году, сэкономили 127 кг топлива стоимостью 93,10 евро на рейс и сократили свои потребности в топливе на 19,1% на рейс. Также выяснилось, что самолет сократил длину полета на 11,3 мили, что на 17% меньше. Point merge также обеспечила экономию 23 500 тонн CO₂ что на 19% меньше.

После доказанного успеха внедрения Point Merge на ВПП 28, IAA представило point merge на взлетно-посадочной полосе 10 (Приложение Б). Система перечисляет среди своих преимуществ сокращение пробега пути с последующей экономией топлива, более широкое использование бортовой авионики и заходы на посадку с непрерывным снижением и связанные с этим экологические преимущества. Версия взлетно-посадочной полосы 10 отличается от системы взлетно-посадочной полосы 28 тем, что имеет отдельные участки последовательности, расположенные на идеальной трассе для конечного захода на посадку для взлетно-посадочной полосы 10.

Примеру аэропорта в Дублине последовал питерский аэропорт в Пулково. Более того при выборе модели point merge system из вариантов Осло, Париж, Дублин за основу для Пулково был выбран Дублин. Расположение участков задержки в створе ВПП, как это было реализовано в Дублине, позволяет более эффективно регулировать очередность заходов по сравнению с траекториями

задержки, расположенными на траверзах взлетно-посадочной полосы (Приложение В). Как видно из схемы прибытия, участок секвенирования расположен на эшелоне перехода FL060/ Безусловно, и тот, и другой варианты имеют свои преимущества и недостатки, предпочтение в выборе должно основываться на особенностях конкретного аэродрома и наличии воздушного пространства, свободного для маневрирования прибывающих ВС. Благодаря использованию данной процедуры, значительно снизились операционные нагрузки на персонал ОВД, повысилась ситуационная осведомленность экипажей ВС в связи с предсказуемостью процедур органа ОВД, снизилось количество радиообмена. Работа по этой технологии позволила персоналу ОВД обеспечить безопасность и эффективность полетов в периоды повышенной интенсивности воздушного движения в 2017 и 2018 годах.

А теперь рассмотрим аэропорт во Франкфурте. Район аэродрома Франкфурт не является узловым, в нем расположен лишь один крупный аэродром – Франкфурт на Майне. На аэродроме выполняется 482 тыс. взлетно-посадочных операций в год. Вокруг аэродрома на удалении 40-50 м.м. расположены так называемые clearance limit points (точки границы действия диспетчерского разрешения), это VOR/DME PSA и GED, точки KERAX, ROLIS, UNOKO. По достижении любой из этих точек, ВС должно встать в опубликованную зону ожидания, если не выдано дальнейшее диспетчерское разрешение о следовании по указанной схеме. От каждой из точек продолжается два варианта маршрутов – классические STAR, заканчивающиеся на некоем IAF, либо RNAV Transitions, имеющие форму тромбонов и ограничения по скорости и высоте (рис.8).

В периоды высокой интенсивности на аэродроме используются именно RNAV Transitions. Перед выходом на clearance limit points, диспетчер в Е-ТМА векторением или управлением поступательной скоростью создает необходимые продольные интервалы для облегчения работы Подхода, в этом диспетчеру РЦ активно помогает Arrival Manager (AMAN). Отсутствие необходимости привязки схемы к наземным РТС позволяют задать любую желаемую траекторию потоку ВС, а ее большая протяженность делает возможным нахождение большого количества ВС одновременно на схеме. Использование подобных схем значительно сокращает сеансы радиосвязи между экипажем и диспетчером, т.к. на схеме опубликованы необходимые ограничения по скорости и высоте пролета точек.

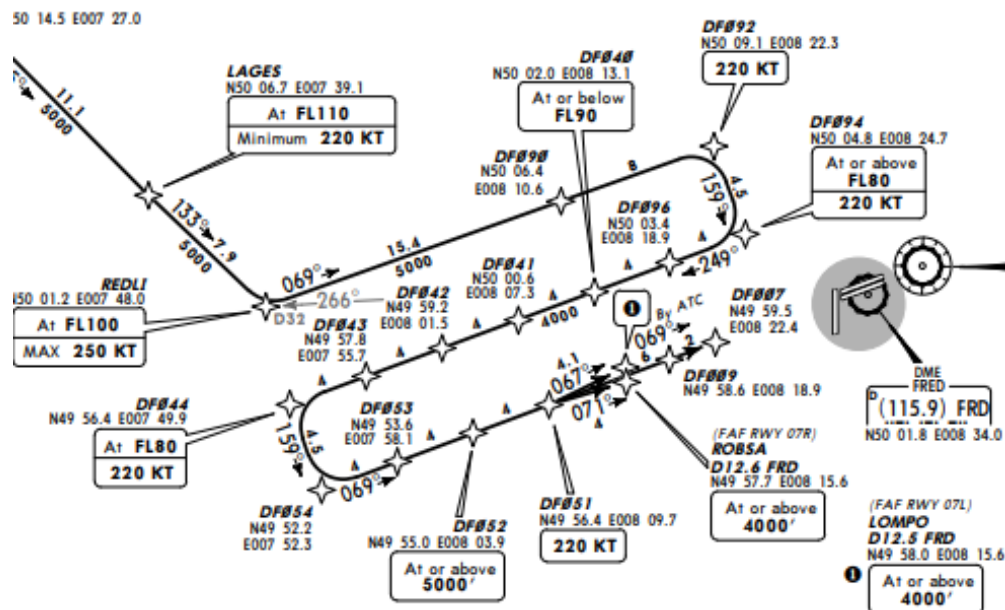


Рисунок 8 – «Тромбон», Франкфурт

6. Выбор схемы прибытия RNAV для аэродрома «Минск-2»

Точечное слияние сейчас работает в 28 местах на 4 континентах, и этот список продолжает расти. Поэтому мы решили попробовать внедрить один из этих методов и в воздушное пространство Республики Беларусь.

