

УДК 004.588

ББК 74.5

Ч-751

В. З. Чокоей
Иркутск, Россия

КОМПЬЮТЕРНЫЕ СРЕДСТВА ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ АВИАТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

В статье представлены математические подходы к имитационному моделированию процессов функционирования сложных организационно-технических систем типа авиапредприятий, а также обзор функциональных возможностей и основных интерфейсных решений по пакету компьютерных инструментов моделирования. Данные инструменты позволяют расширить круг решаемых задач анализа и оптимизации систем массового обслуживания, характерных для авиапредприятий.

Предполагается, что предлагаемые инструменты имитационного моделирования могут найти применение не только в образовательном процессе, но и в реальной практике эксплуатирующих и исследовательских организаций гражданской авиации.

Ключевые слова: авиатранспортная система, имитационное моделирование, генератор случайных чисел, генерация потоков с заданным законом распределения, система массового обслуживания.

V. Z. Chokoj
Irkutsk, Russia

COMPUTER TECHNIQUE OF SIMULATING THE OPERATION PROCESSES OF AIR TRANSPORT SYSTEMS

The article presents the mathematical approach to simulating the operation processes of complex organizational and technical systems (such as aviation enterprises) as well as the review of functional capabilities and main interface solutions on the simulating tools package. The tools enable to expand the range of problems to be solved for analysis and optimization of waiting systems typical for aviation enterprises.

The simulating tools are supposed to find application not only in the educational process, but also in the real experience of operation and research organizations of civil aviation.

Key words: air transport system, simulating, random number generator, generation of flows with the desired distribution law, waiting system.

В последние годы становится все более очевидной необходимость количественного базиса при формировании административных, инженерных и иных решений. В сложившихся экономических условиях, при наличии существенных рисков, становится недопустимым принятие решений на основе интуиции, накопленного опыта, реализации известного метода «проб и ошибок». В этих условиях можно предполагать востребованность программного обеспечения, реализуемого на рабочих местах. Такого обеспечения, которое доступно пользователям без дополнительной математической и компьютерной подготовки.

Одним из резервированных направлений прикладной математики является имитационное моделирование процессов функционирования систем, описание которых средствами теории массового обслуживания приводит к недопустимому загромождению получаемых моделей и, как следствие, к некорректным результатам решения задач, особенно в условиях высокой цены ошибки.

Имитационное моделирование используют при исследовании вероятностных объектов в условиях ограниченного объема исходных данных. Недостающие данные (например, поток заявок на обслуживание, поток обслуживаний заявок) генерируют при помощи вероятностных математических моделей, то есть, многократно имитируют функционирование объекта. Получаемые результаты, после их обобщения, используют для оценки и оптимизации необходимых показателей объекта.

Имитационное моделирование выполняют в следующей последовательности:

- формируют граф функционирования объекта, вершинами которого являются характерные состояния, а дугами – каналы переходов между состояниями (пример графа представлен на *рис. 1*);

- для каждого канала известными способами устанавливают теоретический закон перехода между состояниями и определяют численные значения параметров этого закона;

- для каждого канала преобразуют формулу интегральной функции распределения $P(t)$ относительно времени t ;

- для каждого канала определяют способ формирования и последовательность значений случайных равномерно распределенных в диапазоне $[0, 1]$ чисел ζ , например, с помощью таблиц случайных чисел или с помощью ЭВМ;

- для каждого канала полученные случайные числа ζ_i вместо вероятности $P(t)$ подставляют в преобразованные формулы интегральных функций распределения и рассчитывают последовательности значений t_i . Эти последовательности представляет собой имитацию потока неких событий, например, переходящих по каналу элементов моделируемой системы;

- для каждого канала, используя полученные последовательности значений t_i , рассчитывают необходимые показатели моделируемой системы, например: динамику вероятностей пребывания неких элементов в состояниях, динамику интенсивности переходов, динамику среднего времени пребывания элементов в состояниях, в очередях и т. д.

