



Об актуальных задачах и рациональной концепции прикладного моделирования транспортных систем

А.Н.Васильев
СПбГПУ, Санкт-Петербург

a.n.vasilyev@gmail.com

В.П.Осипов
ИПМ РАН, Москва

osipov@keldysh.ru

Содержание

- Анализ проблемы
- Методическое обеспечение
- Концепция развития
- Приложение



Анализ проблемы

Текущее состояние

- Обострение транспортных проблем ввиду ограниченности ресурсов транспортной инфраструктуры.
- Возможности имеющихся систем управления транспортными потоками достигли своего предела.
- Стихийное развитие организации дорожного движения.
- Попытки локального улучшения транспортной ситуации не решают проблемы в целом.
- Исполнительные механизмы управления недостаточно развиты.

Особенности транспортных проблем

- источник проблемы один и тот же и возникает повсеместно – все более или менее крупные российские города захлестнуты «цунами ударной автомобилизации»;
- в каждом городе или городской агломерации эти проблемы имеют свою специфику, и универсальных решений тут нет;
- математический аппарат исследования транспортных потоков базируется на общих научных принципах, и в этом смысле специалисты говорят все же на одном языке;
- надеяться на то, что в каждом центре найдутся высококвалифицированные специалисты по планированию городских транспортных систем, первоклассные математики, высокопроизводительные вычислительные ресурсы, программисты и т. д., не приходится.

Актуальная потребность

Востребованным решением может стать создание сети центров компетенции в области моделирования транспортных систем, оснащённых эффективными инструментами моделирования.

Назначение новых инструментов:

- ° Разрешение противоречий между доступными ресурсами и возрастающими потребностями в транспортных перевозках путем минимизации негативных последствий конфликта интересов УДД.

Основные возможности:

Сокращение времени на принятие решений по рациональному использованию и развитию ресурсов транспортной инфраструктуры.

Системное решение:

Создание масштабируемого модуля прикладного моделирования СППР (ИАЦ) в составе ИТС, оснащенного эффективными средствами обработки больших потоков информации в реальном масштабе времени, инструментами моделирования, многокритериального анализа, визуализации и документирования.

Типовые транспортные задачи

- Проектирование градостроительства, выбор оптимальной топологии транспортной сети и инфраструктуры;
- Прогнозирование ситуации на дорогах на 30 минут – 1 час вперед, исходя из текущей ситуации на дорогах и исторической информации;
- Оперативное диспетчерское (и автономное) управления светофорной сигнализацией;
- Выбор кратчайшего маршрута следования с учетом изменения загрузки транспортной сети по ходу движения;
- Составление расписания движения общественного транспорта;
- Логистические задачи.

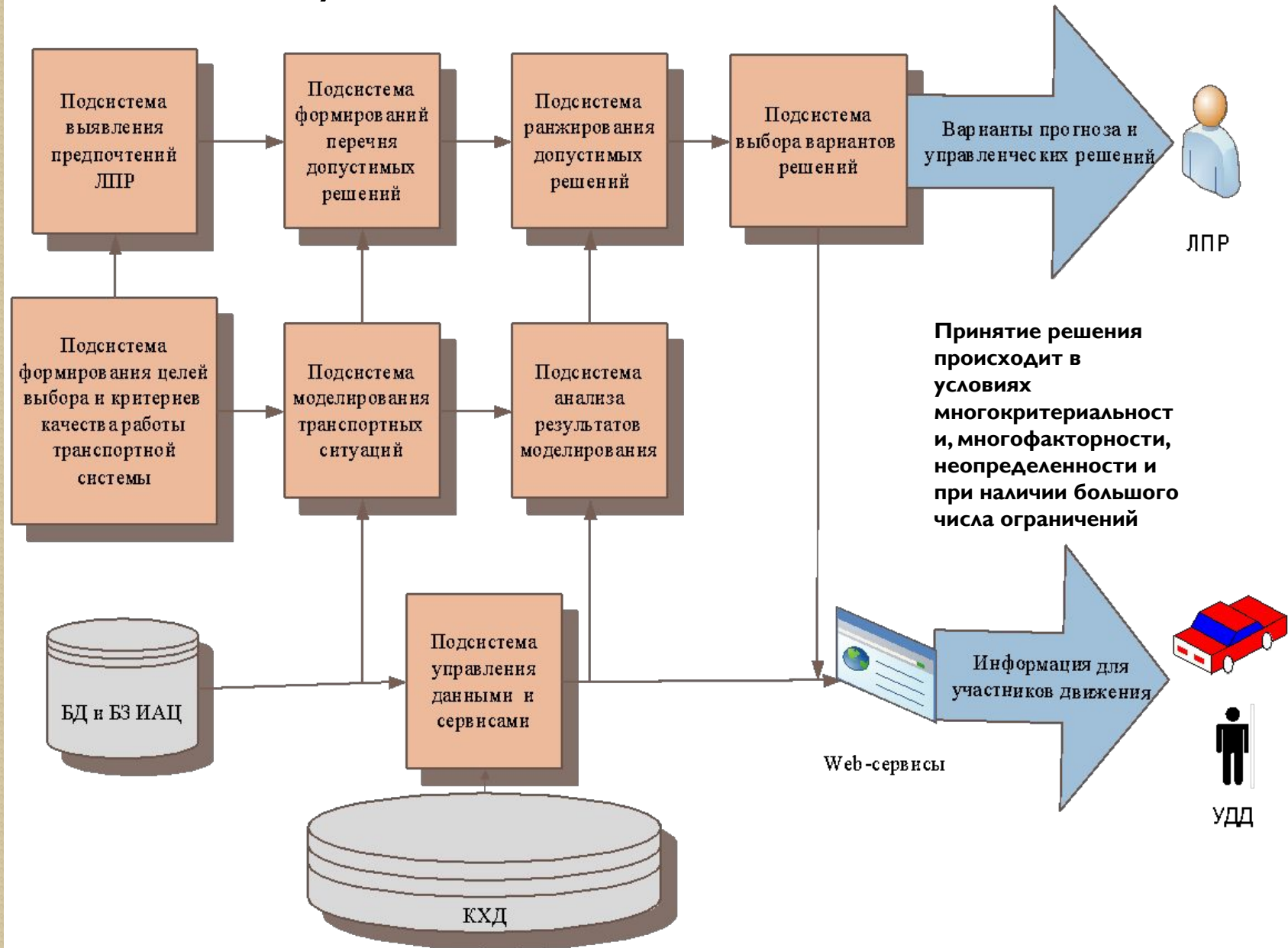
Потребители информационных ресурсов и предоставляемые сервисы Центров компетенции