Большое количество ограничений при планировании внедрения любой из процедур прибытия, с использованием «тромбон» или «point merge», не имеет значения, налагается особенностями взятой структуры ТМА. Естественно, масштабируемость и богатство геометрических вариаций каждой из них предоставляют возможность приспособить схемы практически в любых условиях, но тем не менее итоговое количество и характер таких ограничений может ясно определить целесообразность того или иного метода упорядочения. основополагающие характеристики ТМА при оценке пригодности представляются в виде [1]:

- количества входящих потоков, определяется точками ПОД;
- количества используемых ВПП;
- режима использования ВПП;
- имеющегося в распоряжении воздушного пространства;
- сложностью разделения прибывающих и вылетающих потоков;
- для point merge особую роль играет эшелон перехода.

В текущей структуре воздушного пространства Минского ТМА заходы на

посадку осуществляются с использованием стандартных маршрутов прибытия (STAR) незамкнутого типа, для их эксплуатации установлено 14 точек, от которых они и прокладываются. Для посадки применяются 2 направления ВПП - 13/31, I и II категории соответственно. Расстояния от ПОД до КТА в текущей структуре ВП ТМА соответствуют значениям в диапазоне от 33.3 до 46.1 м.м. IAF размещены на расстоянии 16 м.м. и высоте 4000 ft. Точные размеры ТМА и данные об используемых схемах STAR проиллюстрированы в приложениях А, Б, В. Значение эшелона перехода является динамичным и изменяется в зависимости от давления на территории Республики Беларусь, эшелон перехода, равный:

f180 (2450 м) - при минимальном давлении на территории Республики Беларусь, приведенном к среднему уровню моря по стандартной атмосфере, от 977,2 гПа (733 мм рт ст) до 1013,2 гПа (760 мм рт ст);

f190 (2750 м) - при минимальном давлении на территории Республики Беларусь, приведенном к среднему уровню моря по стандартной атмосфере ниже 977,2 гПа (733 мм рт ст).

высота перехода равна 6000 футов (1850 м).

Для осуществления упорядочения прибывающих ВС в Республике Беларусь на данный момент как основной способ применяется векторение. Также, в наиболее оптимальных местах, с учетом опасных и запретных зон, располагаются зоны ожидания, которые позволяют задерживать потоки ВС, тем самым увеличивая пропускную способность. Однако в условиях непрерывно растущего спроса на ОВД и стремления соответствовать современным международным стандартам была четко обозначена необходимость модернизации организации воздушного пространства. В рамках реализации концепции PBN в Республике Беларусь, такой шаг было решено произвести за счет внедрения новых схем прибытия на основе RNAV. В следствие чего была разработана и просчитана схема прибытия «тромбон» (Приложение Г, Д).

Как можно видеть, данная схема, хоть еще и не введена в структуру Минского ТМА, отлично вписывается в ее рамки и, исходя из расчетов, обладает достаточными преимуществами по отношению к существующей системе регулирования прибывающего потока. Во-первых, процессы прибытия в районе подхода станут более автоматизированными и безопасными, так как экипаж заведомо владеет траекторией для подхода к району аэродрома. Во-вторых, данная схема поместилась в структуру ТМА, не пересекаясь с опасными зонами, которые значительно влияют на выбор схемы прибытия. Также стоит отметить, что данная схема дополнена зонами ожидания, которые

при большой интенсивности воздушного движения помогут отрегулировать поток, тем самым как бы удлиняя «тромбон», что, в свою очередь, имеет важное значение в создании оптимальных интервалов между ВС.

Также для оценочного построения была выбрана не полностью разобшенная конфигурация схемы PMS с двумя участками упорядочения (в качестве основы использовалась переработанная структура TMA). Длину сегментов, в количестве 3-4 WP, взяли 5,5 м.м. для обоих курсов ВПП. Продольное расстояние между участками равно 2м.м. Для обеспечения беспрепятственного снижения, эшелон FL90 был выделен внутреннему, а FL80 внешнему участку упорядочения. Точку слияния разместили на удалении 16-18 м.м., отделение от IAF 4 м.м.

Конфигурация с частичным перекрытием была выбрана как наиболее безопасный вариант, смягчающий последствия возможных выходов за пределы участков упорядочения, а также расширяющий пространство внутри сектора для компенсации ошибок, эффективного эшелонирования и возможного векторения. Недалеко от точек входа обоих участков расположили зоны ожидания для запитки схемы отрегулированными потоками и в то же время обеспечения ВС, не способных выполнить слияние после прохождения последней точки схемы, очередным шансом произвести заход на посадку. Для этого были установлены одинаковые направления разворота в зонах ожидания. Предполагаемая скорость на участках упорядочения и при слиянии равна 220 узлов.

В случае направления посадки 31 (Приложение Е), вероятно более оптимальным решением было бы полностью разделить участки, т.е. сместить внешний FL70 ближе к западным ПОД и создать кратчайшие траектории, однако опасная зона UMD196 исключает такую вариацию и в то же время не позволяет разместить участки упорядочения ближе к точке слияния.

Следовательно, траектории получаются слишком протяженными и даже выполнение большей части полета на высоких эшелонах не позволяет это компенсировать. Отсутствие UMD196 могло бы заметно повысить эффективность «PMS» для взятого курса ВПП. Для предварительного регулирования прибывающих ВС на границе TMA, как и в случае с «тромбон», разместили зоны ожидания у всевозможных ПОД. Благодаря такому решению, задача диспетчера подхода значительно упрощается как во время высокой интенсивности воздушного движения, так и в противоположных условиях, когда необходимо обеспечить безопасные интервалы эшелонирования для проведения «спрямлений».

