# Имитационное моделирование системы организации воздушного движения

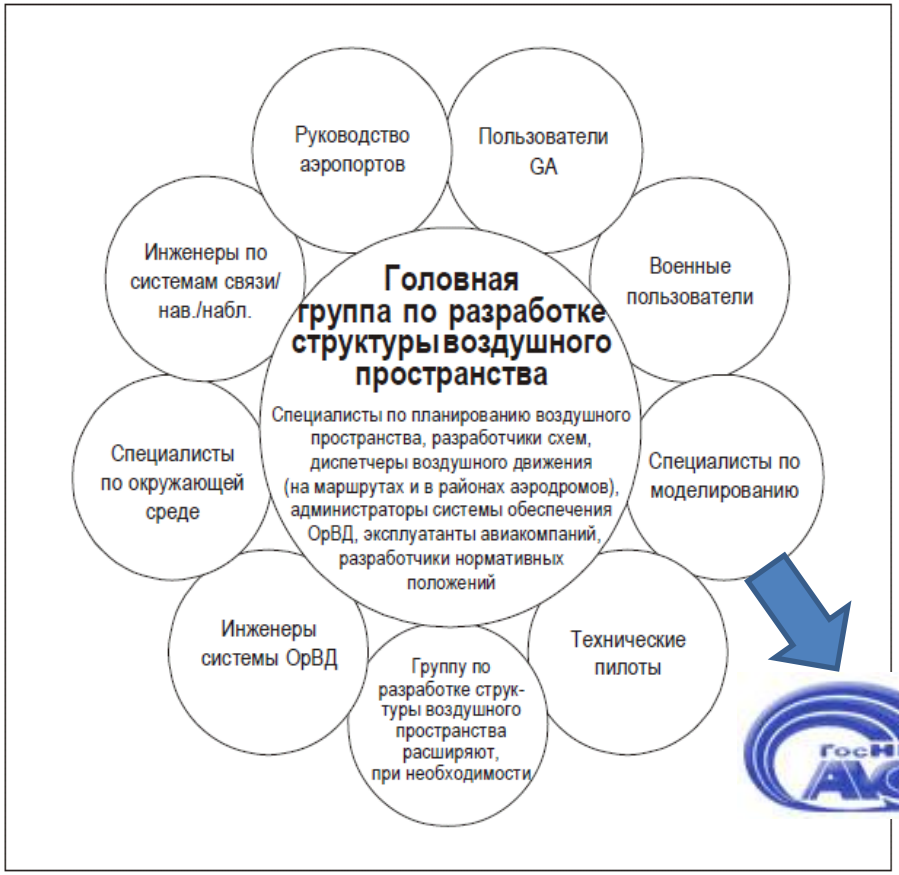
Д.т.н., профессор Л.В. Вишнякова
В.Ю Сикачев
Докладчик: А.С. Попов

СЕДЬМАЯ ВСЕРОССИЙСКАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
ПО ИМИТАЦИОННОМУ МОДЕЛИРОВАНИЮ
И ЕГО ПРИМЕНЕНИЮ В НАУКЕ И ПРОМЫШЛЕННОСТИ
«ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ. ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА»(ИММОД-2015)

# Содержание доклада

- Системы ОрВД - роль имитационного моделирования
- Рекомендации ИКАО и зарубежный опыт
- Структура комплекса
- Возможности КИМ ОрВД
- Моделирование процессов системы ОрВД заданной степени подробности:
- Показатели
- Визуализация процесса моделирования
- Исходные данные
- Параметры моделирования
- Опыт проведенных исследований
- Пример проведения исследований

# Система ОрВД – роль имитационного моделирования




**Преимущества ускоренного моделирования**:

•Один из наиболее часто используемых методов оценки пропускной способности секторов

•Большая гибкость применения

•Простота оценки большого количества примеров сценариев

•Возможность использования реальных параметров ВД и внешних условий

**Недостатки ускоренного моделирования:**

•Упрощенная модель «реальных» полетов

•Ограниченный диапазон характеристик

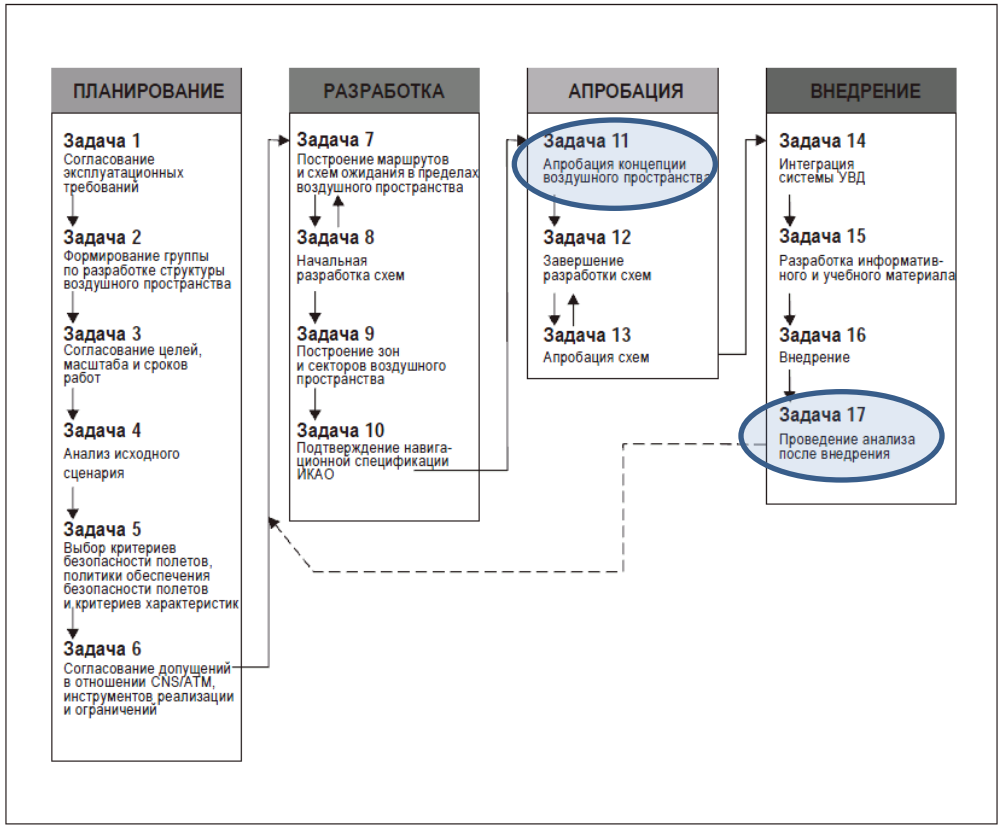
•ВС и упрощенное поведение ВС

•Упрощенное представление метеорологических условий

•Трудности с привлечением пользователей

* Doc 9992 AN/494 Руководство по использованию навигации, основанной на характеристиках (PBN), при построении воздушного пространства