Место математического моделирования



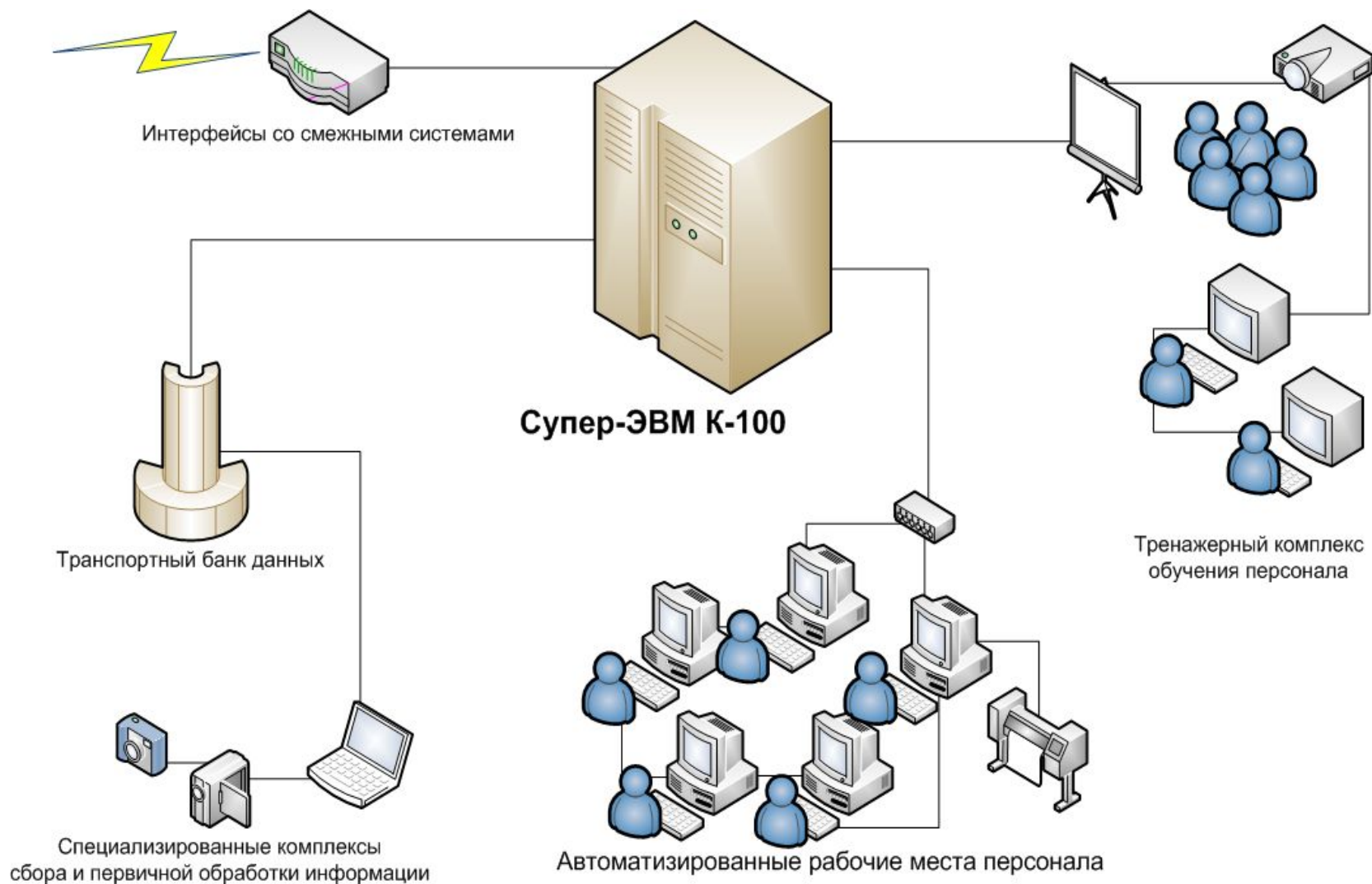
Концептуальная схема СППР



Программно-аппаратная платформа интеллектуального ядра Центра компетенции



Комплекс технических средств



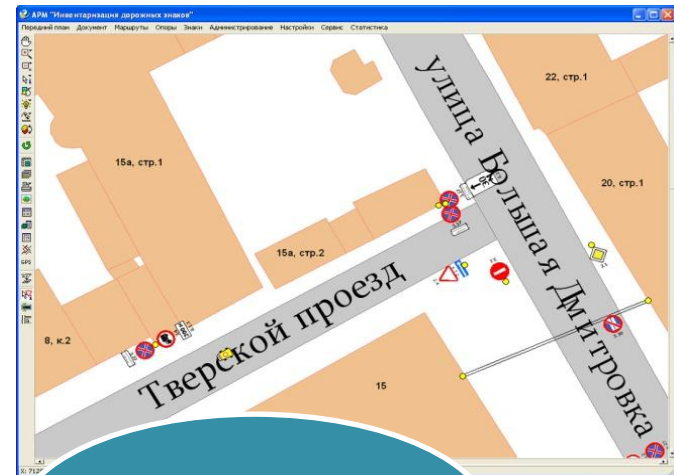
Научно-техническая база развития ИАЦ ИТС

Современные средства
моделирования

Высокопроизводительный
вычислительный комплекс К-100

Специализированные программные
комплексы транспортного моделирования

Технологии прикладного моделирования и
организации вычислительного эксперимента

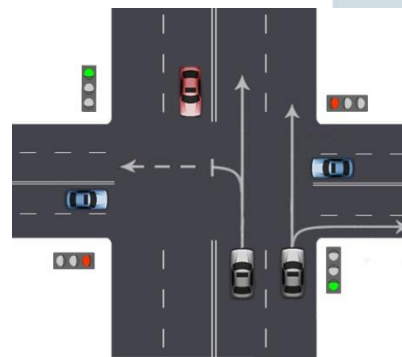


Опыт в создании

Виртуальных стендов и тренажеров
обучения операторов управления
большими системами