В то время, как встраивание схемы с частичным перекрытием для курса 31 проходит довольно просто, при попытке применить такую же конфигурацию для направления ВПП 13 возникают определенные сложности (Приложение Ж). Выбор ориентации и конфигураций схемы PMS для данного направления сильно ограничивается UMD187. При установлении восточного участка упорядочения выше опасной зоны, её обход излишне удлиняет и ухудшает южные маршруты прибытия. Помимо этого, все усугубляется разветвлениями маршрутов SID в предполагаемой «зоне облета», что вынуждает регулировать потоки в зоне ожидания либо выверено назначать лимит на набор высоты для безопасного расхождения с прибывающими потоками. Ситуация вряд ли может быть улучшена переустройством маршрутов вылета под «PMS» из-за большого количества разнесенных ПОД. Поэтому, не учитывая конфигурацию с полным перекрытием (Приложение И), единственным разумным вариантом остается размещение восточного участка упорядочения внутри схемы (Приложение К). Это не основательно меняет положение, но дает возможность выстроить относительно комфортные и безопасные маршруты прибытия. Учитывая расстояние и допустимые поступательные/вертикальные скорости, прямое снижение с LENOK и EXT07 остается возможным только с предварительным снижением в зонах ожидания. Вдобавок, при любой конфигурации зон ожидания на входах в участки упорядочения их использование годится только для запитки схемы.

Подводя итог, мы полагаем, что определенно на сегодняшний день есть существенные неудобства, которые не позволяют реализовать систему «point merge»:

- низкое расположение эшелона перехода;
- запретные и опасные зоны (UMD 196, UMD 187);
- маршруты вылета для ВПП 13;
- большое количество разрозненных потоков;

на сегодняшний день недостаточная интенсивность движения для оправдания столь длинных траекторий прибытия (незначительный недостаток при интеграции с прежними STAR).

Оценивая доступные вариации «PMS» можно сказать, что их сообразность представляется весьма низкой в сравнении со схемой «тромбон», где встраивание очередности проходит ближе к IAF и не конфликтует с вышеупомянутыми факторами. Выполнить похожую подстройку помогло бы сжатие схемы «point merge», но это прямо отражается на характеристиках данного способа упорядочения и полностью лишает его

конкурентоспособности, а в случае с курсом ВПП 31 вообще невозможно.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе исследования были проанализированы существующие способы упорядочения потоков воздушного движения и изучены такие методы формирования очередности прибывающих потоков ВД как «point merge», «тромбон», как наиболее подходящие варианты оптимизации процессов обслуживания прибывающих ВС в условиях высокой интенсивности воздушного движения для района аэродрома «Минск-2».

Опираясь на представленную информацию, стоит сделать вывод, что для ВП Минского аэроузла на данный момент реализация «PMS», несмотря на ее существенные достоинства, является менее целесообразной. В основном, слабости схемы проявляются из-за геометрических параметров и особенностей структуры ТМА, связанных с опасными зонами, а также большого количества разрозненных потоков воздушного движения, что для оптимизации траекторий прибытия и профилей снижения требует упорядочения вблизи аэродрома. Применение «point merge» в таких условиях возможно, и, несомненно, способно привести к некоей систематизации и упрощению процесса создания очередности, однако длинные и вместе с тем непривычные траектории делают маршруты прибытия хоть и безопасными по отношению к векторению, но менее удобными и топливно эффективными в сравнении с «тромбон».

Требуется отметить, что, несмотря на первоначальную склонность к определению «point merge» в качестве лучшего способа упорядочения, необходимо признать схему «тромбон» более подходящей модификацией существующего процесса прибытия. Но, тем не менее, на выборе данного варианта оптимизации упорядочения прибывающих потоков ВД не нужно останавливаться, и для установления многоуровневой системы упорядочения стоит уделить особое внимание автоматизации, а точнее, её инструментарию. На сегодняшний день инструменты планирования очереди и дозирования в виде AMAN/DMAN или же менеджеры прилета/вылета рассматриваются как перспективные средства поддержки и принятия решения, предположительно, их внедрение способно улучшить любой применяемый способ упорядочения прибывающих ВС.

Из всего вышесказанного можно сделать вывод, что необходимость оптимизации способов упорядочения прибывающих потоков ВД очевидна и в текущих условиях загруженности и структуре ВП наиболее эффективным

