

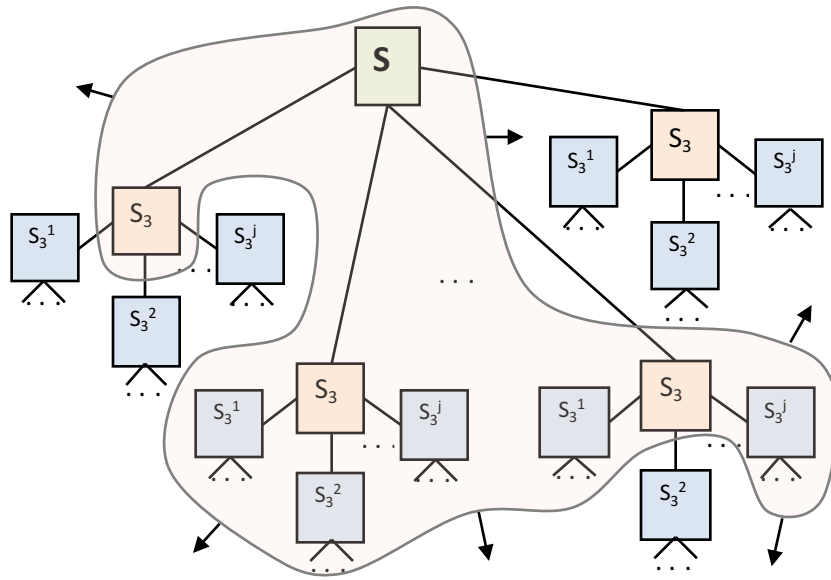
Разработка имитационных моделей



Девятков Тимур Владимирович, к.т.н

Зав. Лабораторией имитационного моделирования Академии наук
Республики Татарстан.

Объект, предмет и цель применения ИМ



Объект исследования

Организационно-технические дискретные системы, для которых в силу сложности структуры, функций и управления невозможно построить аналитическую модель

Предмет исследования

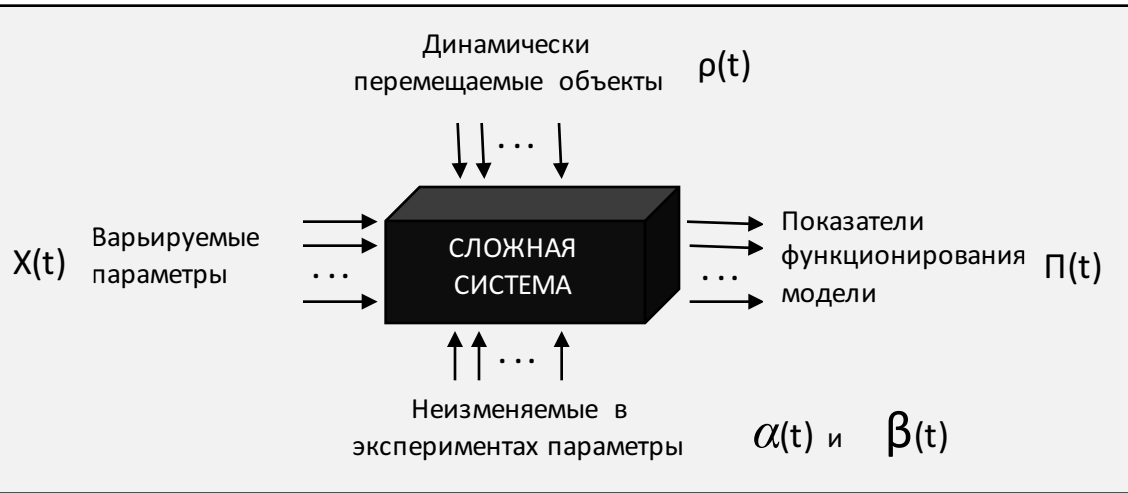
Процесс функционирования системы во времени, количественная оценка динамики основных показателей, анализ различных вариантов ее построения и модернизации

Цель исследования

Решение проблемы повышения эффективности функционирования системы: уменьшение издержек, выявление «узких мест», выработка рекомендаций для собственника системы

Уровень детализации

Модель «Черного ящика»



Цель – исследовать функцию отклика системы

На изменение варьируемых параметров

$$Y(t) = F(X(t), \rho(t), \alpha(t), \beta(t))$$

Система

$$S = (\{c_i^j\}, \{a_i^j\}, \{z_i^j\}, \{q^{il}_{jk}\}, \{U_i^j\}, \{P_i^j\}),$$

где i и $l=1, \dots, n$, а j и $k=1, \dots, m$

Варьируемые параметры

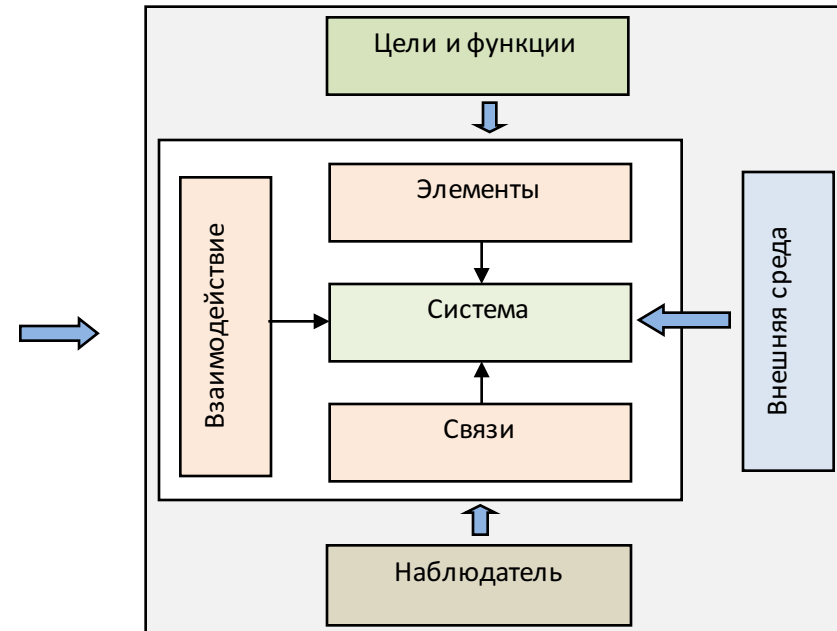
$$X = (\{a_i^j\}, \{z_i^j\}, \{q^{il}_{jk}\}, \{U_i^j\})$$