# Рекомендации ИКАО




**Апробация при внедрении новых концепций:**

- моделирование воздушного пространства
- **моделирование в ускоренном масштабе времени (FTS)**
- моделирование в реальном масштабе времени (RTS)
- реальные испытания УВД
- моделирование полетов
- аналитические инструменты оценки данных
- статистический анализ
- моделирование риска столкновения
- моделирование шума

* Doc 9992 AN/494 Руководство по использованию навигации, основанной на характеристиках (PBN), при построении воздушного пространства

# Зарубежный опыт

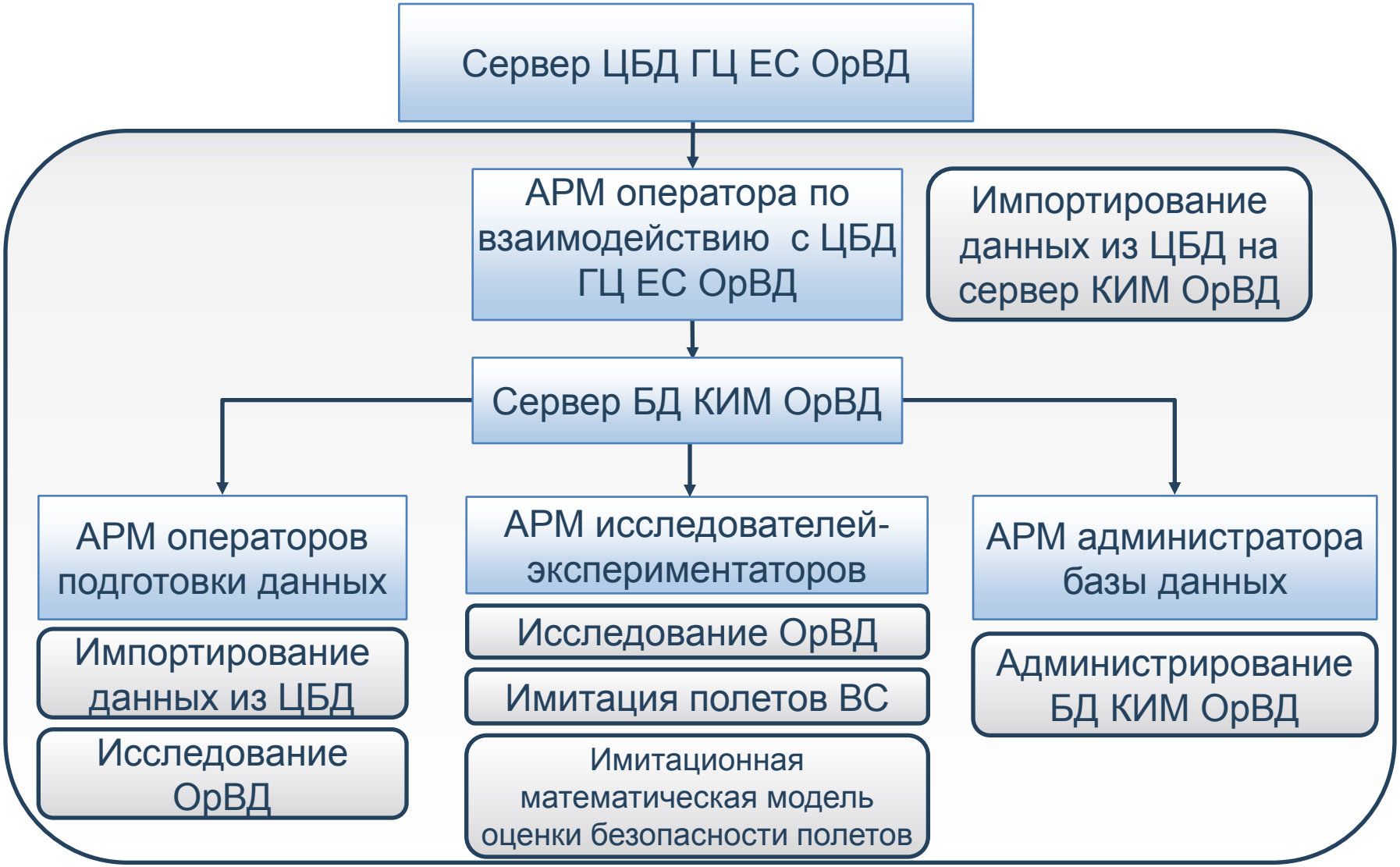
| Система моделирования | Фирма | Страна |
|---|---|---|
| AirTop | AirTop Soft S.A. | Бельгия |
| AwSim | Aerospace Engineering and Research Associates, Inc. | США |
| FACET | NASA Ames | США |
| HERMES | CAA/NATS | Великобритания |
| NARIM | CSSI Inc. | США |
| NASPAC | FAA | США |
| National Flow Model | Boeing | США |
| OPAS | DSNA | Франция |
| OPGEN | | |
| RAMS | EEC | Франция |
| Regional Traffic Model | Boeing | США |
| SDAT | FAA | США |
| SIMMOD | FAA | США |
| SIMMOD PRO | FAA | США |
| SIMMOD PLUS | FAA | США |
| TAAM | Preston Aviation DSF | Австралия - Германия |
| TARGETS | CSSI Inc. | США |
| SAAM | EUROCONTROL | |
| NEVAC | EUROCONTROL | - |

# Инструмент для проведения исследований

Комплекс Имитационного Моделирования системы Организации Воздушного Движения (КИМ ОрВД):

- ускоренное моделирование всего цикла процессов организации воздушного движения
- имитация полетов воздушных судов от ВПП до ВПП на маршруте и в терминальной зоне аэродрома
- использование как импортируемых, так и сформированных пользователем исходных данных

# Структура Комплекса Имитационного Моделирования системы ОрВД



# Функциональные возможности комплекса

- Моделирование фактических и плановых полетов за любые сутки на маршрутах ОВД, маршрутах вылета, прилета, захода на посадку, зонах ожидания
- Расчет показателей в интересах эксплуатантов, пользователей ВП, провайдеров аэронавигационных услуг, в том числе по трековым данным
- Оценка задержек по времени на прилете и вылете в аэропорт (аэроузел)
- Построение оптимальных 4D маршрутов по критериям времени, протяженности маршрута, расхода топлива
- Оптимальное деление воздушного пространства районного центра на сектора диспетчерского управления