Компьютеризированных СППР

Информационно-
моделирующих систем





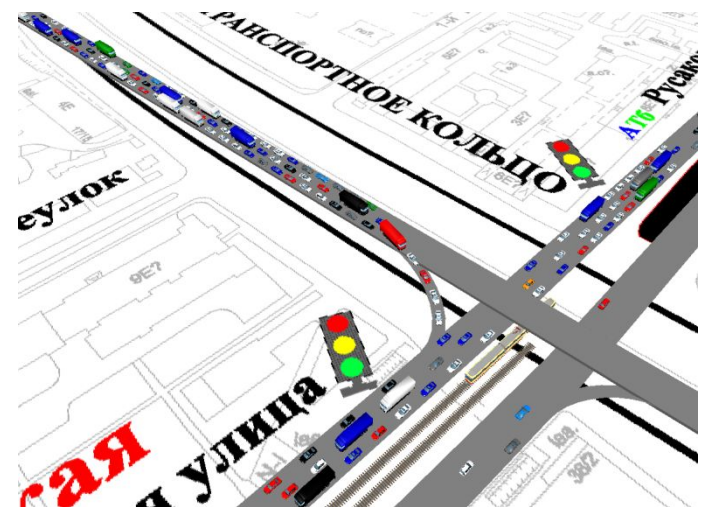
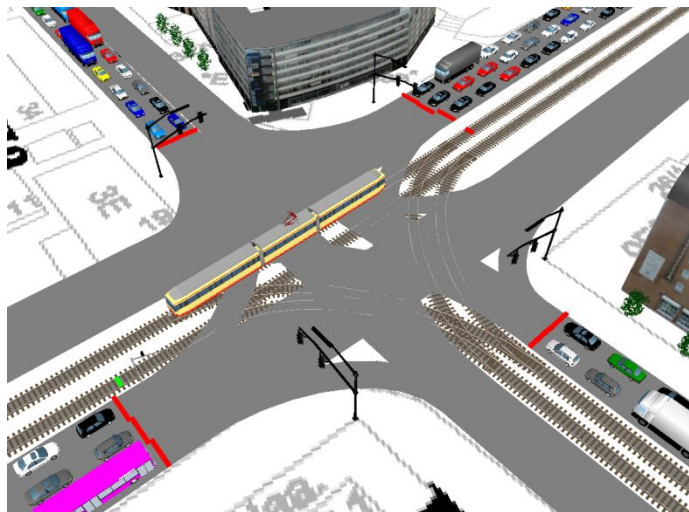
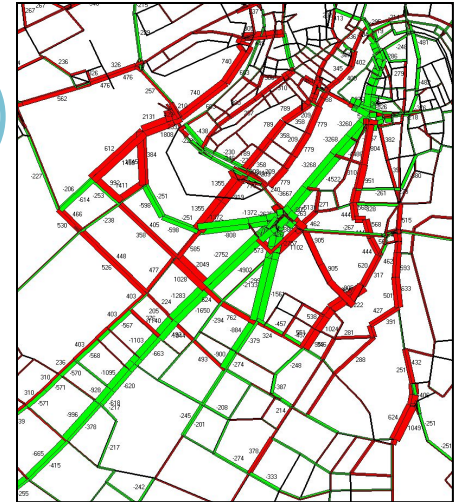
Методическое обеспечение

Методическая база развития

Транспортные модели:

Статические транспортные модели

Динамические транспортные модели
улично-дорожной сети



Транспортные модели

Уровень моделирования	Задачи	Имеющиеся модели для решения поставленной задачи	Методы решения	Необходимые данные
Предварительное моделирование	Определение подвижности населения и транспортного спроса	Модель генерации активности населения	<ul style="list-style-type: none"> Создание методик социологических обследований Сбор и обработка данных обследования 	Социологические данные по <ul style="list-style-type: none"> количеству населения, процент населения, имеющего личный транспорт Социологические данные по популярным маршрутам поездок (дом-работа). Дорожная сеть. Маршруты общественного транспорта.
		Модель генерации маршрутов		
		Расчет матриц корреспонденций и пассажирских перевозок.	<ul style="list-style-type: none"> Гравитационная модель Энтропийная модель 	
Макромоделирование	Оценка эффективности строительства и реконструкции транспортной инфраструктуры. Оценка эффективности мер по регулированию транспортного спроса.	Гидродинамические модели	<ul style="list-style-type: none"> Модель Лайтхилла-Уизема модель Пэйна 	Сбор и мониторинг структуры транспортного спроса по: <ul style="list-style-type: none"> Целям поездок Видам перевозок (общественный и/или личный транспорт) Периодам времени
		Модели равновесного распределения	<ul style="list-style-type: none"> Классическая 4-х ступенчатая модель Модель EVA (VISUM) Модель VISEM (VISUM) Модель Бэкмана Модель Нестерова-де-Пальма Стохастические модели 	
Мезомоделирование	Оценка эффективности мер по совершенствованию организации дорожного движения (ОДД).	Модель следования за лидером, разумного водителя	<ul style="list-style-type: none"> Модель Джeneral Моторс Модель Трайбера 	Анализ и мониторинг: <ul style="list-style-type: none"> Методов ОДД Поведенческих особенностей водителей и пешеходов
Микромоделирование		Клеточные автоматы	Модель Нагеля-Шрекенбергера	

Примеры моделей

● Двумерная макроскопическая модель

- Рассматривается **плотный (синхронизированный) транспортный поток**: средняя скорость движения далека от скорости свободного движения, могут образовываться пробки
- **Используется приближение сплошной среды**: транспортный поток рассматривается как течение сжимаемой жидкости. Вводится плотность $\rho(x,y,t)$: количество автомобилей в одной полосе на единицу длины дороги в произвольной точке и в произвольный момент времени

● Клеточные автоматы (многополосное движение)

При **многополосном движении** каждый шаг алгоритма разбивается на два подшага:

- Для каждой машины выясняется возможность и необходимость смены полосы. Производится смена полосы.
- Производится движение вперед по каждой полосе по правилам однополосного движения

Двумерная система уравнений динамики транспортного потока

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial \rho u}{\partial x} + \frac{\partial \rho v}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\tau_x}{2} \frac{\partial}{\partial x} (\rho u^2 + P) \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\tau_x}{2} \frac{\partial}{\partial y} (\rho uv) \right) +$$

$$+ \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\tau_y}{2} \left(\frac{\partial}{\partial y} (\rho v^2) + \alpha_y \rho^{\beta_y} \frac{\partial \rho}{\partial y} \right) \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\tau_y}{2} \frac{\partial}{\partial x} (\rho uv) \right) - \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\tau_x}{2} f \right);$$