Целевая функция

$$P_i(t) = F(x_i, t) \rightarrow \min(\max),$$

где границы вариации параметров $c_i < x_i < b_i$ $i=1, n$ а $t \in T$

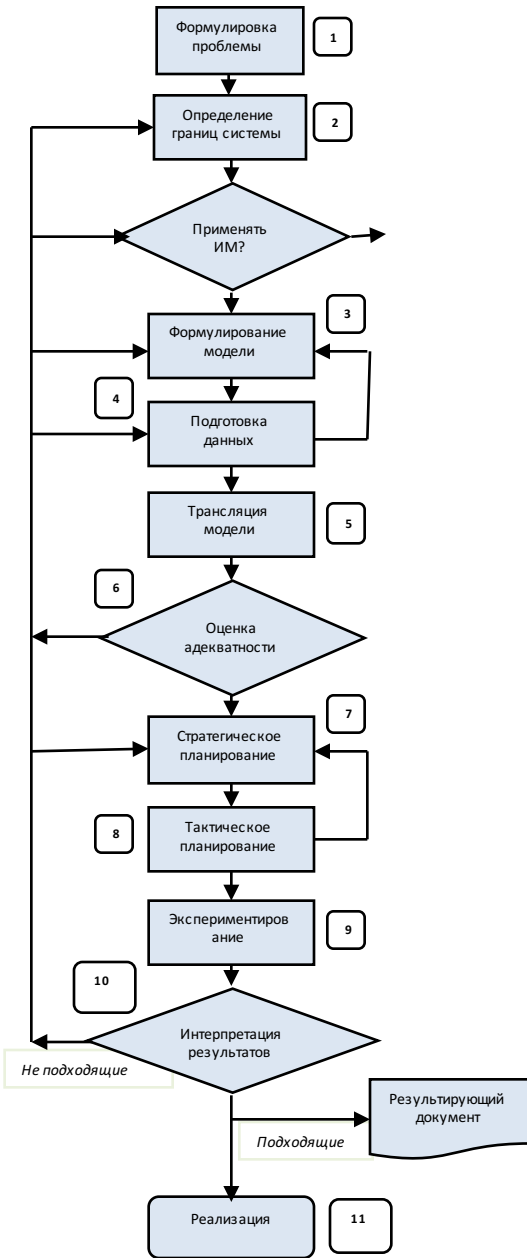
Структурно-функциональный анализ



Методы структурно-функционального анализа

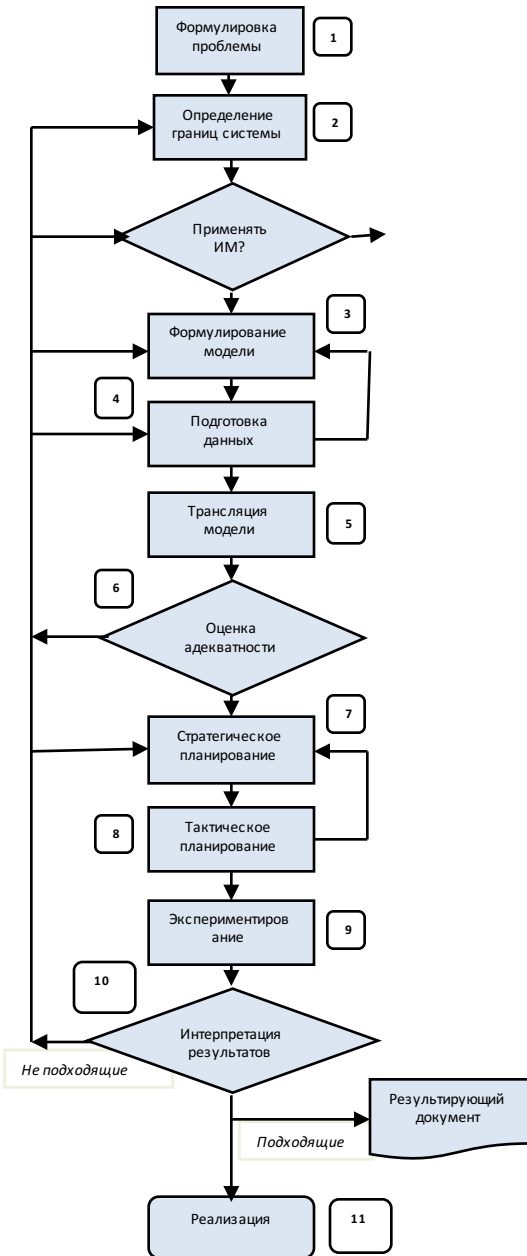


Процесс имитационного исследования сложных систем



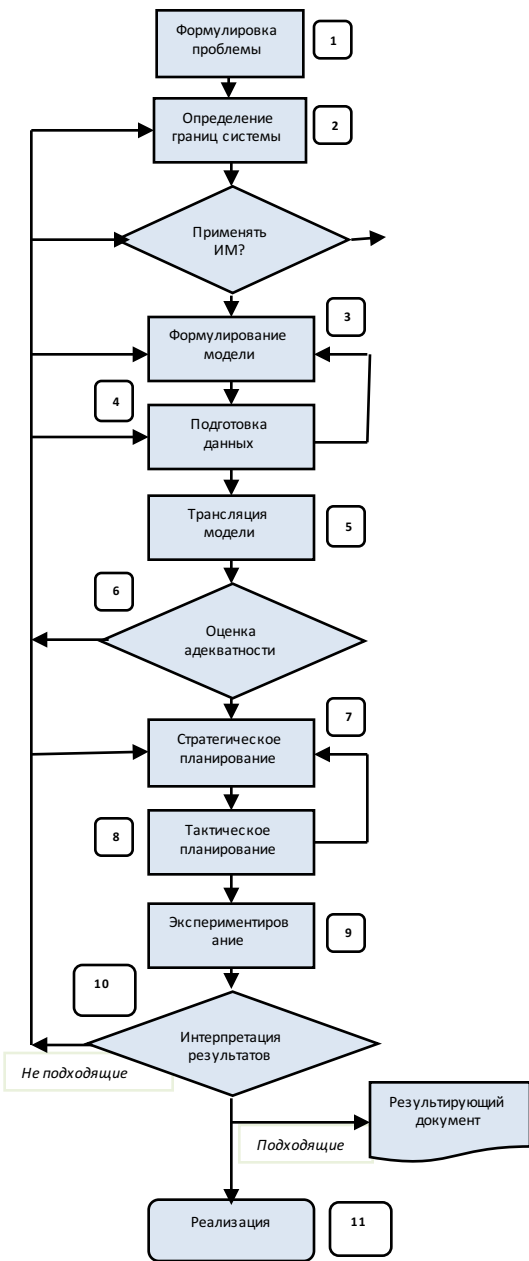
1. Формулировки проблемы - S_1^j
..... S_1^j
2. Определение границ системы - S_2^j
..... S_2^j
3. Формулирование модели - S_3^j
..... S_3^j
4. Подготовка данных - S_4^j
..... S_4^j
5. Разработка модели - S_5^j
..... S_5^j
6. Оценка адекватности - S_6^j
..... S_6^j
7. Тактическое планирование- S_{71}^j
..... S_{71}^j
8. Стратегическое планирование - S_8^j
..... S_8^j
9. Экспериментирование - S_9^j
..... S_9^j
10. Интерпретация результатов - S_{10}^j
..... S_{10}^j
11. Реализация результатов ИИСС - S_{11}^j
..... S_{11}^j