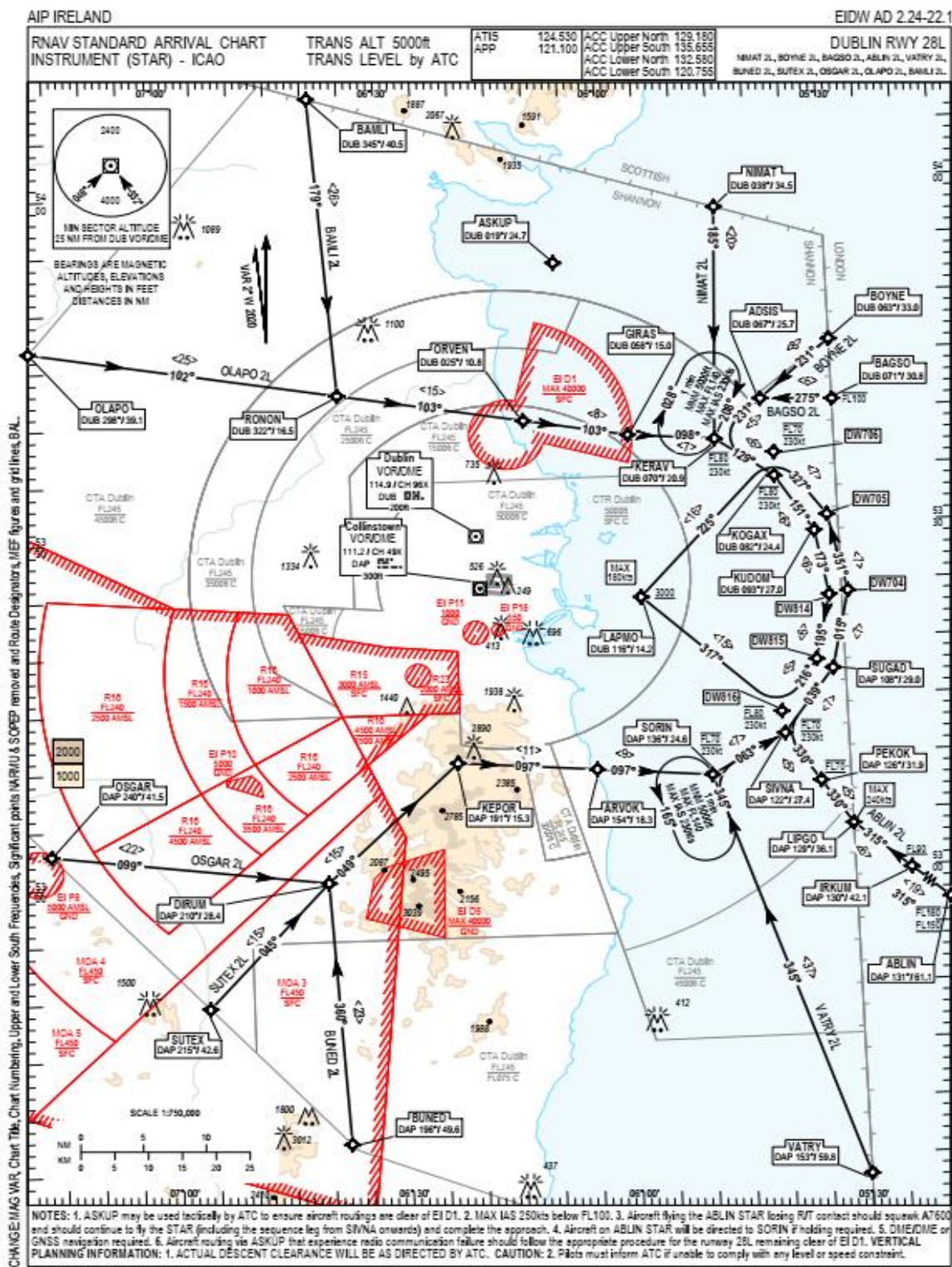
решением, удовлетворяющим такую потребность, будет являться внедрение схемы «тромбон», которая, несмотря на фундаментальные характеристики, уступающие «point merge», лучше подходит для использования в районе аэродрома «Минск-2» и может быть эффективно дополнена инструментами автоматизации AMAN/DMAN, помогающими как в управлении, так и в организации потоков воздушного движения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Барабан, И.И. Воздушное движение в районе аэродрома Национального аэропорта Минск: учеб. пособие/ И.И. Барабан. – Минск: Palarium Academic Publishing, 2019. – 81 с.
2. Point Merge Integration of Arrival Flows Enabling Extensive RNAV Application and Continuous Descent – Operational Services and Environment Definition [Electronic resource] / Eurocontrol Experimental Centre. – Mode of access: <https://www.eurocontrol.int/point-merge-osed-v2.0-2010.pdf>. – Date of access: 14.06.2018.
3. Лебедев, Г.Н., Малыгин, В.Б. Способ упорядочения потока воздушных судов по типу «Тромбон» с обратным расположением полезной зоны маневрирования/ Г.Н Лебедев, В.Б. Малыгин // Научный вестник МГТУ ГА. – 2015. – № 221. – С. 144 – 145.
4. Об утверждении авиационных правил «Организация воздушного движения»: Постановление Мин. транспорта и коммуникаций Респ. Беларусь, 12 июня 2009 г., №56 // Эталон – Беларусь [Электронный ресурс] / Нац. Центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2017.