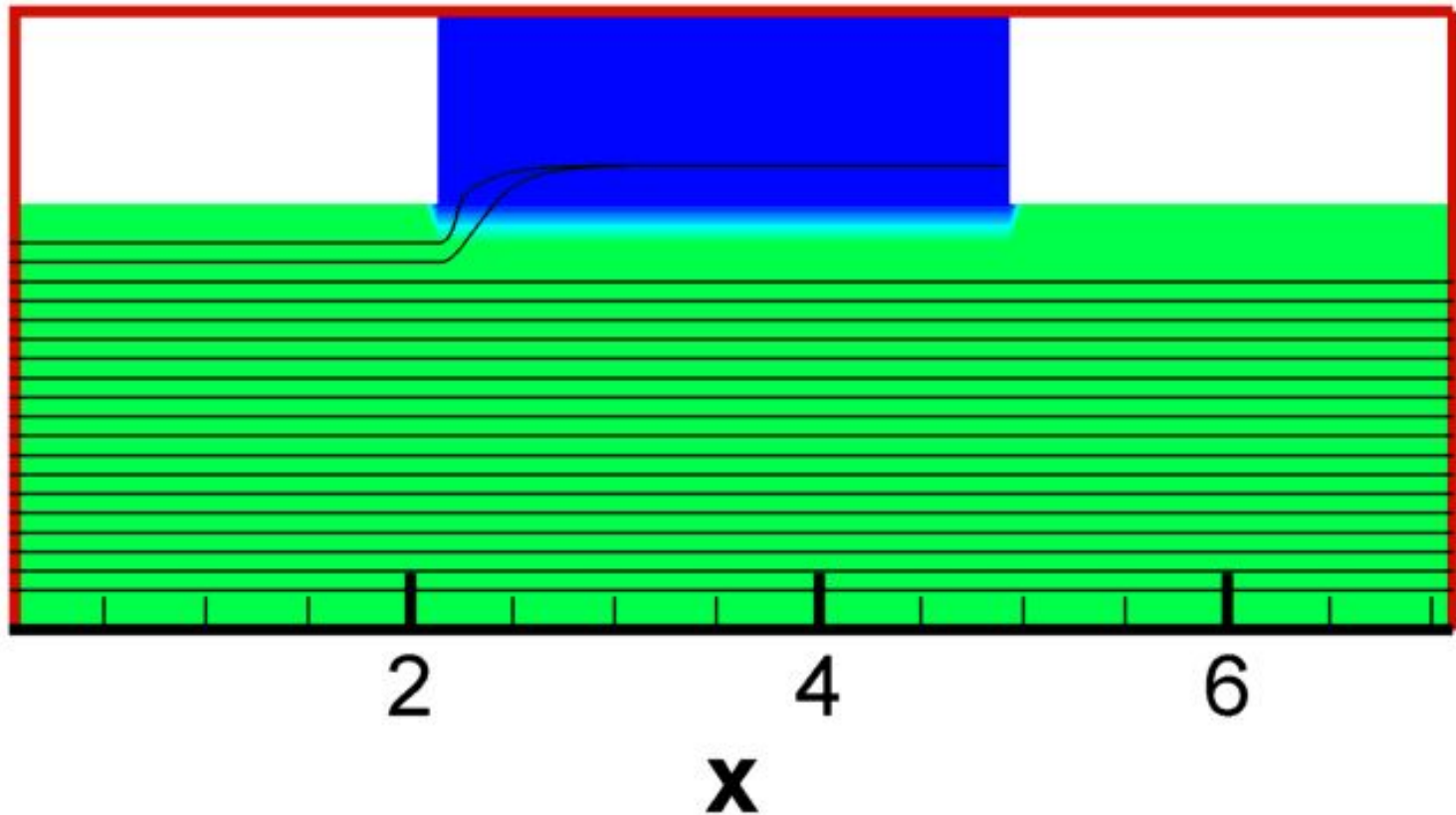
$$\frac{\partial \rho u}{\partial t} + \frac{\partial \rho u^2}{\partial x} + \frac{\partial \rho uv}{\partial y} = f - \frac{\partial}{\partial x} P +$$

$$+ \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\tau_x}{2} \frac{\partial}{\partial x} (\rho u^3 + 3Pu) \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\tau_x}{2} \frac{\partial}{\partial y} (\rho u^2 v) \right) +$$

$$+ \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\tau_y}{2} \left(\frac{\partial}{\partial y} (\rho uv^2) + \alpha_y \rho^{\beta_y} \frac{\partial \rho u}{\partial y} \right) \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\tau_y}{2} \frac{\partial}{\partial x} (\rho u^2 v) \right) - \frac{\partial}{\partial x} (\tau_x f u);$$

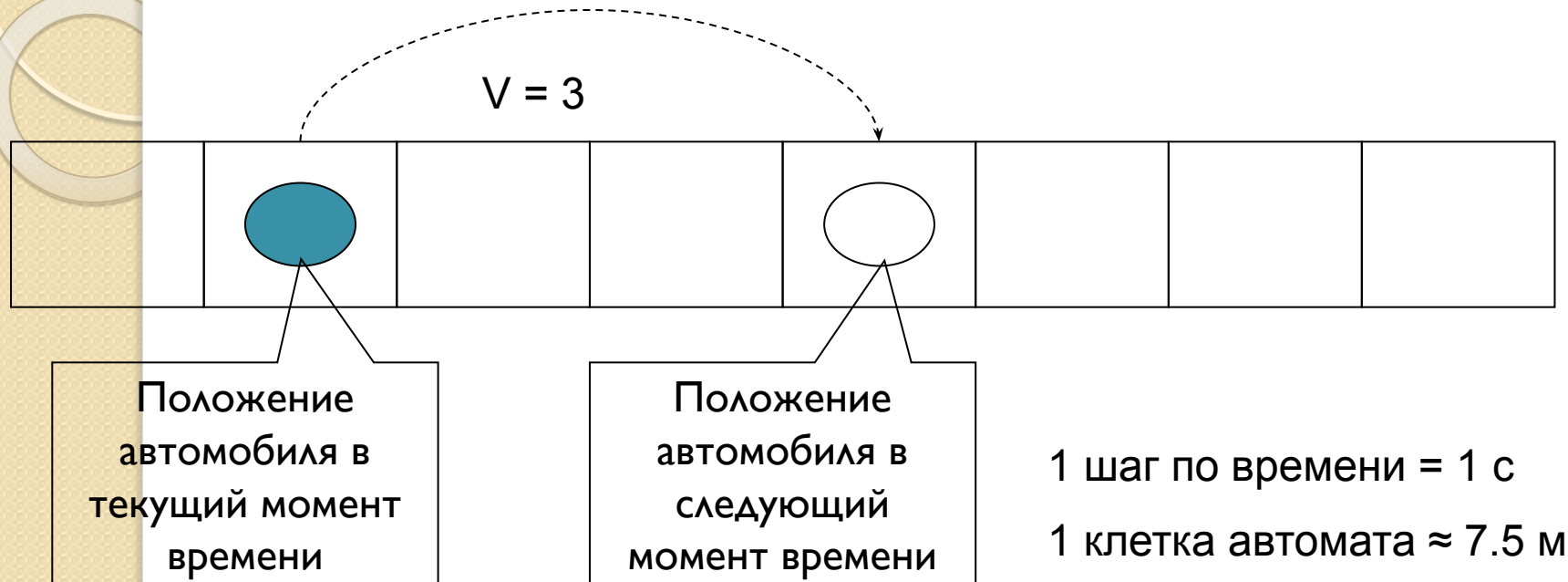
$$v = k_u \cdot \rho \frac{\partial u}{\partial y} - k_d \cdot u \frac{\partial \rho}{\partial y} + k_t \cdot \frac{u^2}{(x_t - x)^2} (y_t - y).$$