Постановка задачи и целей исследования



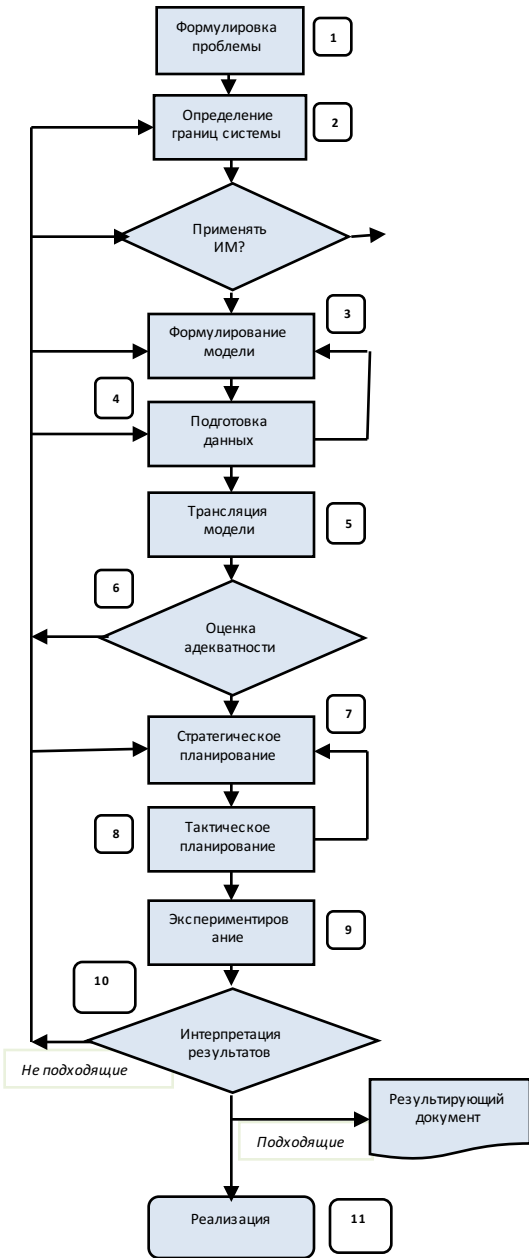
1. Формулировки проблемы - S_1^j
..... S_1^j
2. Определение границ системы - S_2^j
..... S_2^j
3. Формулирование модели - S_3^j
..... S_3^j
4. Подготовка данных - S_4^j
..... S_4^j
5. Разработка модели - S_5^j
..... S_5^j
6. Оценка адекватности - S_6^j
..... S_6^j
7. Тактическое планирование - S_{71}^j
..... S_{71}^j
8. Стратегическое планирование - S_8^j
..... S_8^j
9. Экспериментирование - S_9^j
..... S_9^j
10. Интерпретация результатов - S_{10}^j
..... S_{10}^j
11. Реализация результатов ИИСС - S_{11}^j
..... S_{11}^j

Сбор и статистический анализ данных



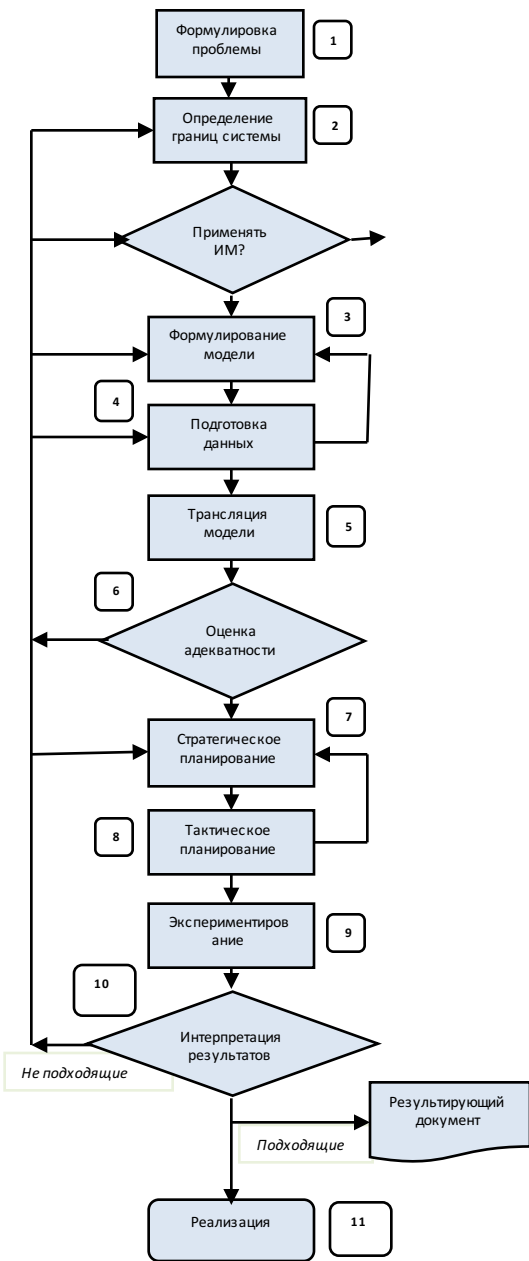
1. Формулировки проблемы - S_1 ;
..... S_1^j
2. Определение границ системы - S_2 ;
..... S_2^j
3. Формулирование модели - S_3 ;
..... S_3^j
4. Подготовка данных - S_4 ;
..... S_4^j
5. Разработка модели - S_5 ;
..... S_5^j
6. Оценка адекватности - S_6 ;
..... S_6^j
7. Тактическое планирование - S_{71} ;
..... S_7^j
8. Стратегическое планирование - S_8 ;
..... S_8^j
9. Экспериментирование - S_9 ;
..... S_9^j
10. Интерпретация результатов - S_{10} ;
..... S_{10}^j
11. Реализация результатов ИИСС - S_{11} ;
..... S_{11}^j