Варьируя исходные данные описанным способом, можно не только однократно оценить необходимые динамические характеристики объекта, но и оптимизировать их.

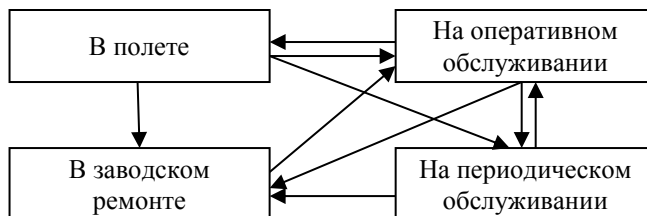


Рис. 1. Пример графа переходов авиационного парка в характерные состояния

При имитационном моделировании при генерировании потоков событий (переходов) важным является вопрос перевода значений случайных чисел в значения, соответствующие выбранному закону распределения. В этой связи используют различные формулы пересчета, в частности, для непрерывных распределений:

- для равномерного распределения $t_i = c + (d - c) \cdot \zeta_i$;
- для экспоненциального распределения $t_i = -\frac{1}{\lambda} \cdot \ln(1 - \zeta_i)$;
- для распределения Вейбулла $t_i = -b \cdot [\ln(\zeta_i)]^{\frac{1}{a}}$;
- для гамма-распределения $t_i = -\frac{1}{\lambda} \cdot \sum_{j=1}^{\eta} \ln(1 - \zeta_{ij})$;
- для нормального распределения в простейшем случае $t_i = \bar{t} + \sigma_t \cdot \zeta_i$;
- для нормального распределения с повышенной точностью $t_i = \bar{t} + \sigma_t \cdot$

$$\left(\sum_{j=1}^{\eta} \zeta_{ij}\right);$$

- для нормального распределения с высокой точностью (метод Тигроу):

$$t_i = \left(\left(\left((f_1 \cdot g^2 + f_2)g^2 + f_3 \right) \cdot g^2 + f_4 \right) \cdot g^2 + f_5 \right) \cdot f,$$

где t_i – случайное i -е значение, имеющее заданное распределение;

c, d – левая и правая границы диапазона равномерного распределения;

λ – параметр экспоненциального распределения и гамма-распределения;

a, b – параметры места и формы распределения Вейбулла;

\bar{t}, σ_t – параметры места и формы нормального распределения;

ζ_i, ζ_{ij} – равномерно распределенные в интервале $[0, 1]$ случайные числа;

η – задаваемые целые числа

$f_1 = 0,029899776; f_2 = 0,008355968; f_3 = 0,076542912; f_4 =$

$0,252408784; f_5 = 3,949846138$ – константы метода;

$$g = \left(\sum_{i=1}^{12} \zeta_i - 6 \right) / 4.$$

Функциональность и интерфейсные решения по инструментам имитационного моделирования. В рамках рассмотренных подходов на факультете Эксплуатации летательных аппаратов Иркутского филиала МГТУ ГА сформирован пакет инструментов имитационного моделирования процессов функционирования сложных организационно-технических систем типа авиапредприятий. Обычно имитационные модели формируют для конкретной системы, однако имитационные модели, представленные в пакете, отличаются известной универсальностью, позволяющей моделировать работу большей части подразделений авиапредприятий, например, тех, в которых выполняют обслуживание воздушных судов.

Представляемые инструменты интегрированы в пакет расчетно-информационного обеспечения Модельер 2.0 и для пользователей доступны через группу «Имитационные модели» головного меню (рис. 2) и через группу «Процессы в системах».