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ А



ПРИЛОЖЕНИЕ Б

AIP IRELAND

EIDW AD 2.24-23.5

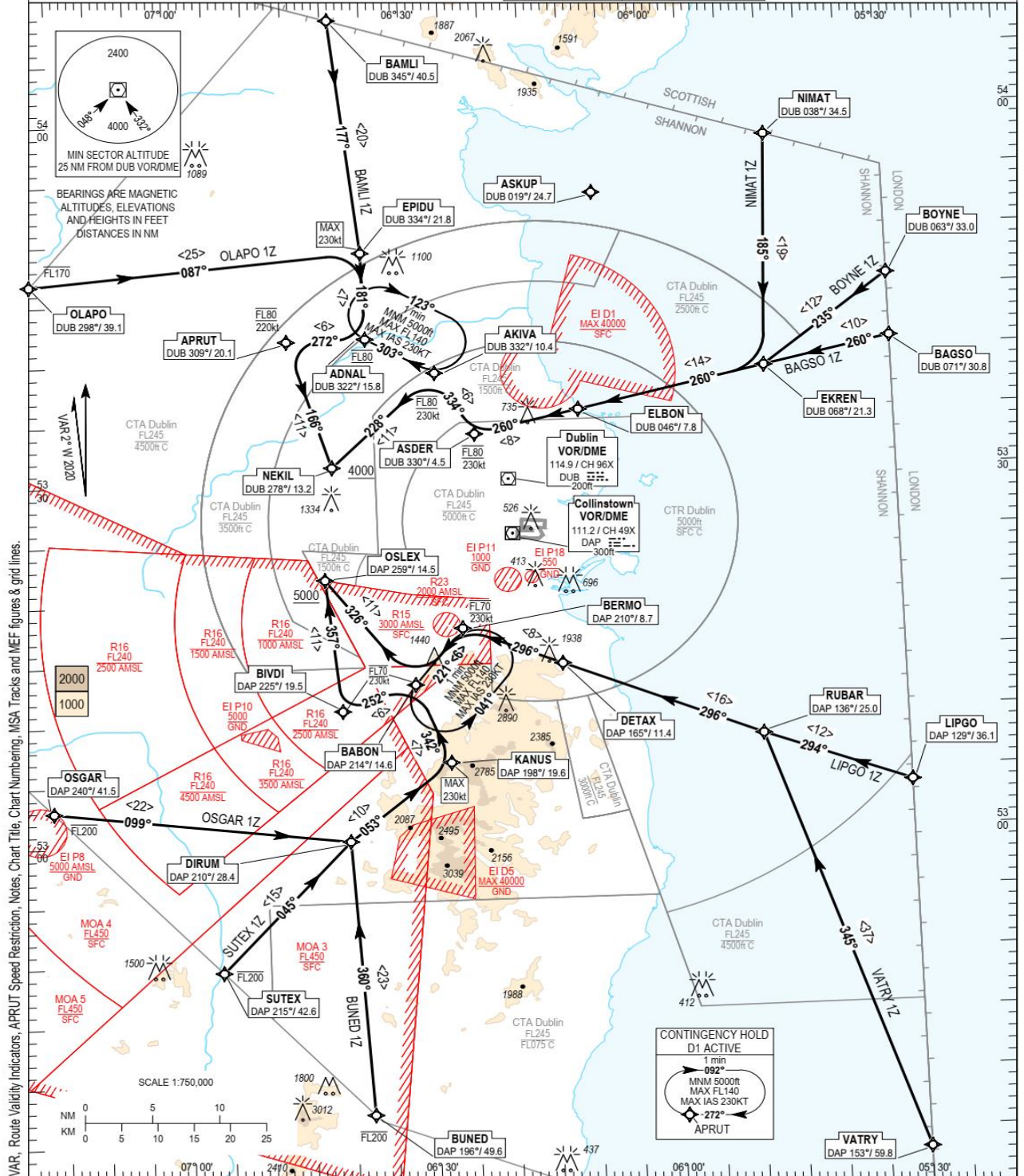
RNAV STANDARD ARRIVAL CHART
INSTRUMENT (STAR) - ICAO

TRANS ALT 5000ft
TRANS LEVEL by ATC

ATIS	124.530	ACC Upper North	129.180
APP	121.100	ACC Upper South	135.655
		ACC Lower North	132.580
		ACC Lower South	120.755

DUBLIN RWY 10R

NIMAT 1Z, BOYNE 1Z, BAGSO 1Z, LIPGO 1Z, VATRY 1Z,
BUNED 1Z, SUTEX 1Z, OSGAR 1Z, OLAPO 1Z, BAMLI 1Z



NOTES: 1. ASKUP may be used tactically by ATC to ensure aircraft routings are clear of EI D1. 2. MAX IAS 250kts below FL100. 3. DME/DME or GNSS navigation required.
4. Aircraft routing via ASKUP that experience radio communication failure should follow the appropriate procedure for the runway 10R remaining clear of EI D1.
VERTICAL PLANNING INFORMATION: 1. ACTUAL DESCENT CLEARANCE WILL BE AS DIRECTED BY ATC.
CAUTION: 2. Pilots must inform ATC if unable to comply with any level or speed constraint.