Верификация и валидация модели



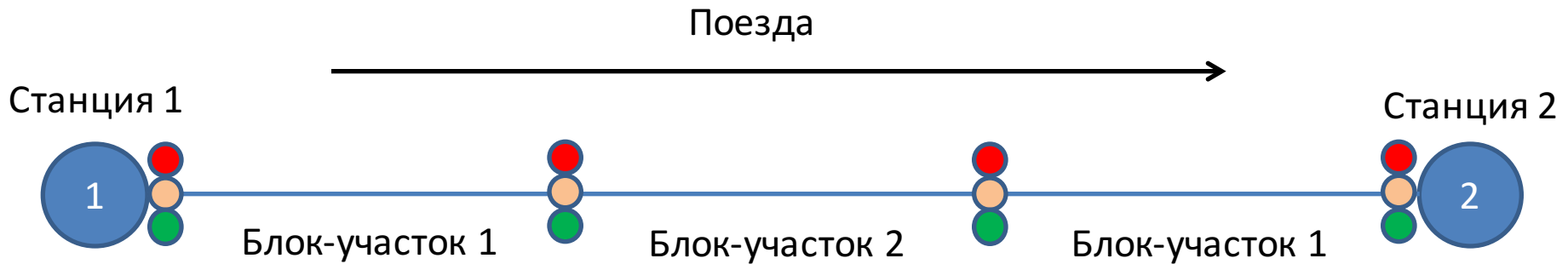
1. Формулировки проблемы - S_1^j
..... S_1^j
2. Определение границ системы - S_2^j
..... S_2^j
3. Формулирование модели - S_3^j
..... S_3^j
4. Подготовка данных - S_4^j
..... S_4^j
5. Разработка модели - S_5^j
..... S_5^j
6. Оценка адекватности - S_6^j
..... S_6^j
7. Тактическое планирование- S_{71}^j
..... S_{71}^j
8. Стратегическое планирование - S_8^j
..... S_8^j
9. Экспериментирование - S_9^j
..... S_9^j
10. Интерпретация результатов - S_{10}^j
..... S_{10}^j
11. Реализация результатов ИИСС - S_{11}^j
..... S_{11}^j

Планирование экспериментов и оптимизация



1. Формулировки проблемы - S_1 ;
 S_1^j
2. Определение границ системы - S_2 ;
 S_2^j
3. Формулирование модели - S_3 ;
 S_3^j
4. Подготовка данных - S_4 ;
 S_4^j
5. Разработка модели - S_5 ;
 S_5^j
6. Оценка адекватности - S_6 ;
 S_6^j
7. Тактическое планирование - S_{71} ;
 S_7^j
8. Стратегическое планирование - S_8 ;
 S_8^j
9. Экспериментирование - S_9 ;
 S_9^j
10. Интерпретация результатов - S_{10} ;
 S_{10}^j
11. Реализация результатов ИИСС - S_{11} ;
 S_{11}^j

Простейшая модель ж/д участка



Аналитически данную систему можно описать в терминах теории массового обслуживания, как разомкнутую марковскую многофазную одноканальную для трех фаз и многоканальную для 4 фазы систему без потерь, состоящую из:

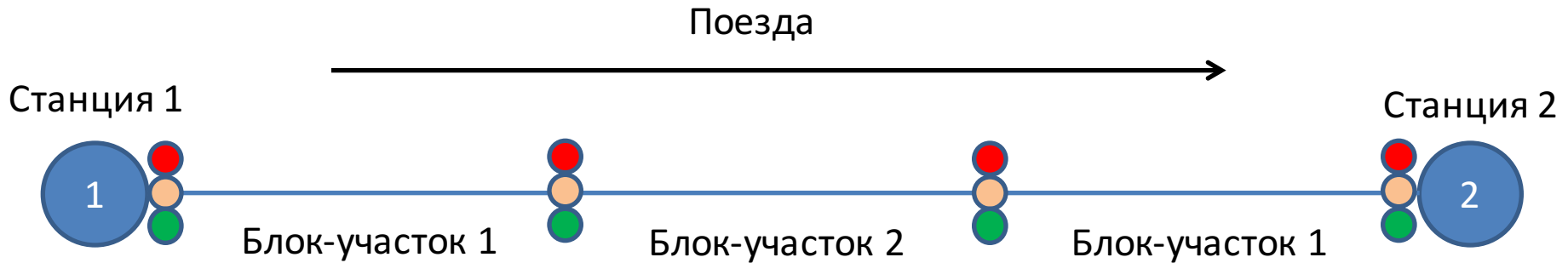
- Случайного входного потока поездов с интенсивностью $\lambda=f(t)$;
- 4 фаз обслуживания G/G/1 (со случайным законом обслуживания);
- Дисциплина обслуживания очереди - блокировка входа при занятости пути.

Время прохождения участка t_i , рассчитывается, как случайное из значения среднего значения для данного участка +/- отклонение от среднего δt_i ;

Необходимо определить:

- Пропускную способность участка (N) и блок участков (n_i)
- Среднюю длину очередей (Q_i)
- Коэффициенты загрузки участка (K) и блок участков (k_i)

Исследование ж/д участка



Вывод

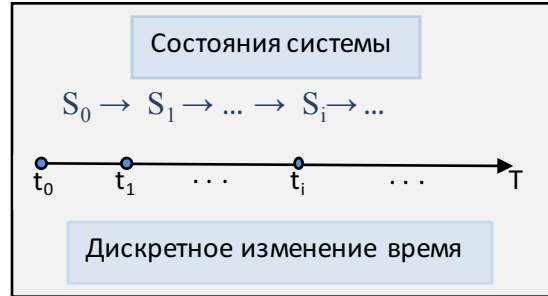
Даже такую простейшую модель можно решить методами теории массового обслуживания только со значительными ограничениями – при определенных видах законов распределения случайных чисел прибытия поездов и времени прохождения ими блок-участков, строго определенных алгоритмах обслуживания очередей и т.д.