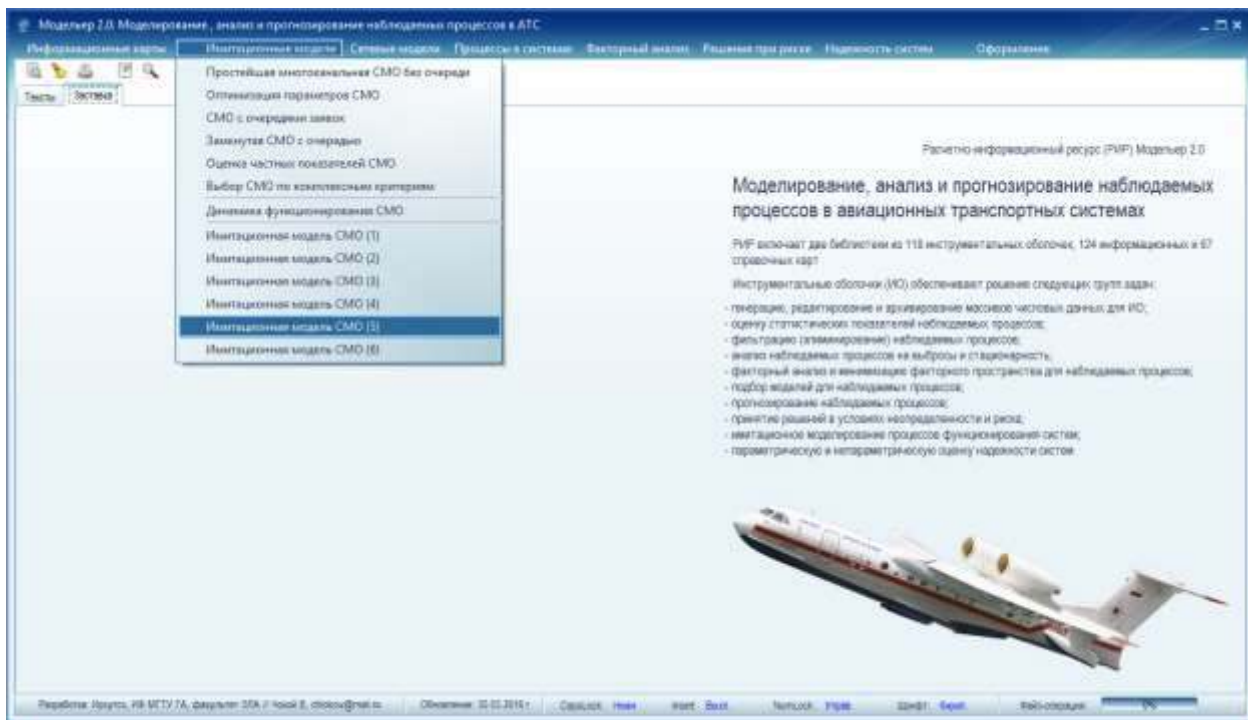


Рис. 2. Головная панель пакета Модельер 2.0
(развернута подгруппа меню «Имитационные модели»)

В пакете Модельер 2.0 представлены следующие имитационные модели (ИМ):

- ИМ одноканальной СМО с очередями и разновесомыми заявками (рис. 3);
- ИМ одноканальной СМО с двумя источниками разновесомых заявок (рис. 4);
- ИМ одноканальной СМО с ограниченной очередью (рис. 5);