Локальное расширение дороги (большой входной поток)



Когда транспортный поток достаточно большой, возникает повышение плотности, распространяющееся вверх по потоку

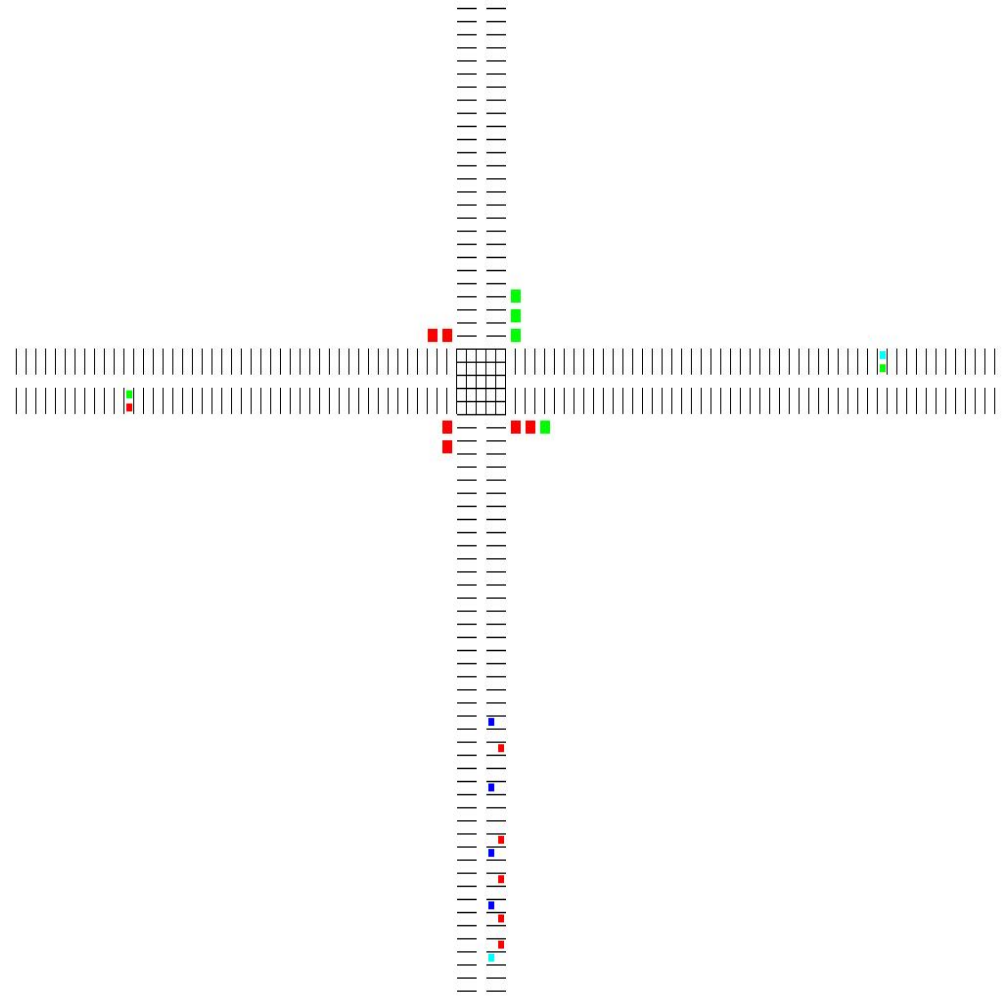
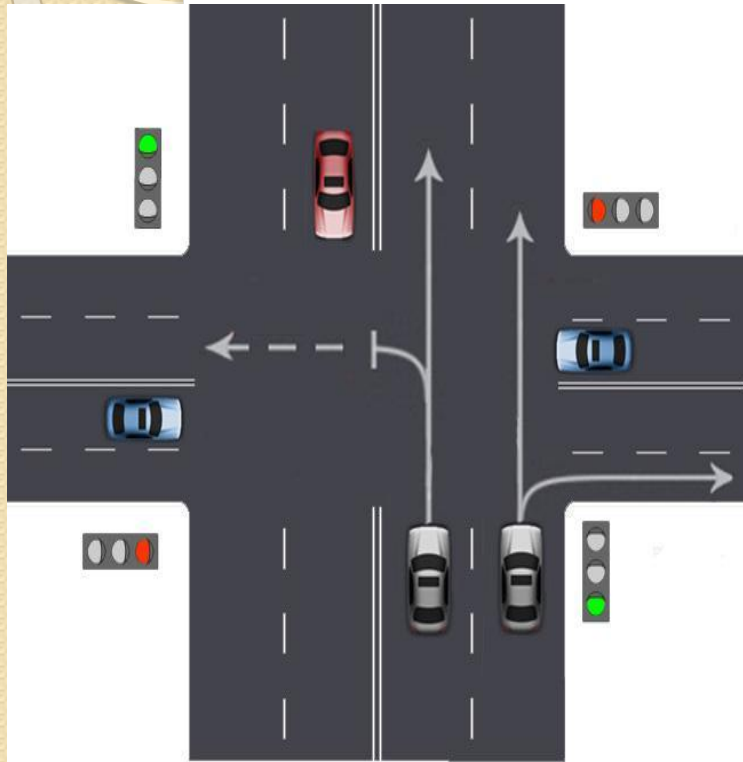
Клеточные автоматы