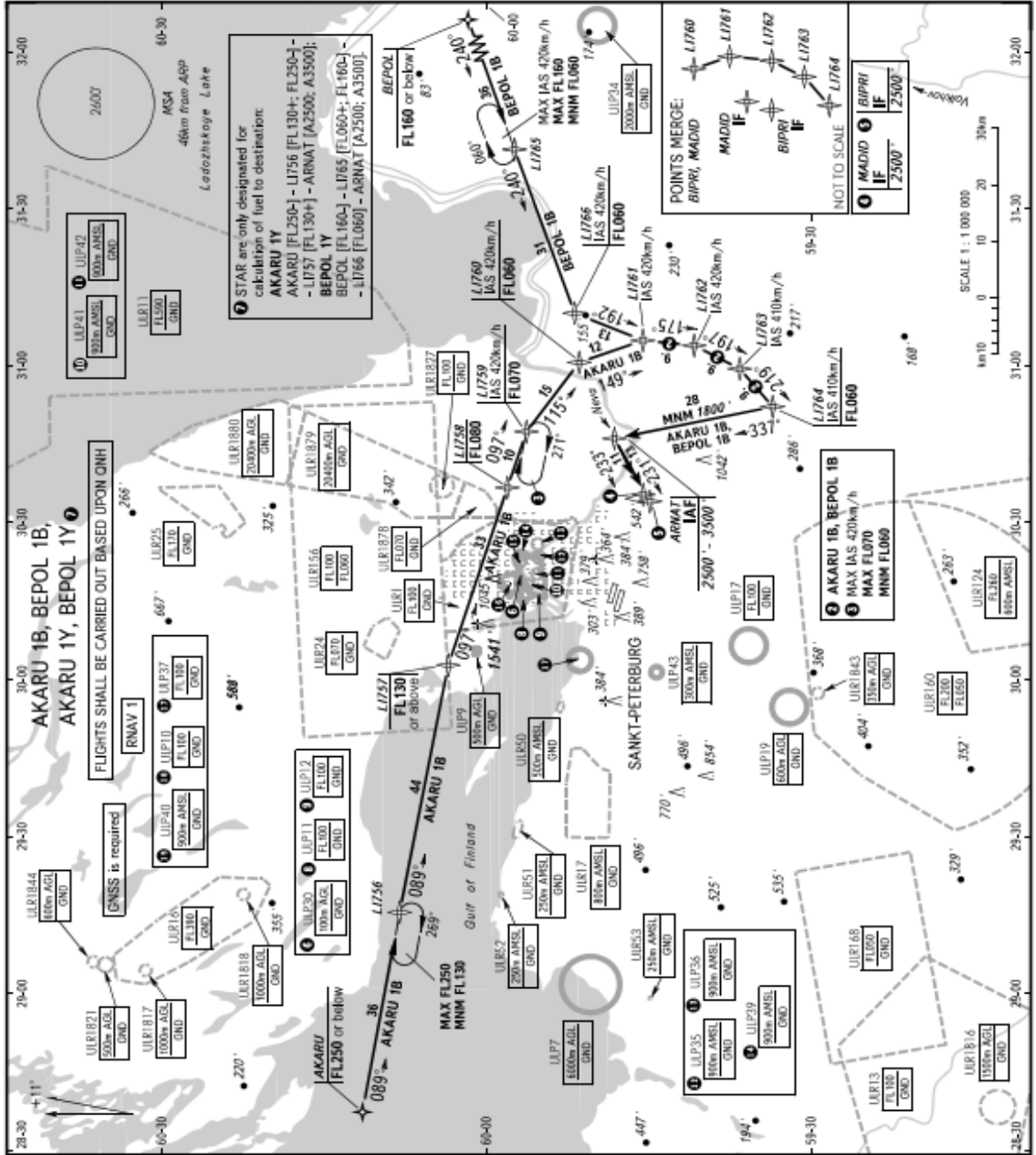
AERONAUTICAL INFORMATION 05 NOV 2020

IRISH AVIATION AUTHORITY

STANDARD ARRIVAL CHART
INSTRUMENT (STAR) - ICAO

TRANSITION
LEVEL: **1**

SANKT-PETERBURG, RUSSIA
PULKOVO
RNAV (GNSS) RWY 28L, 28R



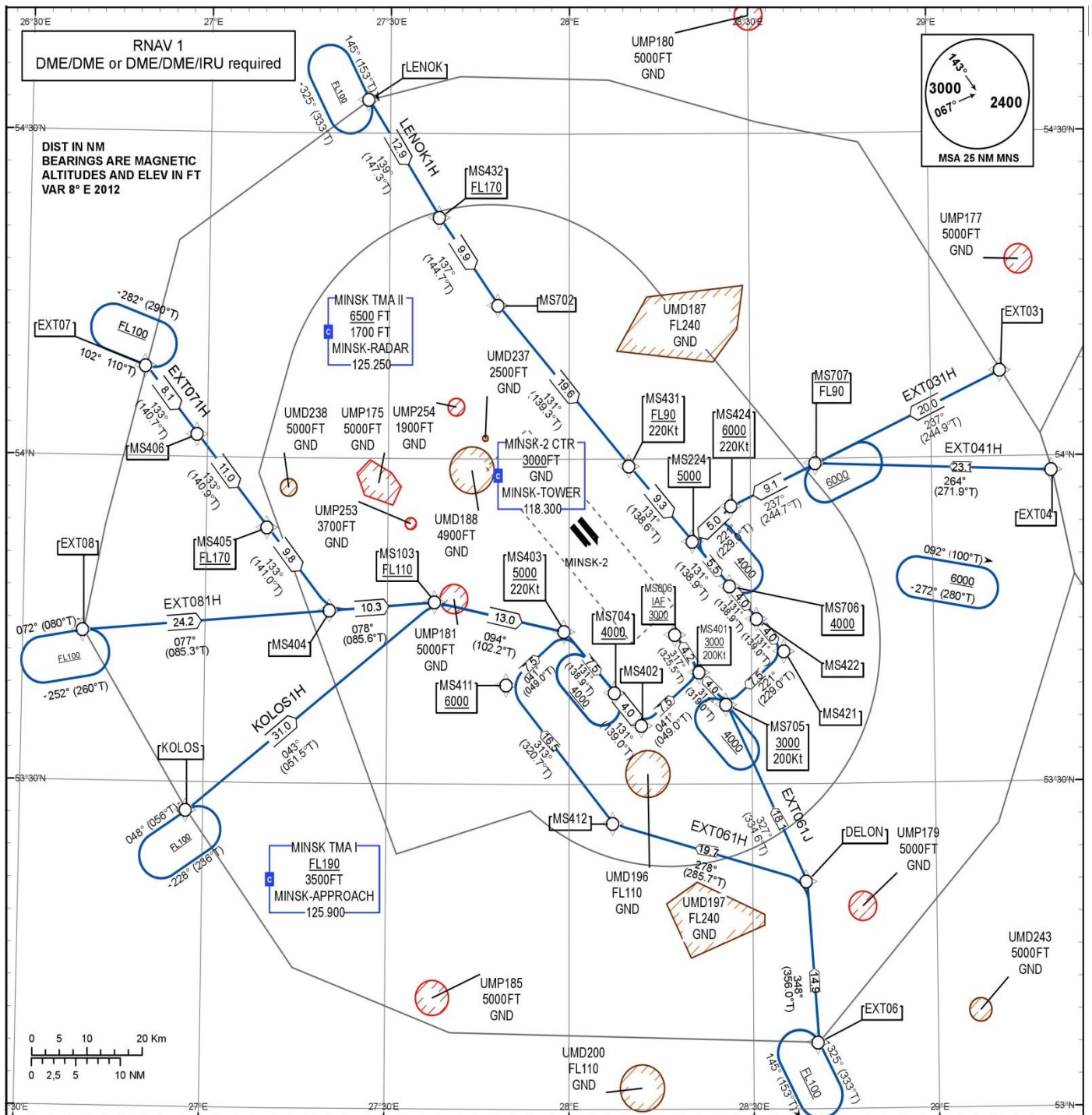
APPROACH	Sector 000°-180°	0600-1600	119,300
	Sector 180°-360°	0600-1600	125,200
	Sector 000°-360°	1600-0600	119,300
KRUG TOWER	RWY 28R		120,300
TOWER	RWY 28L		118,100
TOWER	RWY 28L		118,700

1 TRANSITION LEVEL:
 - FL050 when QNH is 747mm mercury column or above;
 - FL060 when QNH is less than 747mm mercury column and is 720mm mercury column or above;
 - FL070 when QNH is less than 720mm mercury column.

WARNING:
 1. Descent shall be carried out only by ATS unit instruction.
 2. The flight crews shall advise ATS unit if unable to adhere to altitude (flight level) or speed restrictions.