# Функциональные возможности комплекса (2)

- Расчет норматива пропускной способности сектора и временной загруженности диспетчера
- 2D и 3D визуализация результатов имитационного моделирования
- Использование стандартов по входным данным  ARINC
- Использование данных BADA по ЛТХ ВС
- Построение бесконфликтной очереди на прилет и вылет (имитация работы AMAN и DMAN)
- Оценка показателей безопасности на основе расчета ПКС

# Функциональные возможности комплекса (3)

- **Имитация воздушного движения, управляемого диспетчером, включая наблюдение, анализ воздушной обстановки, выявление ПКС, принятие решений, выполняемых экипажами ВС**
- **Имитация факторов, влияющих на безопасность полетов**

**Ошибки и задержки человека**

- ошибки диспетчера при принятии решений
- ошибки экипажа при принятии решений
- задержки диспетчера в реакции на события
- задержки экипажа в реакции на события

**Погрешности, отказы и сбои технических систем**

**Погрешности:**

- навигации и самолетовождения ВС
- наземной системы наблюдения

**Отказы и сбои:**

- бортовых и наземных навигационных средств
- наземной системы наблюдения за ВС
- отказ и сбой системы связи
- полный отказ АС УВД

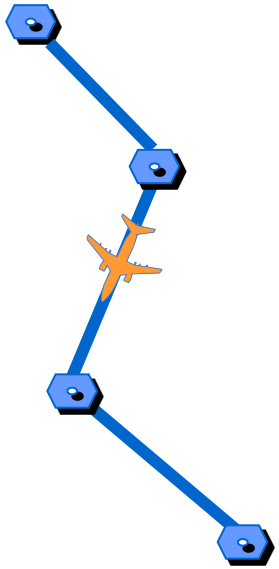
- **Выявление факторов, связанных с неприемлемыми рисками, при реорганизации системы ОВД**
- **Оценка влияния выявленных факторов на риски для безопасности полётов**
- **Разработка требований, выполнение которых должно обеспечить приемлемые уровни безопасности**

# Моделирование процессов системы ОрВД

- Модель внешней воздушной обстановки (ВВО)
- Имитационная модель автоматизированной системы управления воздушным движением (ИМ АС УВД)
- Модель диспетчерского управления (МДУ)
- Модель формирования случайных потоков

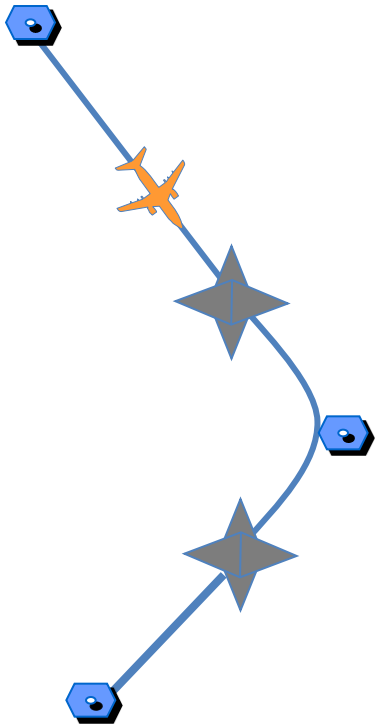
# Моделирование полета воздушного судна

Расчетное моделирование



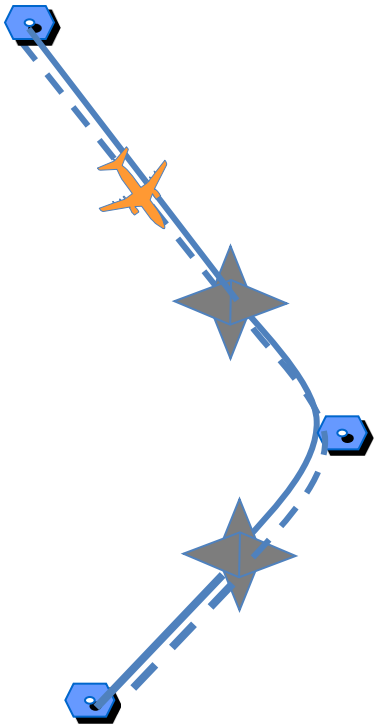
Движение материальной точки по участкам плана полета

Моделирование работы системы самолетовождения



Движение материальной точки по участкам плана полета со спрямлениями

Моделирование работы системы самолетовождения с учетом ошибок системы навигации



Движение материальной точки по рассчитанной траектории

# Моделирование работы системы АС УВД и действий диспетчера

## Моделирование работы АС УВД в целом

Особенности реализации:

»Имитируются операции по контролю и управлению потоком воздушных судов от взлета до посадки

»Не моделируется работа отдельных диспетчерских позиций и операции приема-передачи между ними

»Имитируются как основные операции человека-оператора, так и работа ПО АС УВД

## Моделирование работы ДП сектора

Особенности реализации:

»Имитируются операции по контролю и управлению потоком воздушных судов в заданном секторе

»Моделируется работа диспетчерской позиции (ДП) и операции приема-передачи между ДП и диспетчерами смежных секторов

»Моделируется операции приема-передачи между ДП и экипажами ВС

# Моделирование прогнозного потока ВД

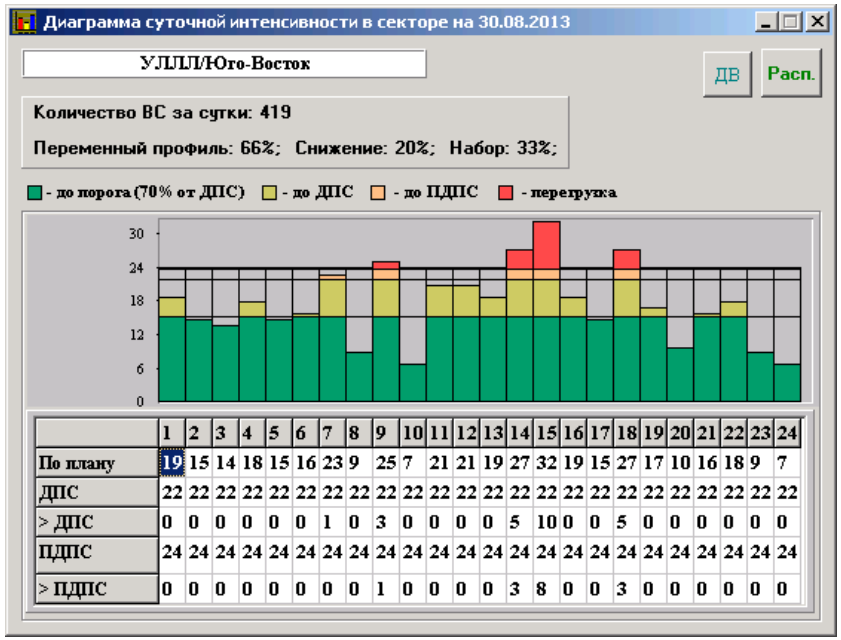
- Соответствие базовому потоку по статистическим характеристикам (интенсивность по направлениям, эшелонам полета, используемым типам ВС)
- Нестационарность потока в течении суток
- При увеличении интенсивности потока - соответствие пуассоновской модели
- Соблюдение норм продольного эшелонирования