Характеристики
автомобилей:

- Мгновенная скорость
- Максимальная скорость
- Конечная цель

Регулируемый перекрёсток





Концепция развития научно-технических основ и программного обеспечения прикладного математического моделирования транспортных процессов и систем

ЦЕЛЬ РАБОТ

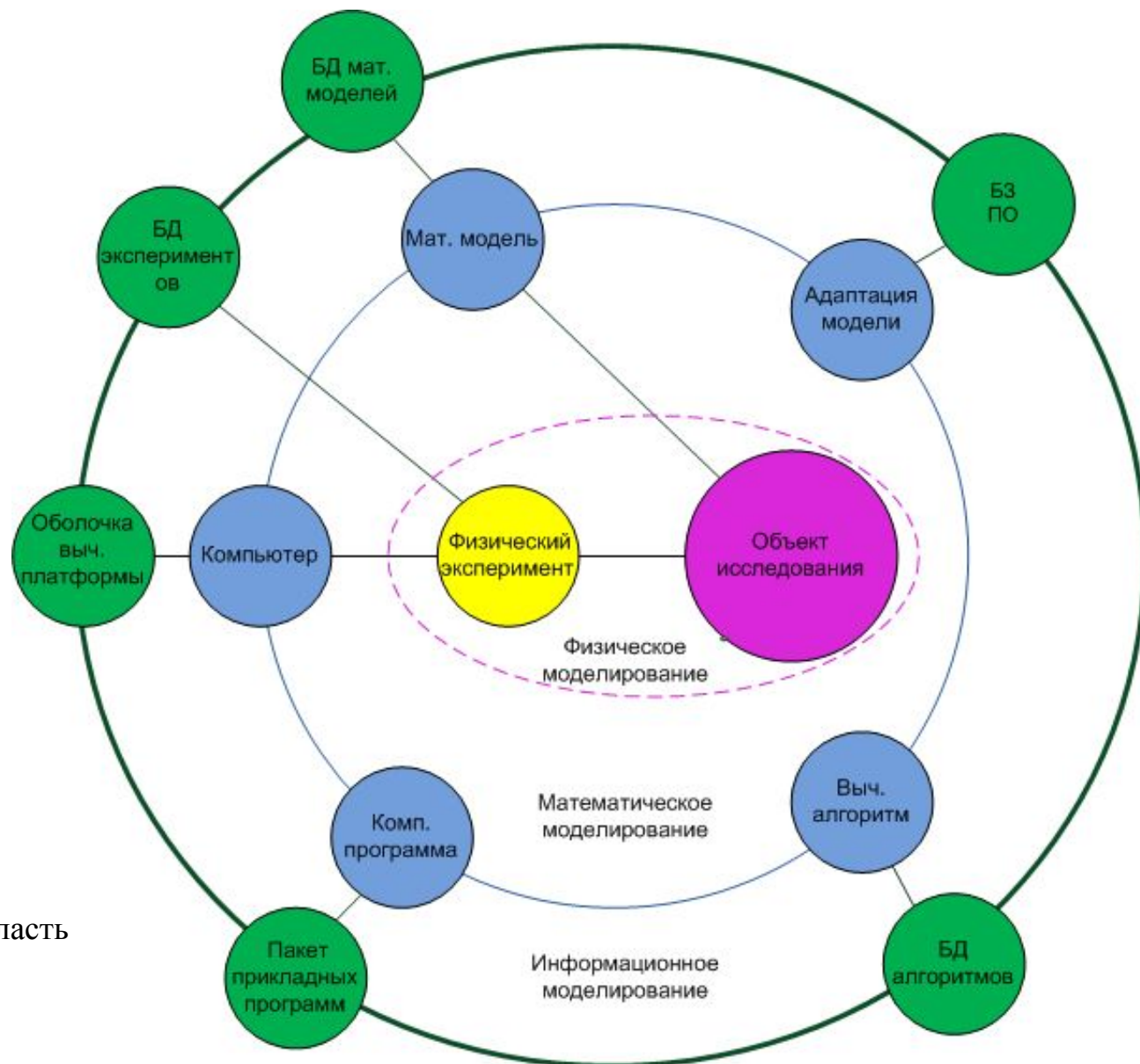
1. Повышение эффективности и обоснованности проектных и управленческих решений по развитию транспортной инфраструктуры на основе совершенствования математических моделей и средств прикладного моделирования транспортных процессов, включая имитационное и системное моделирование.
2. Получение значимых научных результатов, позволяющих переходить к созданию и практическому применению информационно-моделирующей автоматизированной системы поддержки принятия проектных и управленческих решений по развитию транспортной инфраструктуры в мегаполисах и России в целом на основе суперкомпьютерных методов и технологий прикладного транспортного моделирования, прогнозирования и экспертиз.
3. Создание благоприятных условий для использования в прикладном транспортном моделировании энергоэффективных суперкомпьютерных технологий и вычислительных систем гибридной архитектуры.

Для достижения поставленных целей решается задача создания вычислительных и информационных ресурсов макета сетевой компьютерной лаборатории прикладного математического моделирования транспортных процессов на основе суперкомпьютерных технологий и вычислительных систем гибридной архитектуры с использованием традиционных и перспективных алгоритмов транспортного моделирования.

Объекты исследований

- **Комплекс методов, алгоритмов и программного обеспечения** семейства взаимосвязанных транспортных моделей для использования в сетевой компьютерной лаборатории при проведении вычислительных экспериментов.
- **Принципы системной интеграции** взаимосвязанных транспортных моделей и их программного обеспечения, в том числе:
 - моделей транспортной инфраструктуры, являющейся поставщиком данных для моделей высших уровней.
 - моделей транспортного спроса - для долгосрочного прогнозирования изменений транспортной ситуации в больших городах и экспертизы планировочных градостроительных и проектных инфраструктурных решений с точки зрения транспортного обслуживания.
 - моделей транспортного движения, обеспечивающие краткосрочное прогнозирование развития транспортной ситуации, динамический анализ транспортного процесса, экспертизу решений по управлению транспортным процессом на локальном уровне, уровне сегмента транспортной сети и общегородском уровне.
- **Модели и методы** информационной поддержки принятия решений включающие:
 - модели и методы экспертного анализа вариантов решений по модернизации транспортной инфраструктуры;
 - методы и критерии оценки достоверности моделирования;
 - методы ранжирования допустимых решений;
 - методы отбора предпочтительных вариантов прогнозов и решений.