Решение

Необходимо использование других, отличных от аналитических методов подходов. Наиболее поработанным и апробированным на практике являются дискретно-событийный и мультиагентный подход, которые используются в имитационном моделировании

Дискретно-событийный подход (DES)

1) Системное время



$$t_{i+1} = \begin{cases} t_i + 1 \\ t_i + \Delta t_{const} \\ t_i + \Delta t_i \end{cases}$$

2) Множество состояний системы

$$S = \{S_1, S_2, \dots, S_n\}$$

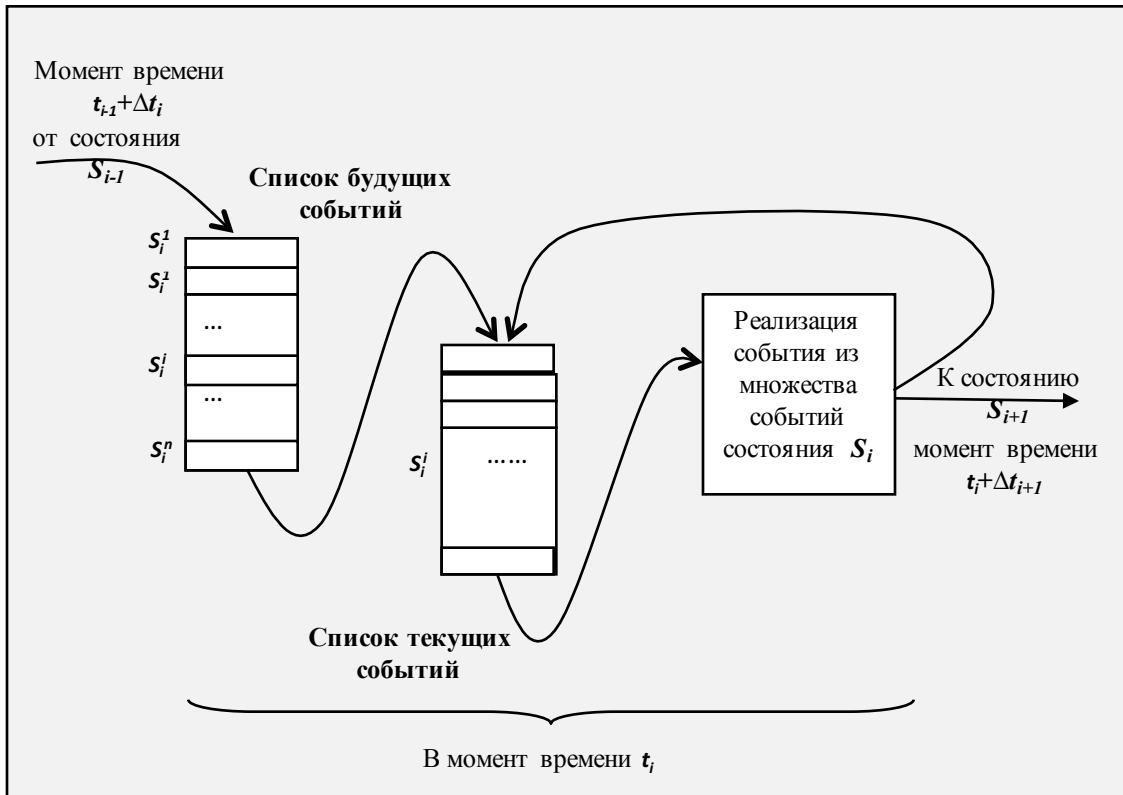
3) каждое состояние S_i состоит из некоторого

множества событий

$$S_i = \{S_j\}$$

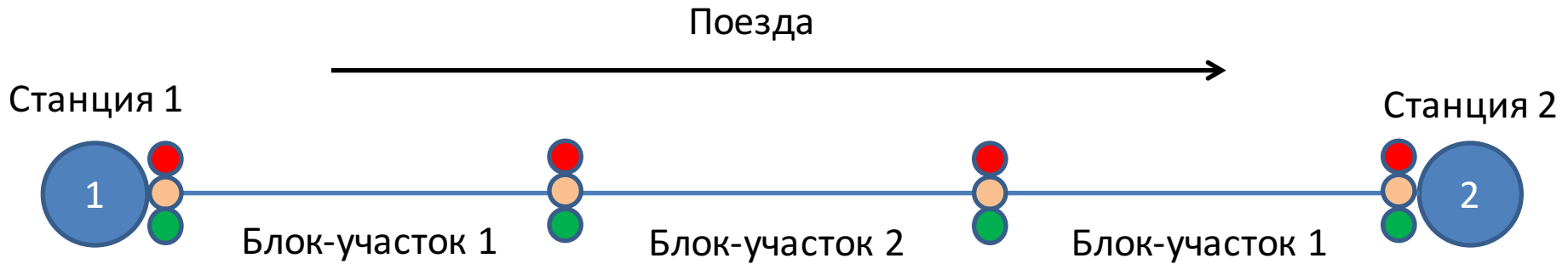
4) множества свойств элементов

$$Z = \{Z_1, Z_2, \dots, Z_m\}$$



Обработка множества событий $\{S_j\}$ состояния S_i

Формализация ж/д участка в DES



Основные типы состояний в данной модели:

- Прибытие поезда на станцию 1
- Ожидание освобождения блок участка 1
- Отправление поезда со станции 1
- Движение поезда блок участку 1
- Ожидание освобождения блок участка 2
- Освобождение поездом блок участка 1
-

↓
T



Почему используются языки ИМ?