# Показатели

- Анализ потоков ВД
- Эффективность для системы ОрВД
- Эффективность для пользователей ВП
- Анализ эксплуатационных характеристик маршрутной сети
- Безопасность
- Пропускная способность ВП
- Влияние ограничений ИВП
- Пропускная способность аэродромов и аэроузла в целом

# Анализ потоков ВД

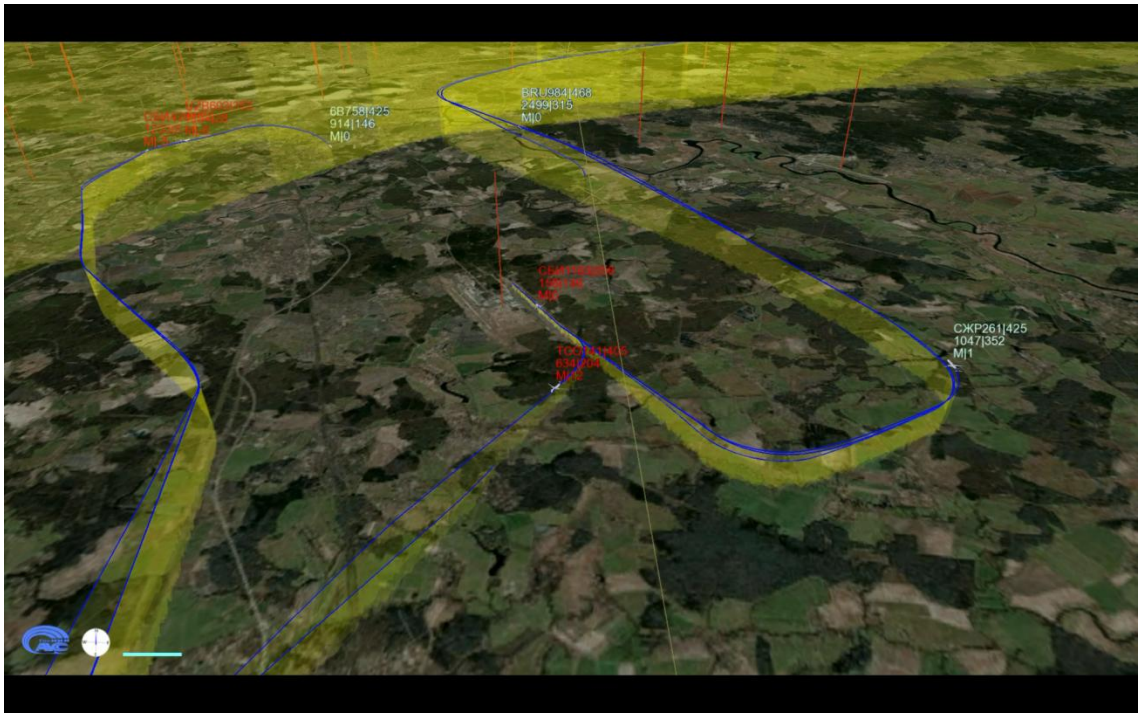
- Суточная интенсивность воздушного движения
- Почасовая интенсивность воздушного движения
- Распределение по группам направлений между АП вылета и прилета




| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| По плану | 19 | 15 | 14 | 18 | 15 | 16 | 23 | 9 | 25 | 7 | 21 | 21 | 19 | 27 | 32 | 19 | 15 | 27 | 17 | 10 | 16 | 18 | 9 | 7 |
| ДПС | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 |
| > ДПС | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 10 | 0 | 0 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ПДПС | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 |
| > ПДПС | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 8 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

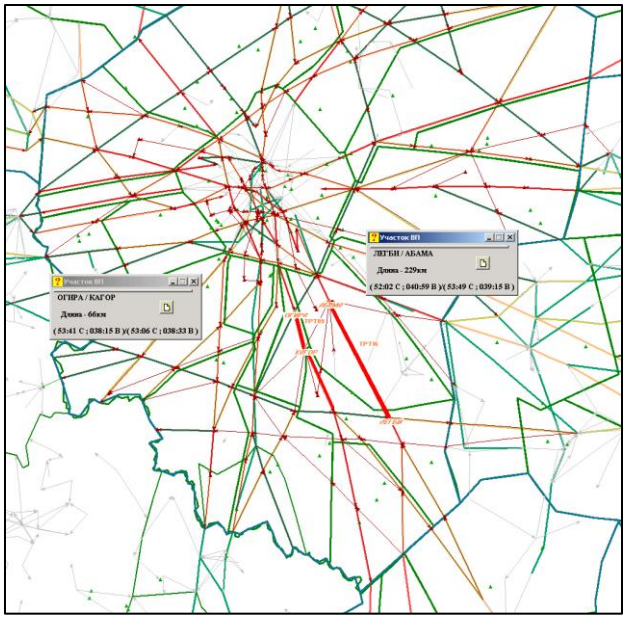
# Безопасность

- Количество потенциально конфликтных ситуаций
- Нарушение норм эшелонирования
- Опасные сближения
- Столкновения