Среда моделирования



БД – база данных

БЗ – база знаний

ПО – предметная область

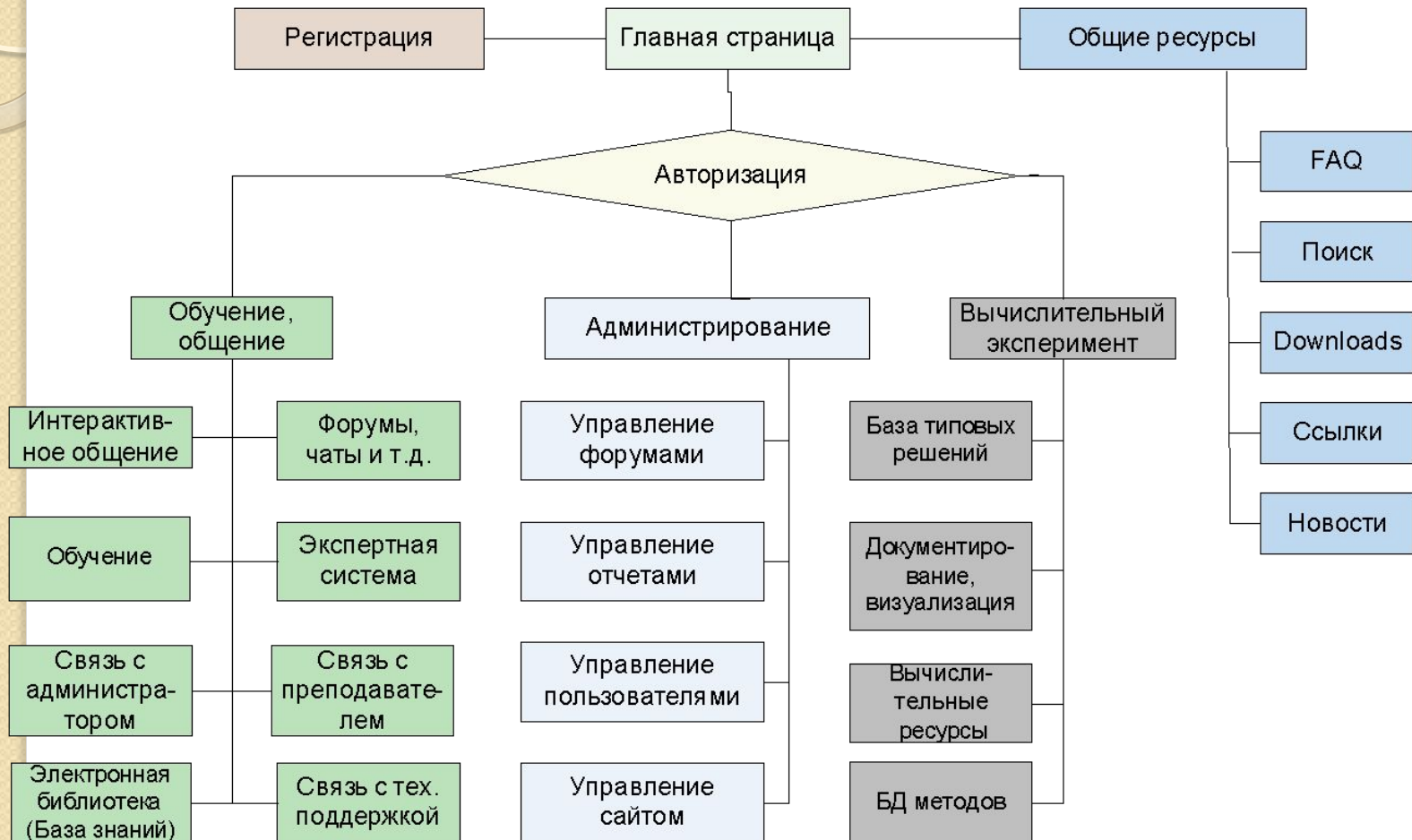
Обеспечение адекватности моделирования



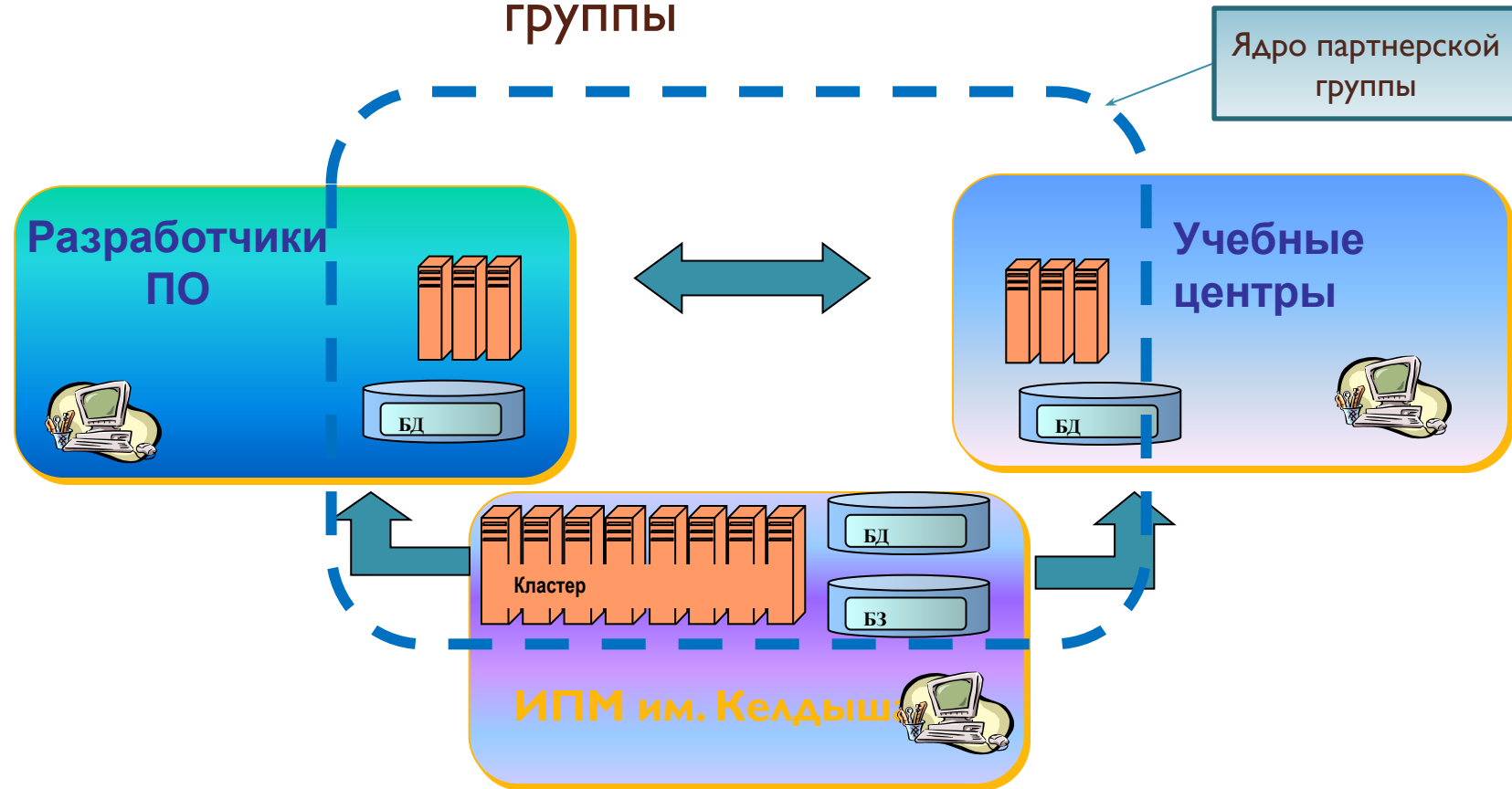
Содержание работ

1. **Адаптация** к задачам проекта имеющихся **и разработка** новых программных средств моделирования и визуализации транспортных процессов и транспортной инфраструктуры. Разработка методического обеспечения сетевой компьютерной лаборатории.
2. **Формирование требований** к сетевой компьютерной лаборатории.
3. **Проектирование и разработка** информационных, вычислительных и образовательных ресурсов сетевой компьютерной лаборатории.
4. **Сборка и тестирование** программного обеспечения макетной версии сетевой компьютерной лаборатории. Разработка методики

Функциональные модули и ресурсы системы



Объединение вычислительных и информационных ресурсов партнёрской группы



Отдельные пользователи

Интернет

Участники партнёрской группы





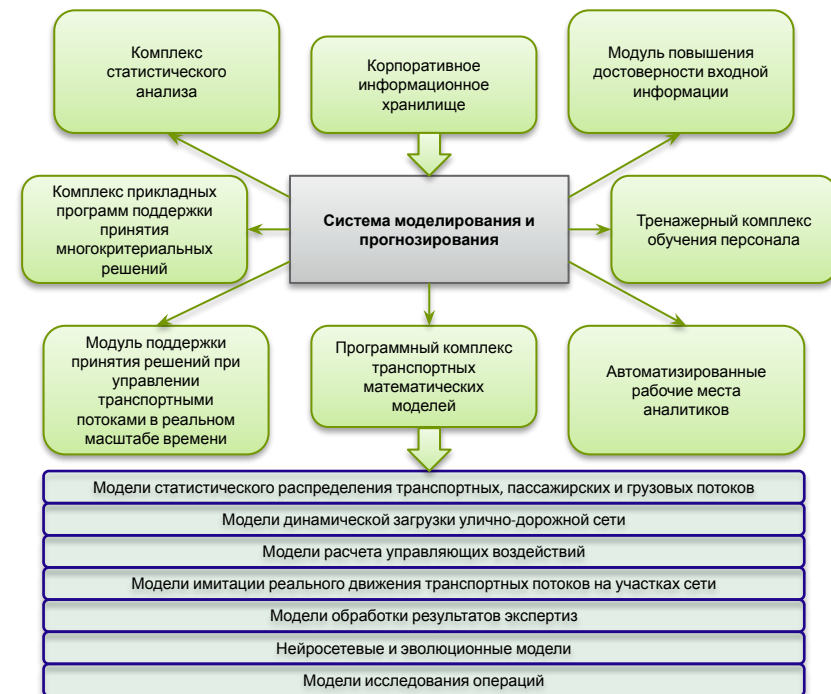
Приложение

Система поддержки принятия решений ИТС

Потребители информационных ресурсов



Интеллектуальное ядро ИАЦ ИТС



Информационные сервисы

Спектр информационных услуг ИАЦ ИТС:

- Краткосрочный и долгосрочный прогноз развития дорожно-транспортной ситуации на улично-дорожной сети города.
- Прогнозирование спроса на пассажирские перевозки общественным транспортом (включая внеуличный транспорт), прогнозирование спроса на грузовые перевозки.
- Экспертиза планировочных, градостроительных и инфраструктурных проектов в сфере транспорта
- Оценка маршрутной сети общественного транспорта и необходимого количества подвижного состава на линиях для обеспечения спроса на пассажирские перевозки.