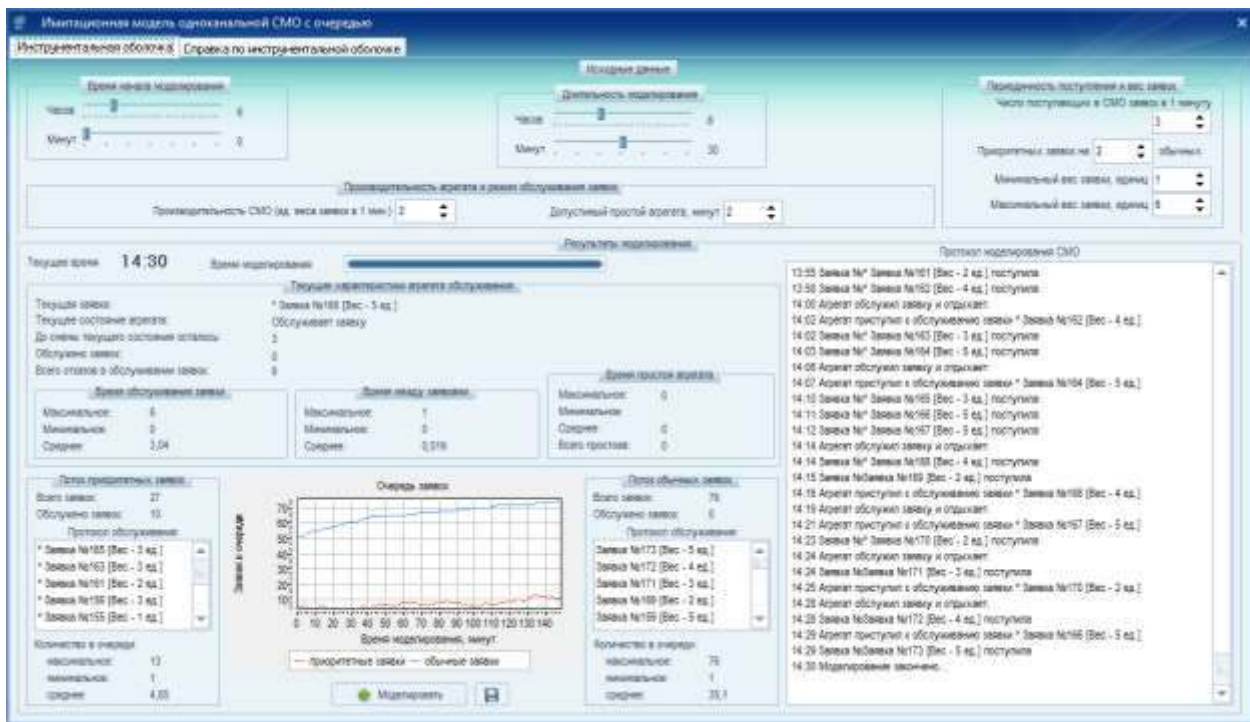


Рис. 3. Панель инструмента «ИМ одноканальной СМО с разновесомыми заявками»