1

Алгоритм продвижения «часов» моделирования, анализа различных списков событий, переход системы из одного состояния в другое, генерация случайных чисел, накопление статистики о частях и всей системе системы и т.д. легко программируется

2

Исследователь может сам написать эту программу, и некоторые до сих пор делают это сами на Си, Дельфи и других общецелевых языках программирования

3

В большинстве случаев не имеет смысла «изобретать велосипед», а нужно воспользоваться одним из множества стандартных языков ИМ, которых в мире существует более 500

4

Наиболее используемые языки ИМ в математическом плане дают достаточно точный (в рамках статистической погрешности) результат, что многократно подтверждено практикой реальных исследований

Модель ж/д участка на GPSS World

*Количество путей на станции

STAN2 STORAGE 2

*Блок задания начальных значений параметров

INITIAL X1,1020

; межпоездной интервал 17 мин.;

10 GENERATE X1,180,,,

; поступление поездов на вход участка;

12 SAVEVALUE VHODPOTOK+,1

; общее кол-во поездов, поступивших на вход участка;

движение поездов по блок участку 1;

28 QUEUE BU1

; очередь поездов к блок-участку;

44 SEIZE BLU1

; занятие блок-участка;

75 DEPART BU1

; выход из очереди;

47 ADVANCE 641,5

; задержка на время движения по блок-участку;

80 RELEASE BLU1

*движение поездов по блок участку 2;

QUEUE BU2

; очередь поездов к блок-участку;

44 SEIZE BLU2

; занятие блок-участка;

75 DEPART BU2

; выход из очереди;

47 ADVANCE 485,5

; задержка на время движения по блок-участку;

80 RELEASE BLU2

*движение поездов по блок участку 3;

QUEUE BU3

; очередь поездов к блок-участку;

44 SEIZE BLU3

; занятие блок-участка;

75 DEPART BU3

; выход из очереди;

47 ADVANCE 470,5

; задержка на время движения по блок-участку;

81 RELEASE BLU3

*движение поезда по станции

258 GATE NU STAN2

264 ENTER STAN2

266 ADVANCE 300,300

268 LEAVESTAN2

1840 TERMINATE

*Период времени 24 часа (87600 сек.);

1540 GENERATE 87600

1550 TERMINATE 1

Имитационное приложение «Участок»

Новая форма

Ввод данных | Планирование | Моделирование | Результаты


Межпоездной интервал **Входной поток поездов**

Движение поезда по участку

	Блок участок 1	Блок участок 2	Блок участок 3
Среднее время на участке	<input type="text" value="641"/>	<input type="text" value="485"/>	<input type="text" value="470"/>
Модификатор интервал	<input type="text" value="5"/>	<input type="text" value="5"/>	<input type="text" value="5"/>

Движение поезда по станции

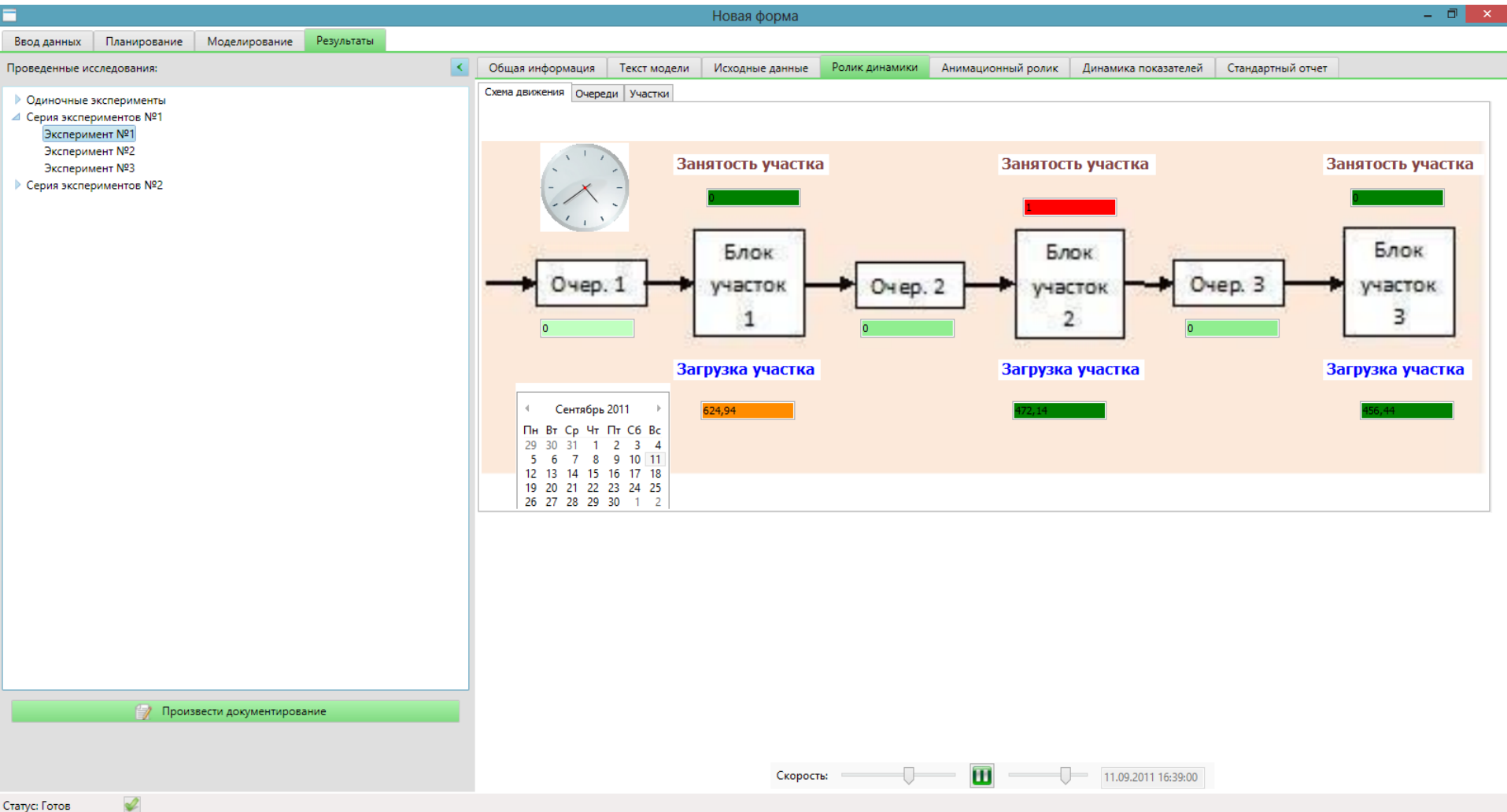
Среднее время	<input type="text" value="300"/>
Модификатор интервал	<input type="text" value="300"/>