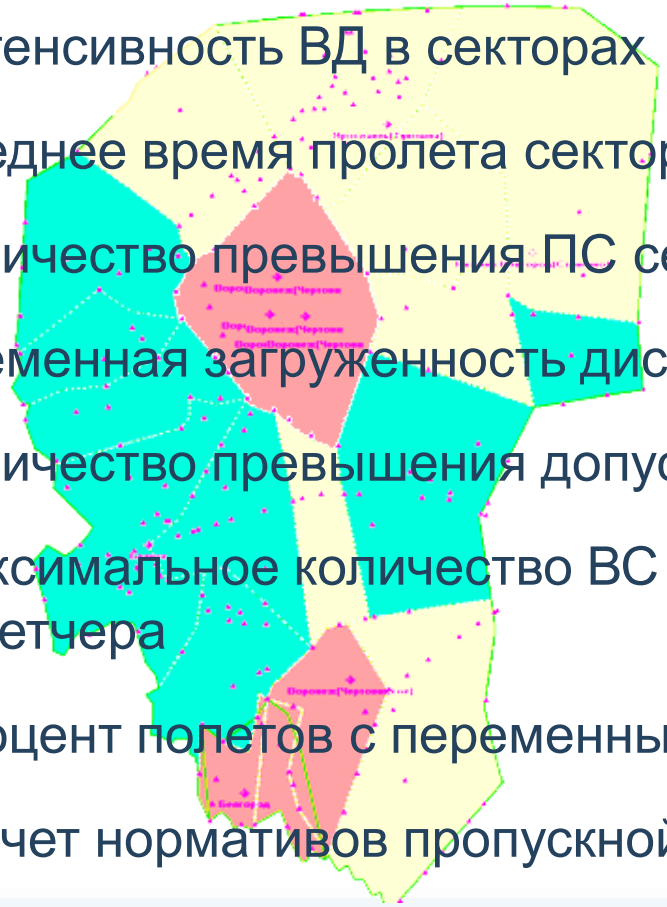


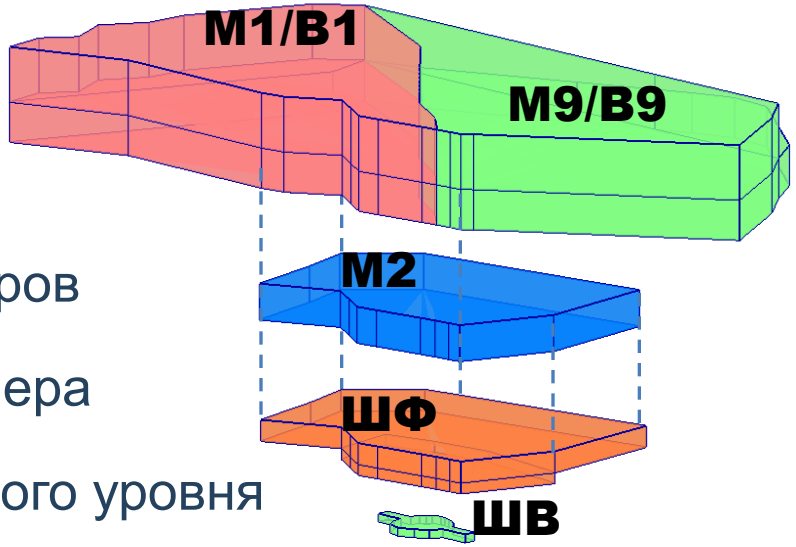
# Эффективность для системы ОрВД

- Максимальная часовая ИВД на участках ВТ и в точках ВП
- Количество ВС, одновременно находящихся в зоне ожидания
- Суточная загруженность трассовой структуры
- Распределение ВС по эшелонам
- Использование маршрутов вылета/прилета
- Использование зон ожидания



# Пропускная способность

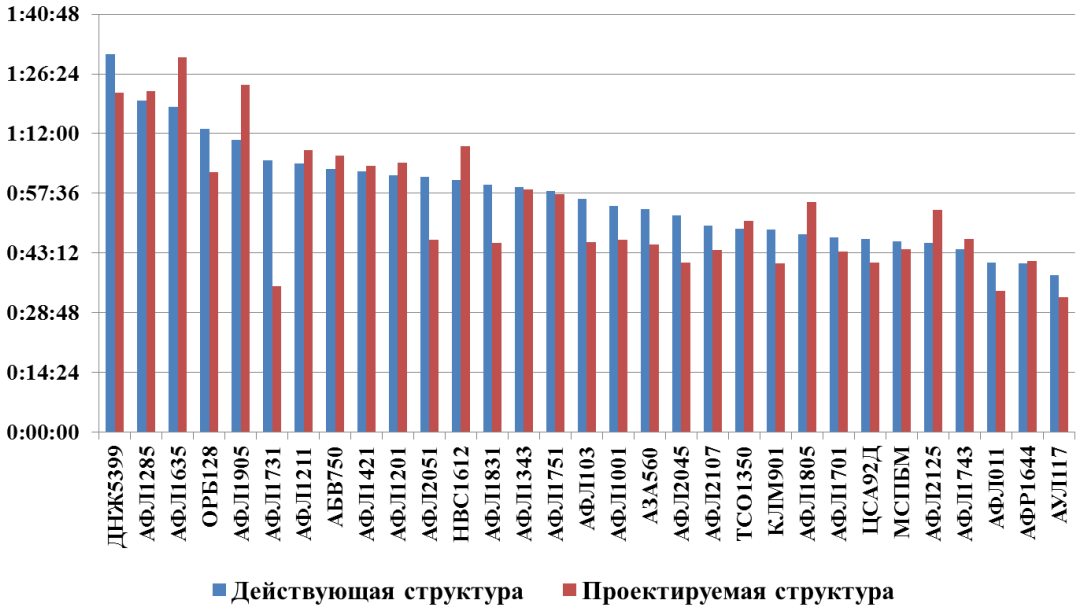





- Интенсивность ВД в секторах
- Среднее время пролета сектора
- Количество превышения ПС секторов
- Временная загруженность диспетчера
- Количество превышения допустимого уровня
- Максимальное количество ВС одновременно под управлением диспетчера
- Процент полетов с переменным профилем в секторе
- Расчет нормативов пропускной способности секторов