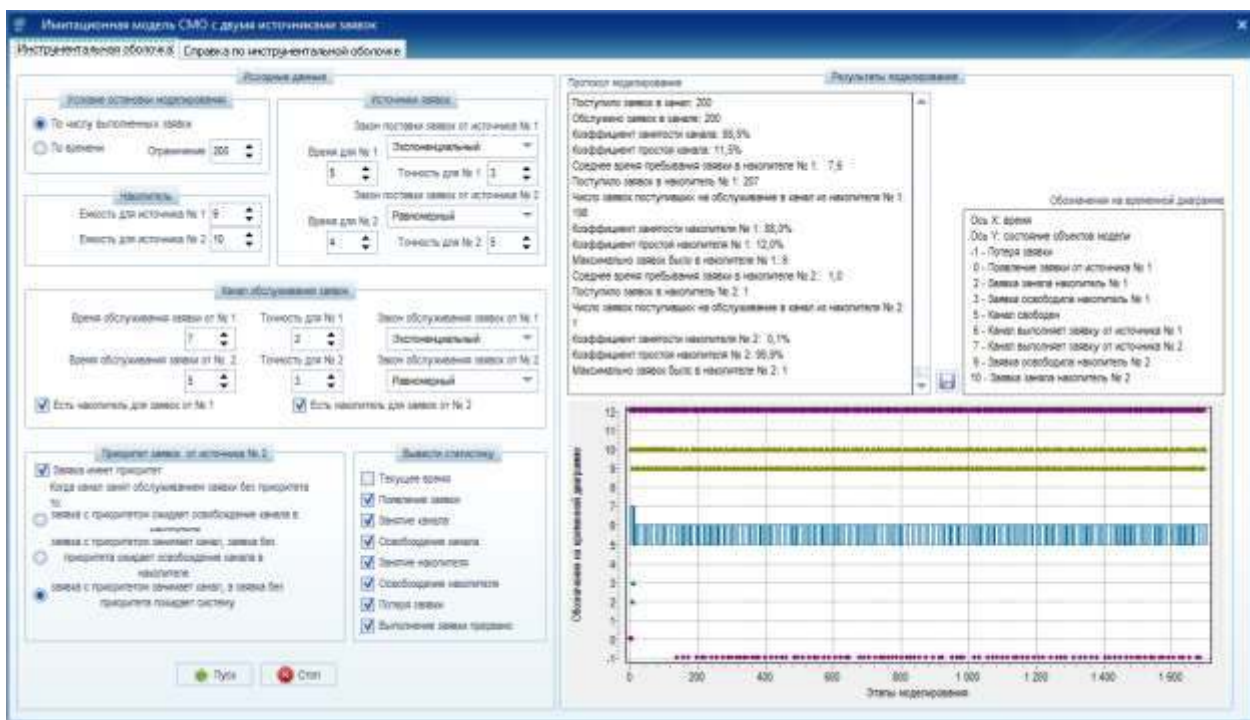


Рис. 4. Панель инструмента «ИМ одноканальной СМО с двумя источниками заявок»

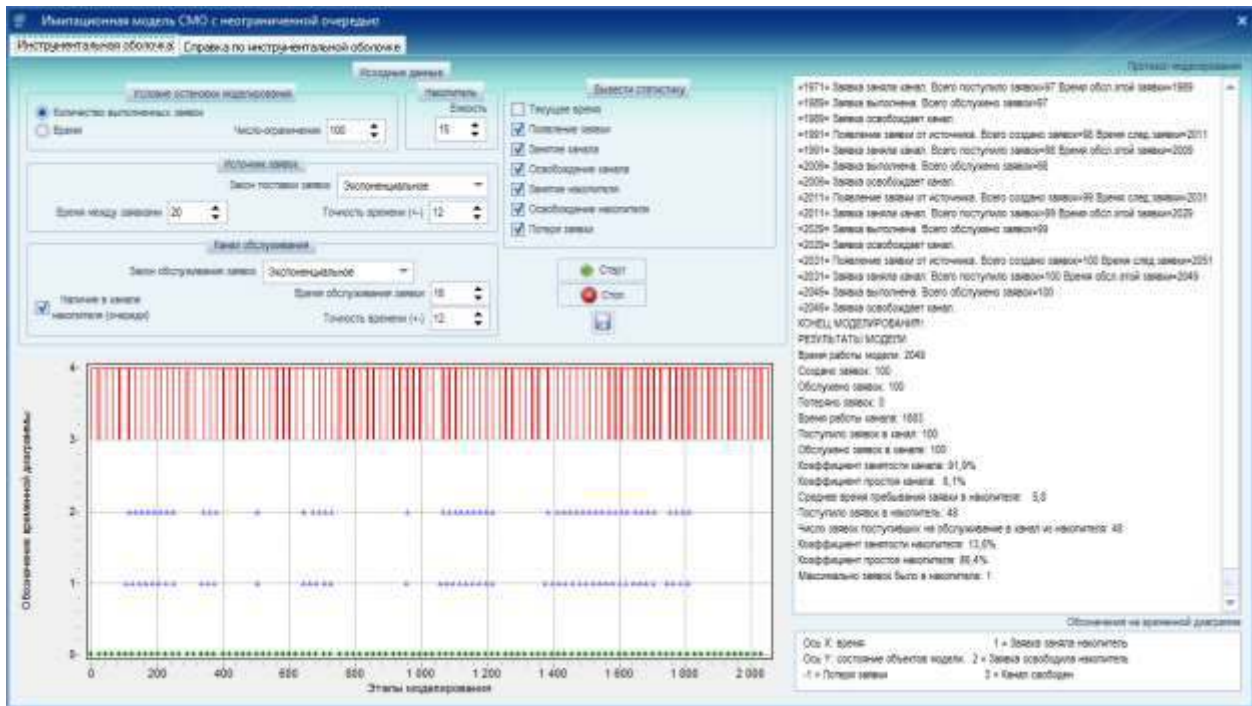


Рис. 5. Панель инструмента «ИМ одноканальной СМО с ограниченной очередью»