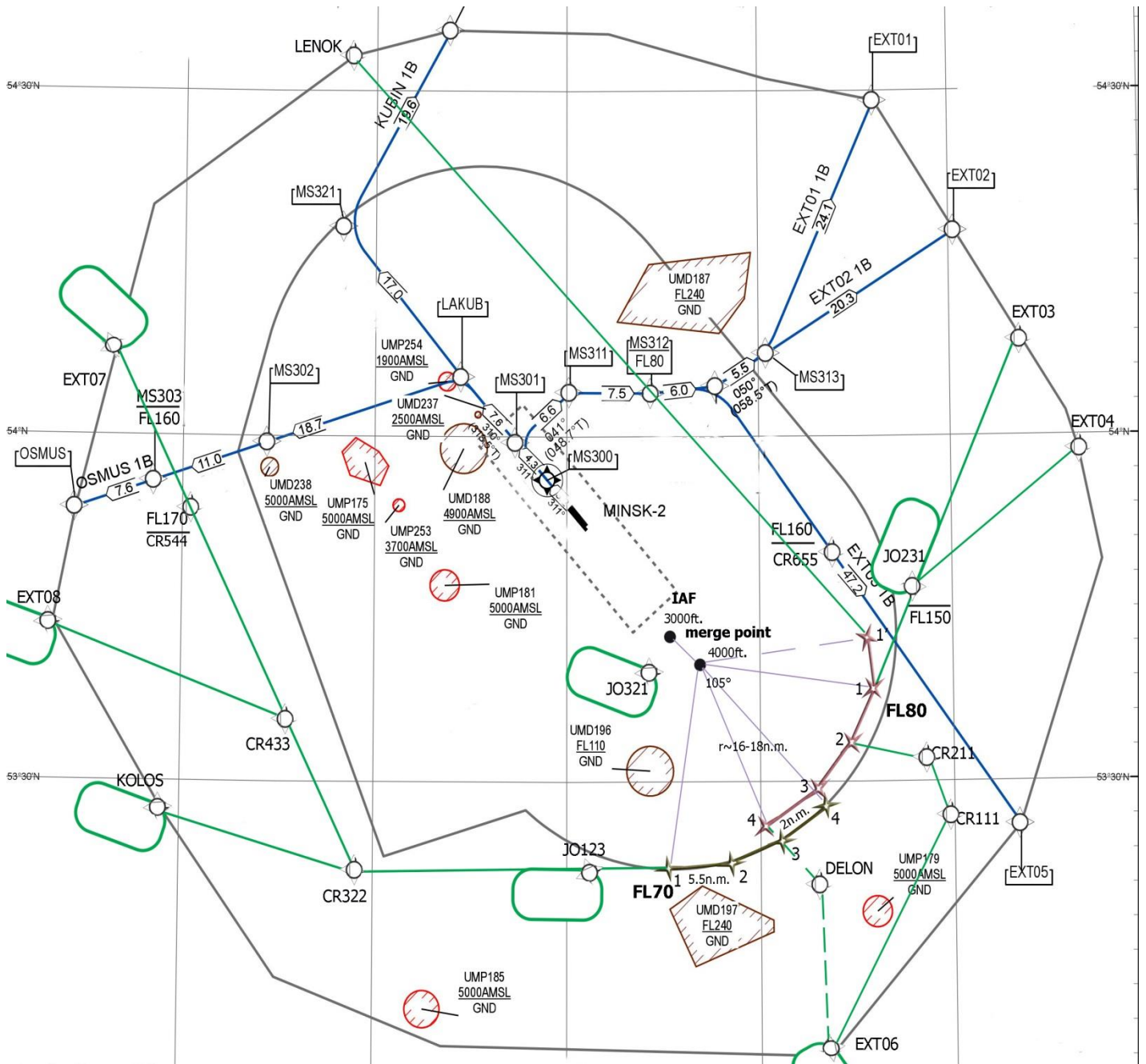
BEARINGS AND TRACKS ARE MAGNETIC
 ALTITUDES AND ELEVATIONS ARE IN FEET
 DISTANCES ARE IN KILOMETRES