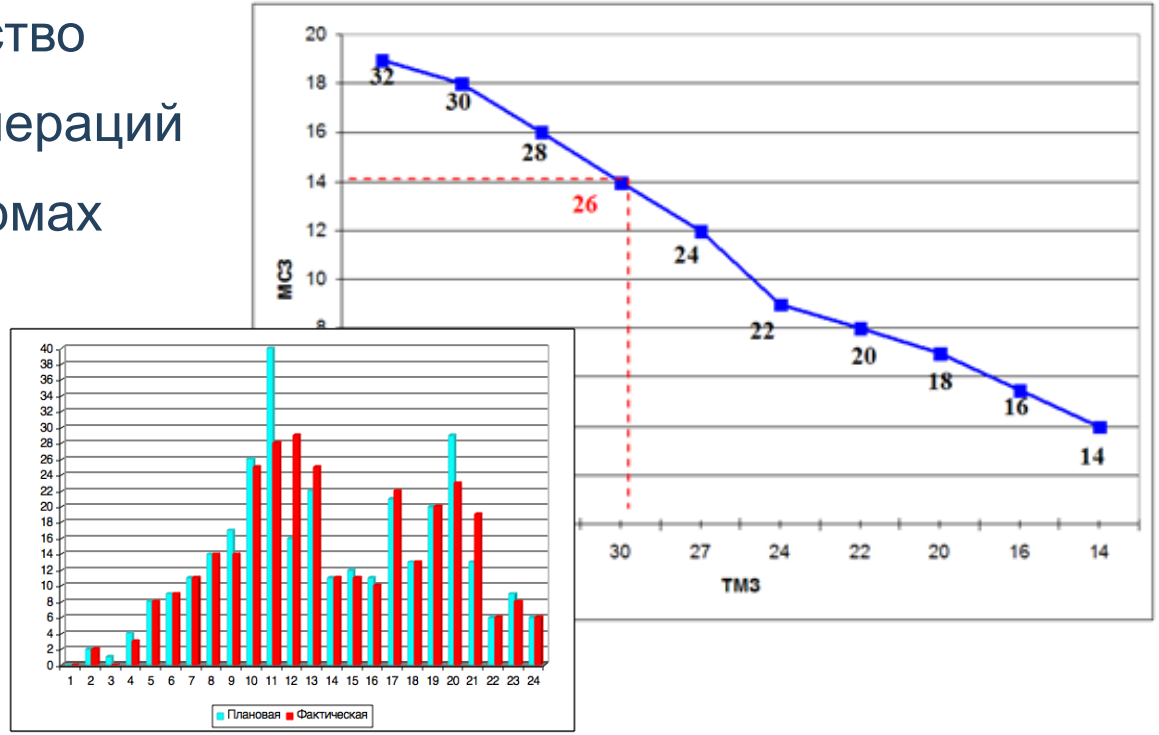
# Эффективность для пользователей ВП

- Протяженность маршрутов
- Расход топлива
- Задержки на прилет/вылет
- Налет

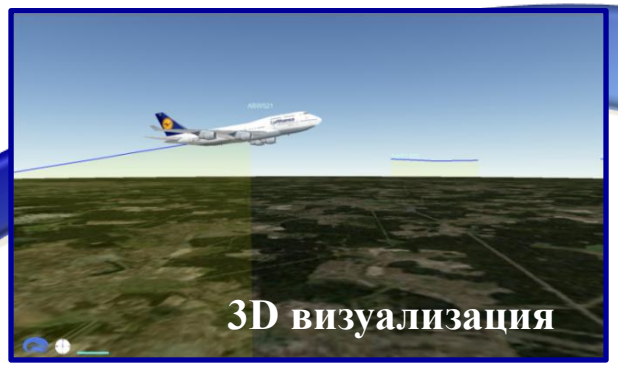


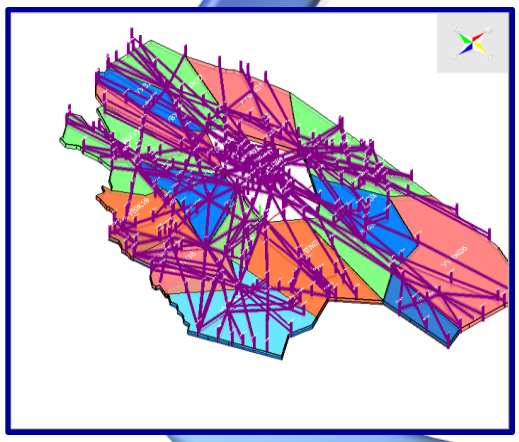
# Пропускная способность аэродромов и аэроузла

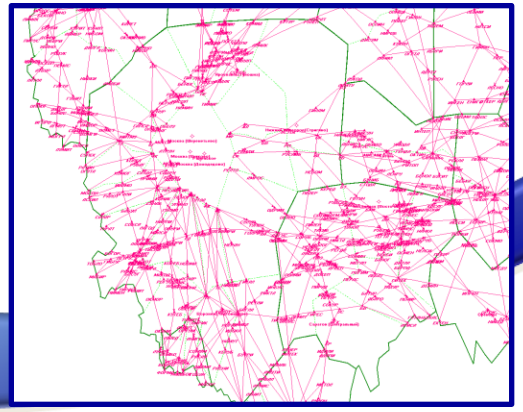
Максимальное количество взлетно-посадочных операций в час при заданных нормах эшелонирования и допустимых задержках

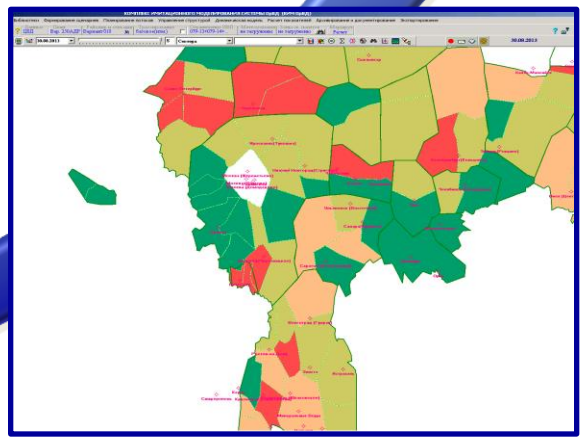


# 2D и 3D визуализация процесса моделирования









# Используемые для проведения моделирования данные

- Маршруты SID, STAR, Approach, Holding Zones, Аэродром, ВПП (в формате ARINC-424)
- Летно-технические характеристики ВС (BADA)
- Аэронавигационная структура (ЦБД Госкорпорации по ОрВД)
- Плановые полетные данные (ЦБД Госкорпорации по ОрВД)

# Параметры моделирования

- Условия и правила выполнения полетов (метеоусловия, ограничения ИВП, нормы эшелонирования)
- Режим и регламент работы ВПП для моделируемых аэродромов
- Временные затраты диспетчера на выполнение операций
- Меры регулирования (AMAN, диспетчер) и порядок их назначения

# Опыт проведения исследований

***С использованием КИМ ОрВД разработчиками и специалистами ФГУП «Госкорпорация по ОрВД» проведен ряд исследований, основные из которых:***

»Анализ эффективности предложений Ростовского РЦ по изменению трассовой структуры района, 2008

»Анализ эффективности предложений Самарского РЦ по изменению трассовой структуры района 2008

»Анализ эффективности предложений Московского РЦ по изменению трассовой структуры и конфигурации секторов ОВД, 2008-2009

# Опыт проведения исследований (2)

- Выработка вариантов по конфигурации секторов вариантов укрупненного Хабаровского РЦ, 2008-2009
- Анализ предложений РЦ по изменению трассовой структуры и реконфигурации секторов с выработкой альтернативных вариантов для Санкт-Петербургского РЦ, 2009
- Анализ предложений РЦ по изменению трассовой структуры и реконфигурации секторов с выработкой альтернативных вариантов для Иркутского РЦ, 2010
- Оценка эффективности внедрения норм RVSM в РФ и сопредельных государствах, 2010-2011

# Опыт проведения исследований (3)

- Проведение исследований по анализу особенностей ИВП на интервале времени перехода на сокращенные нормы эшелонирования в РФ и сопредельных странах, 2011
- Проведение исследований по оценке эффективности предложенных изменений трассовой структуры при обслуживании потоков воздушного движения в верхнем воздушном пространстве Московского района ЕС ОрВД.
- Проведение исследований по оценке пропускной способности **аэропорта Сочи**