- ИМ одноканальной СМО с очередью и выводом показателей в виде математических ожиданий, дисперсии и СКО;
- ИМ трехканальной СМО с отдельными очередями (рис. 6);
- ИМ многоканальной СМО с очередью (рис. 7);
- ИМ СМО с неограниченной очередью или без нее;
- многофункциональный генератор процессов (массивов числовых данных) с задаваемыми: законом распределения, трендом, интервенциями, скачками – с возможностью объединения, редактирования, нормирования и т. д. (рис. 8).



Рис. 6. Панель инструмента «ИМ трехканальной СМО с отдельными очередями»

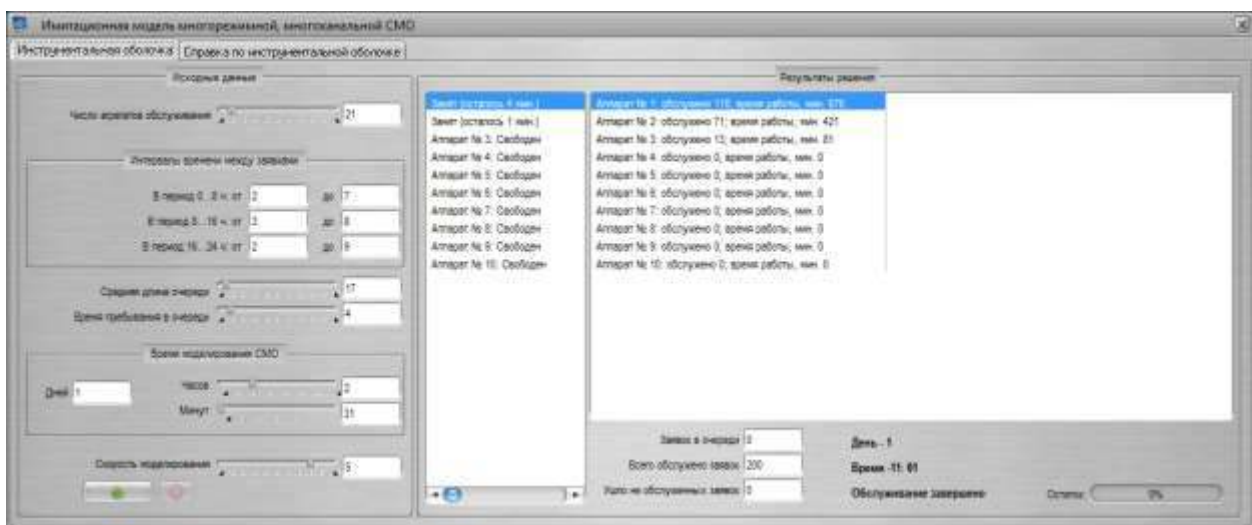


Рис. 7. Панель инструмента «ИМ многоканальной СМО с очередью»

В большинстве перечисленных инструментов предусмотрена возможность задания актуального закона распределения поступающих заявок и времени их обслуживания, указания режима очередей и ограничений по ним, длительности и масштаба (замедление или ускорение) времени моделирования, ведения протоколов моделирования с возможностью их записи в текстовые файлы. На па-

нелях инструментов предусмотрена закладка «Справка по инструментальной оболочке», в которую загружается справочная информация, необходимая пользователям с недостаточным опытом работы. Справка содержит следующую информацию: проверка работоспособности инструмента, показания к применению инструмента, примеры решаемых задач, особенности подготовки исходных данных и интерпретации получаемых результатов.

Исходные данные вводятся с клавиатуры в редактируемые одиночные поля, выбираются курсором из списков, задаются перемещением движков (рис. 7). Кроме этого, табличные исходные данные могут загружаться из предварительно подготовленных файлов (активацией кнопки с пиктограммой папки).