Статус: Готов

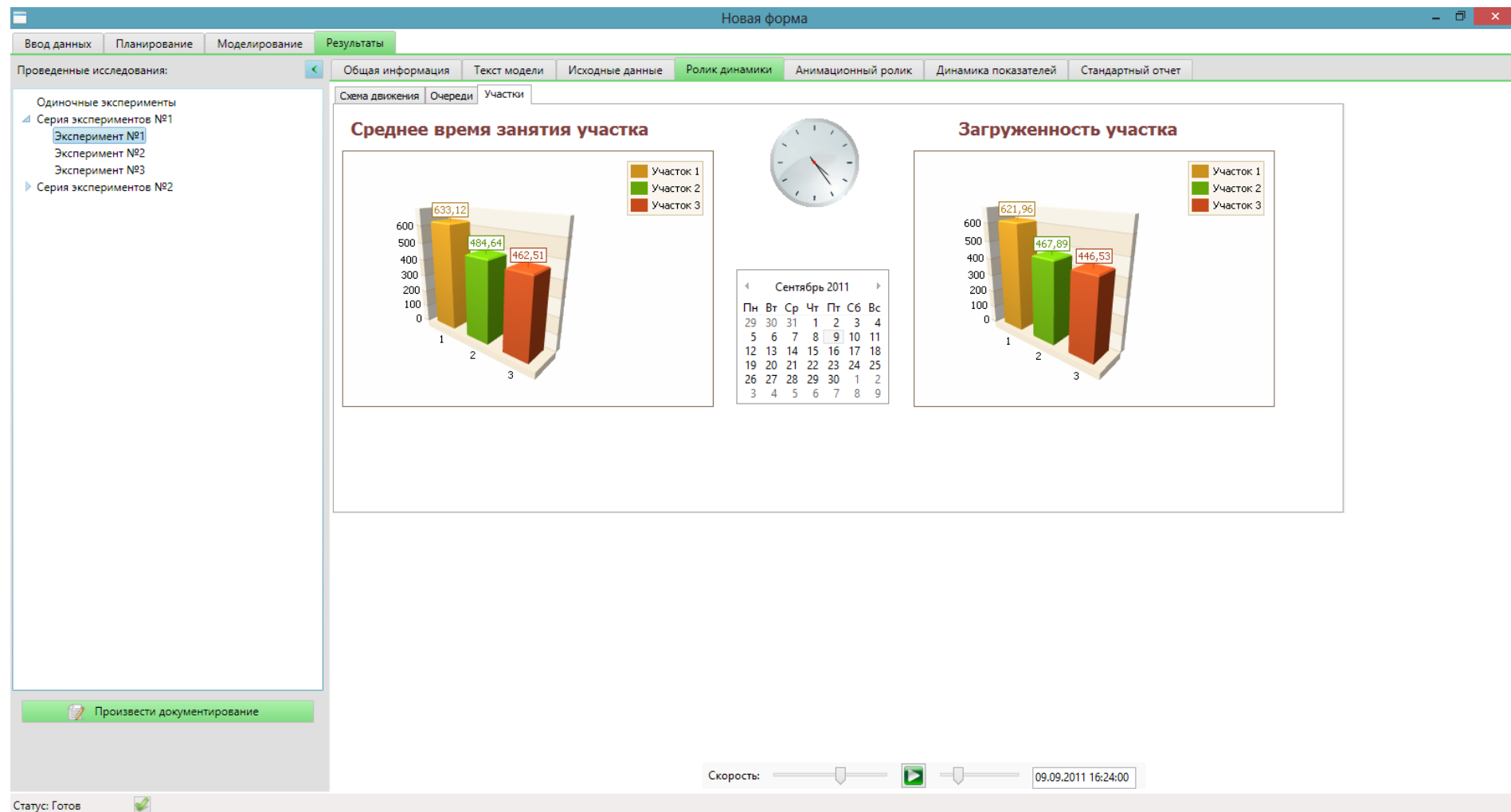
Форма ввода данных

Имитационное приложение «Участок»



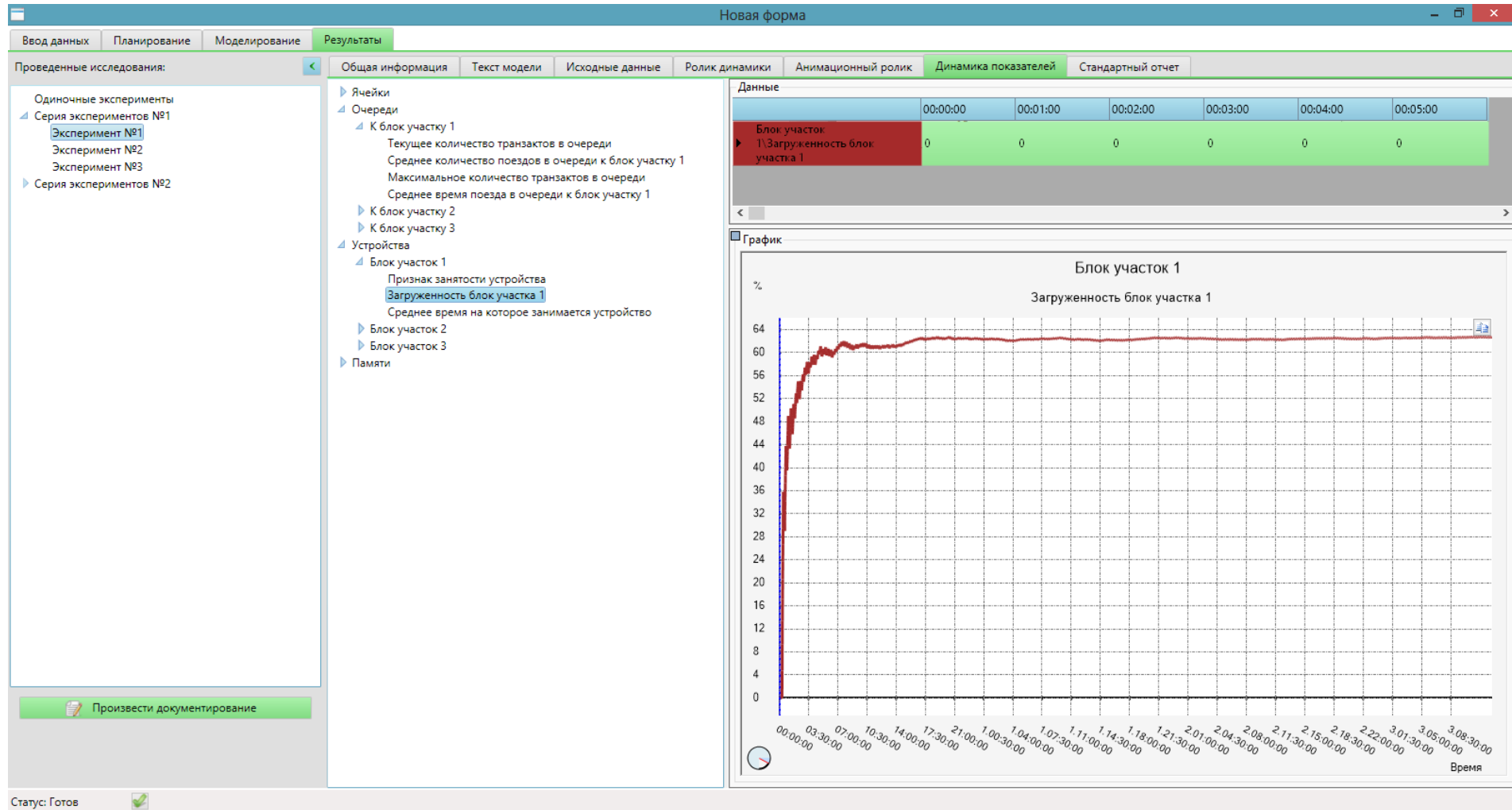
Форма динамики хода моделирования (схема)