ПРИЛОЖЕНИЕ Г



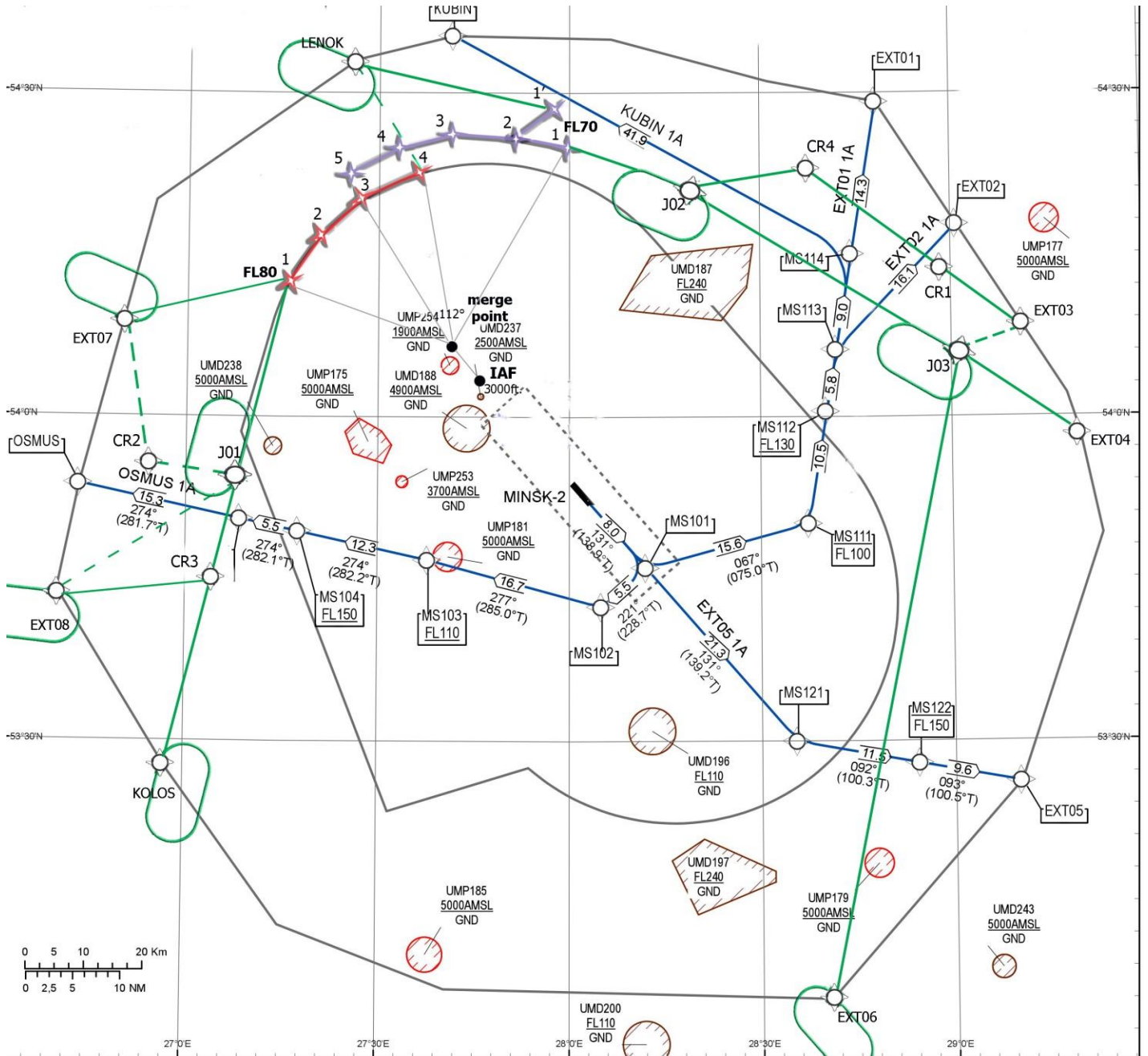
ПРИЛОЖЕНИЕ Е

- — маршруты вылета
- — маршруты прибытия



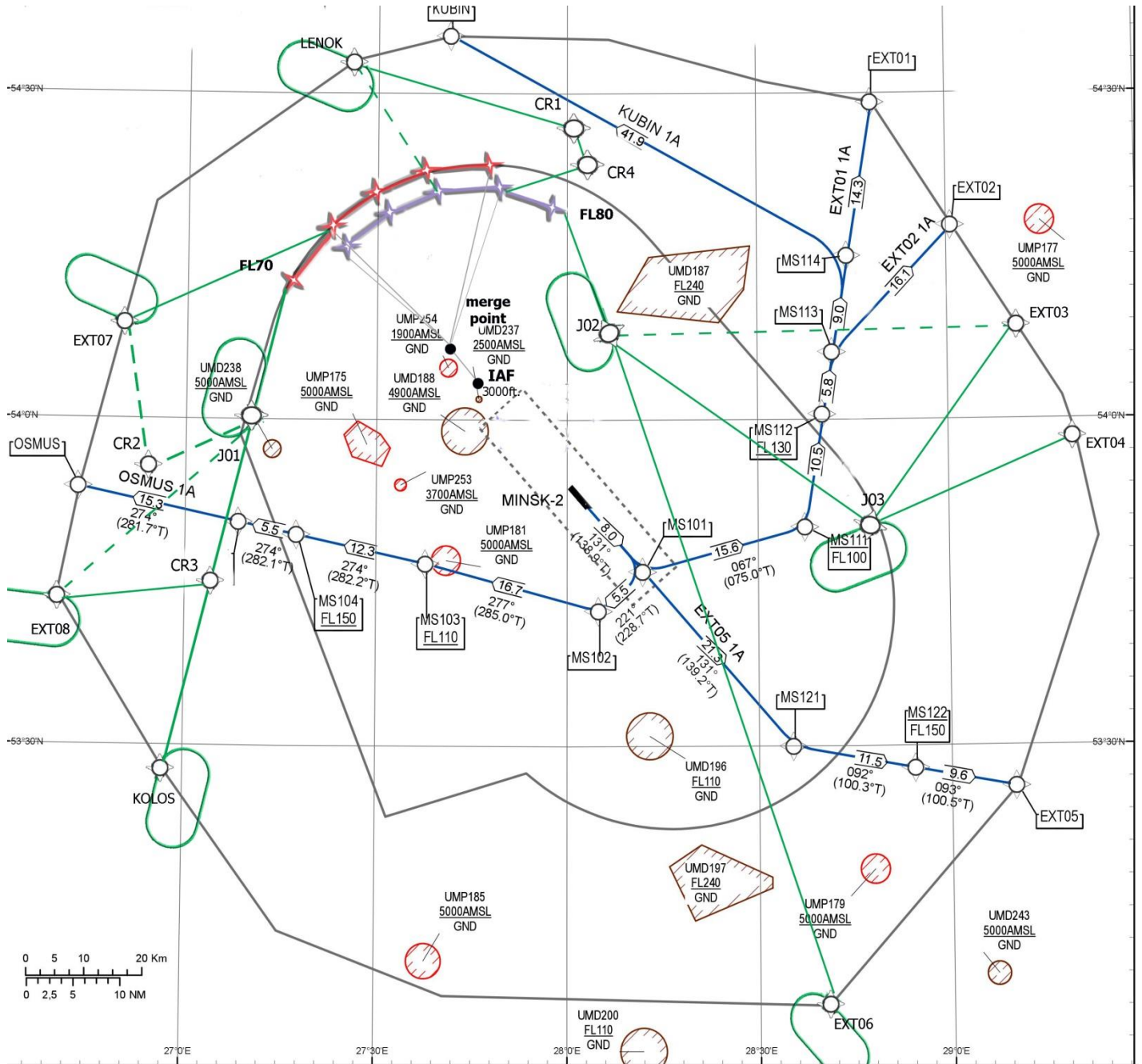
ПРИЛОЖЕНИЕ Ж

- — маршруты вылета
- — маршруты прибытия



ПРИЛОЖЕНИЕ И

- — маршруты вылета
- — маршруты прибытия



ПРИЛОЖЕНИЕ К

- — маршруты вылета
- — маршруты прибытия