# Опыт проведения исследований (4)

- Проведение моделирования на КИМ ОрВД для оценки предложенных изменений структуры воздушного пространства в зоне ответственности сопредельных укрупненных центров ОВД на основе результатов выполненных работ по совершенствованию организации воздушного движения и модернизации структуры воздушного пространства МВЗ и МР ЕС ОрВД
- Оценка эксплуатационных характеристик проектируемой структуры воздушного пространства **Московской зоны (МЗ) ЕС ОрВД** и Московского узлового диспетчерского района (МУДР) с целью определения достижения установленных стратегических целей и заданных показателей безопасности полетов, пропускной способности, эффективности предоставляемых услуг пользователям воздушного пространства с использованием имитационного моделирования

# Этап подготовки исходных данных

Импортирование данных по аэронавигационной структуре и планам полета

↓

Автоматическая ремаршрутизация планов полета под исследуемую структуру ВП

↓

Формирование прогнозного потока увеличенной интенсивности воздушного движения

↓

# Проведение моделирования

Настройка параметров моделирования, адаптация условий выполнения полетов

↓

Проведение моделирования

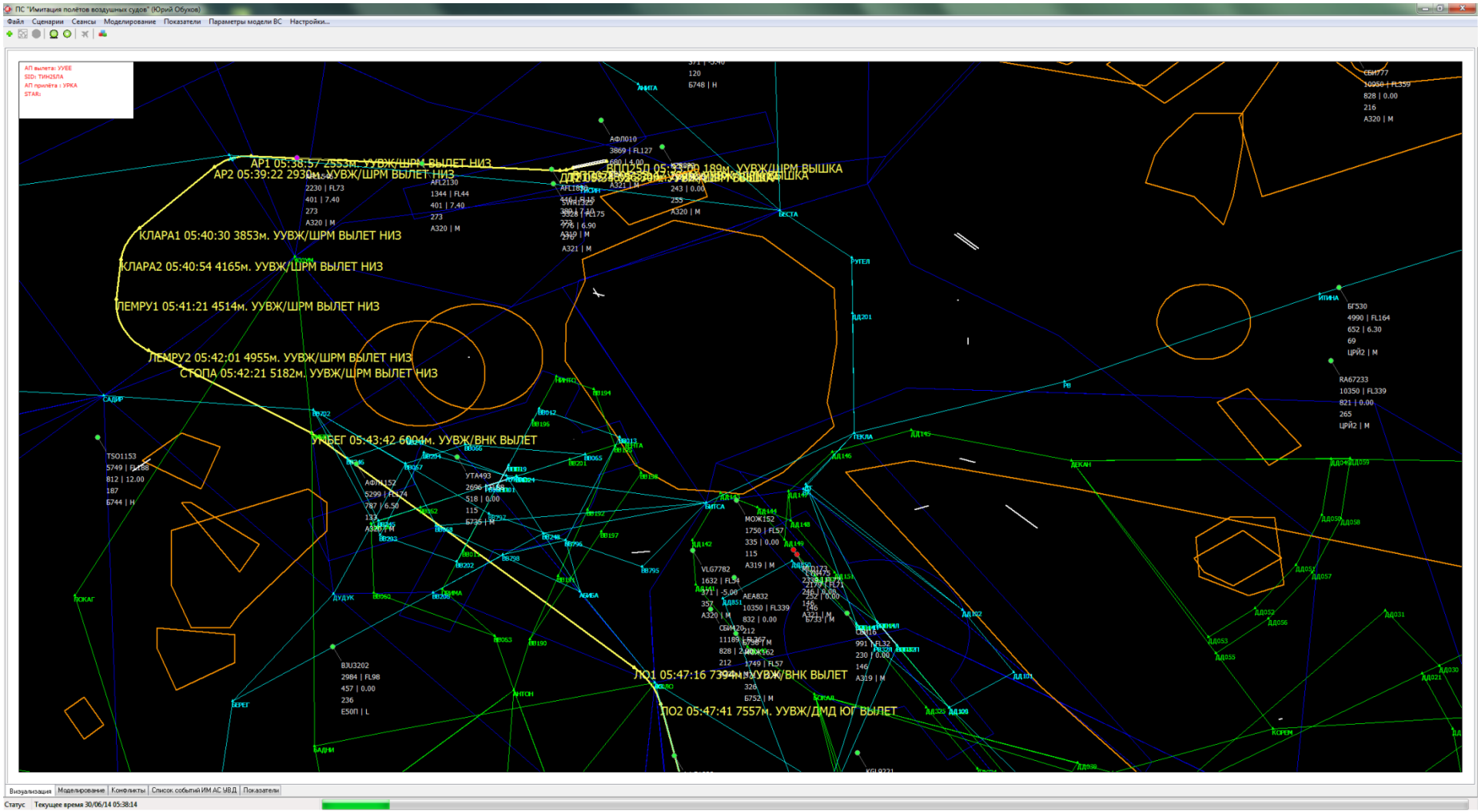
↓

Расчет показателей

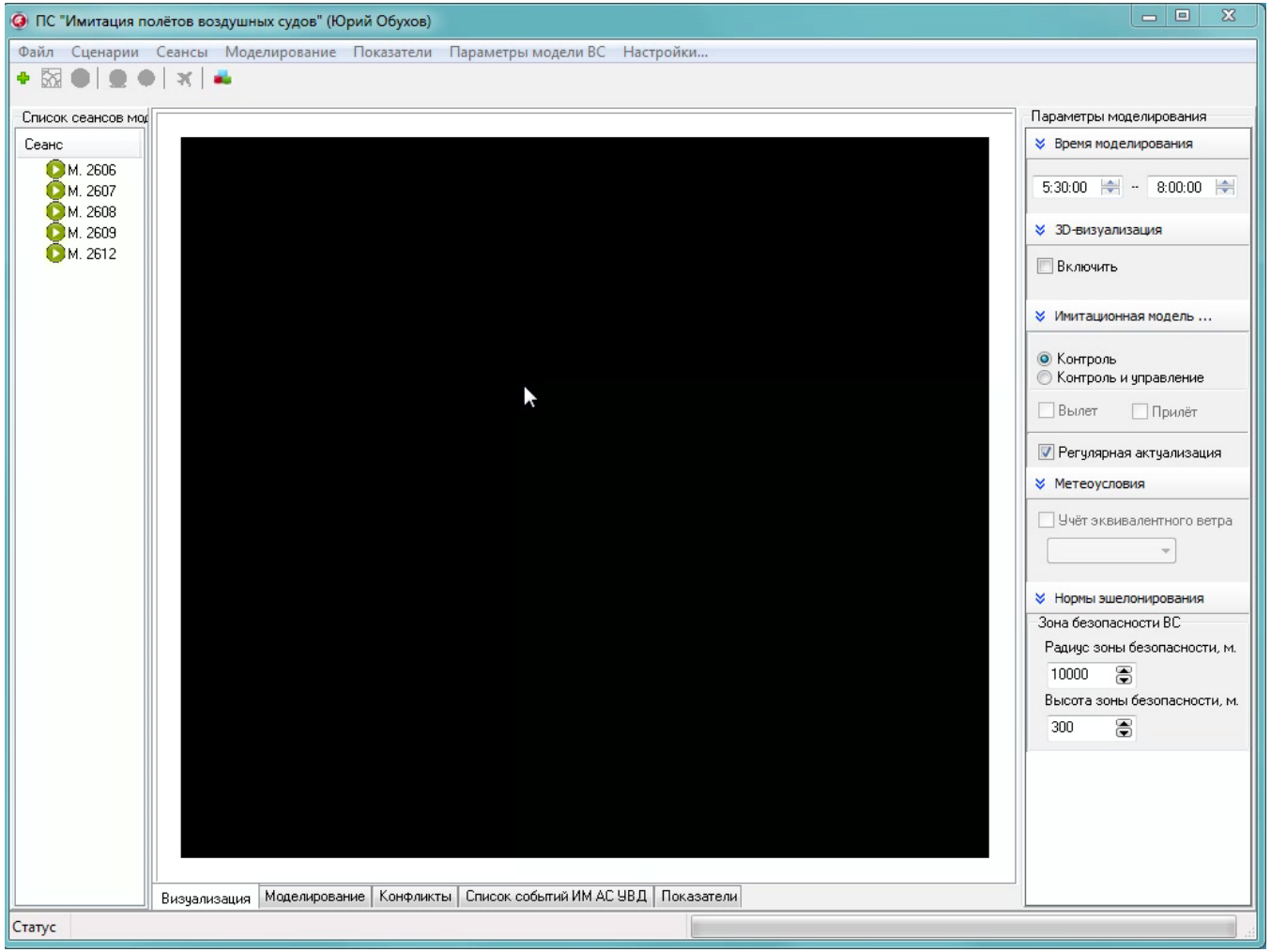
↓

Сравнительная оценка

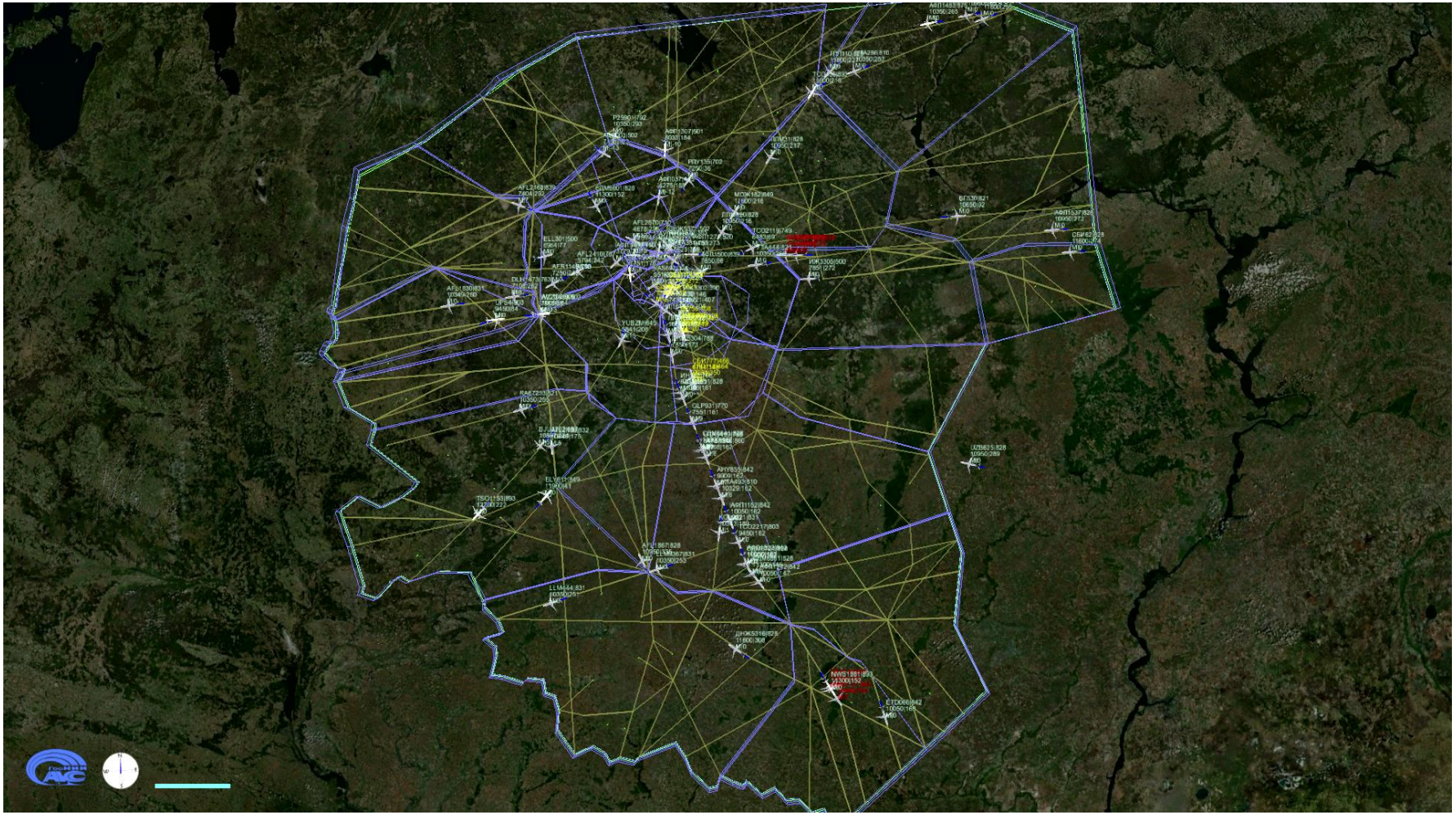
# Визуализация процесса моделирования



# 2D визуализация процесса моделирования



# 3D визуализация процесса моделирования



# Контакты и вопросы

А.С. Попов
начальник сектора ФГУП «ГосНИИАС»
т. +74991579597
e-mail: ovd@gosniias.ru
andrey.popov@gosniias.ru

***Спасибо за внимание!***

***Вопросы?***