Имитационное приложение «Участок»



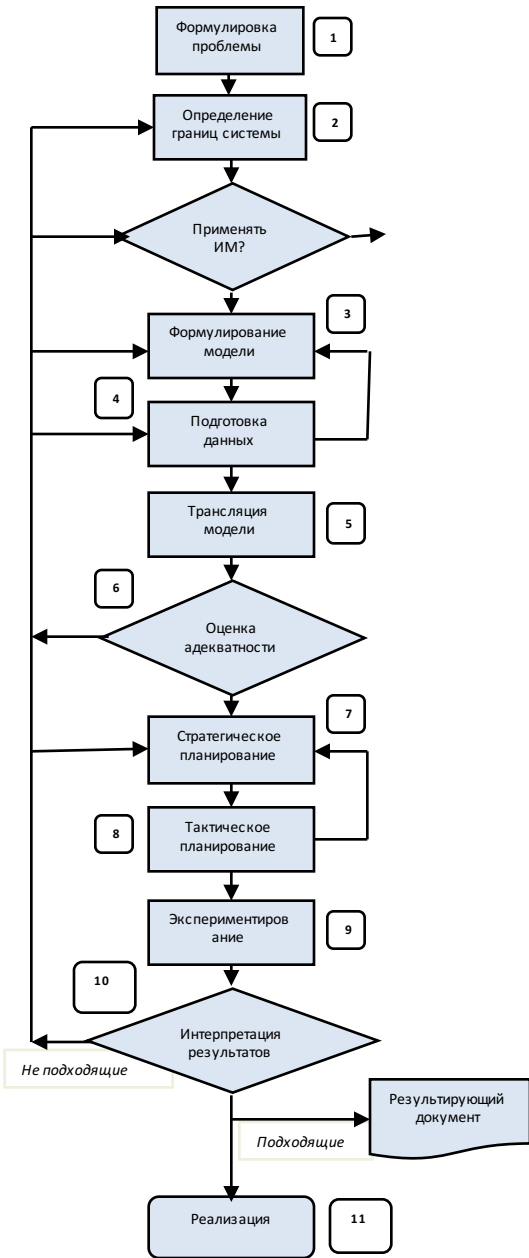
Форма динамики хода моделирования (диаграммы)

Имитационное приложение «Участок»



Форма динамики показателей системы

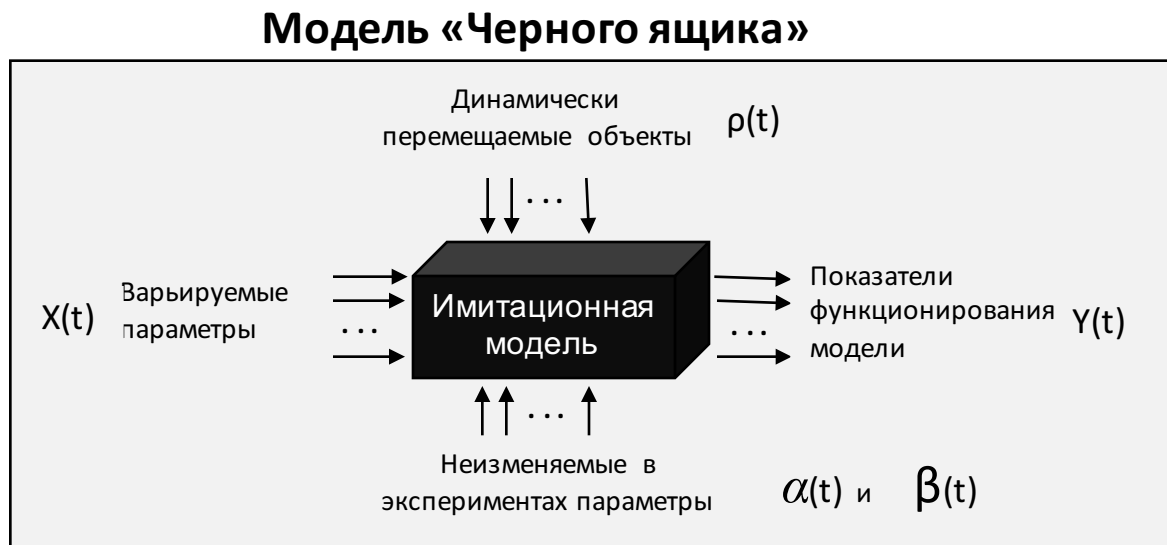
Поиск оптимального решения в ИМ



1. Формулировки проблемы - S_1 ;
..... S_1^j
2. Определение границ системы - S_2 ;
..... S_2^j
3. Формулирование модели - S_3 ;
..... S_3^j
4. Подготовка данных - S_4 ;
..... S_4^j
5. Разработка модели - S_5 ;
..... S_5^j
6. Оценка адекватности - S_6 ;
..... S_6^j
7. Тактическое планирование - S_{71} ;
..... S_7^j
8. Стратегическое планирование - S_8 ;
..... S_8^j
9. Экспериментирование - S_9 ;
..... S_9^j
10. Интерпретация результатов - S_{10} ;
..... S_{10}^j
11. Реализация результатов ИИСС - S_{11} ;
..... S_{11}^j

Поиск оптимального решения в ИМ

Планирование экспериментов, (D оптимальное планирование, отсеивающие эксперименты и т.д.



Построение целевой функции исследования
(например, в виде регрессии)



Поиск оптимального решения
(например, использование средств многофакторного анализа)