- Разработка вариантов решений по организации дорожного движения при дорожно-мостовом строительстве.
- Разработка сценариев управления пассажирскими, грузовыми и специальными перевозками в условиях мегаполиса, а также при возникновении чрезвычайных ситуаций и проведении массовых мероприятий.
- Разработка решений по повышению безопасности дорожного движения, а также безопасности на общественном транспорте и при специальных перевозках.
- Управление транспортными потоками в реальном масштабе времени в условиях высокой загрузки улично-дорожной сети.
- Информирование участников движения о загрузке транспортных артерий, оптимальных маршрутах достижения цели поездок, изменениях в транспортной инфраструктуре, загрузке и движении общественного транспорта, наличии свободных мест на организованных парковках, чрезвычайных ситуациях и других событиях.



AIMSUN

STATIC TRAFFIC ASSIGNMENT

Гибридная МВС К-100



64 вычислительных узла.

Процессор 2 x Intel Xeon X5670; 11 доступных задач пользователя ядер.
Оперативная память 96Gb.
Диск 500Gb.
2 сетевых карты Gigabit Ethernet.
3 графических ускорителя nVidia Fermi C2050 (по 448 GPU и 2,5Gb памяти на каждом).

Разработана при личной поддержке Председателя правительства РФ для решения приоритетных задач в области авиации, космонавтики, транспорта и т.д.

Отличается высокой производительностью (до **100 Тфлоп**) и низким энергопотреблением (минимум в **10 раз**) по сравнению с многопроцессорными вычислительными системами традиционной архитектуры

Предназначена для моделирования сложных процессов и обработки больших массивов данных, решение **задач управления сложными системами в режиме реального времени**



Спасибо за внимание!