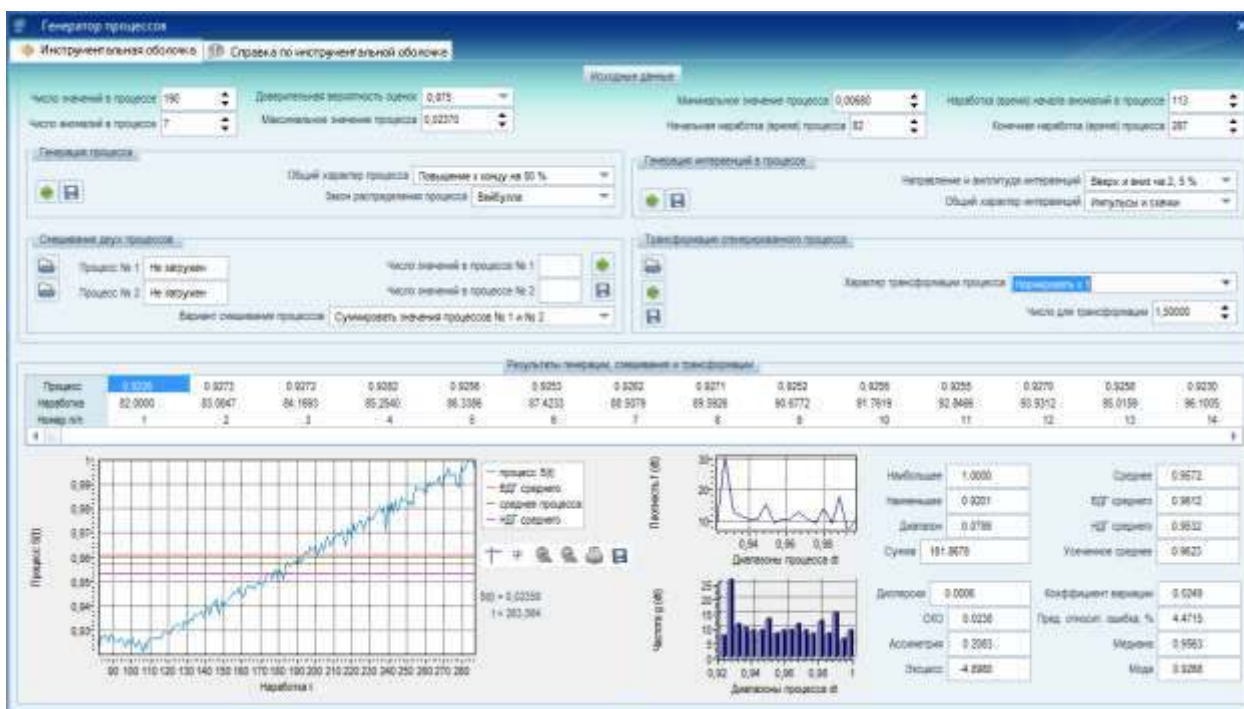


Рис. 8. Панель инструмента «Генератор процессов»

Запуск инструмента на решение задачи осуществляется активацией курсором кнопки с пиктограммой стрелки. Результаты решения выводятся: в единичные, не редактируемые поля, в не редактируемые таблицы и на графики. Таблицы исходных данных и результатов могут быть сохранены в файлах, для чего активируется кнопка с пиктограммой дискеты. Дополнительно графические результаты могут быть: распечатаны на принтере (для чего активируется

кнопка с пиктограммой принтера) и масштабированы (для чего активируются кнопки с пиктограммами лупы).

Для съема информации с графика о промежуточных значениях аргумента и функции используется визирка, активируемая кнопкой с пиктограммой перекрестия. Цвет визирки может быть подобран при активации кнопки с пиктограммой палитры. Текущие значения функции и аргумента, снимаемые визиркой с графика, выводятся в поля под кнопками графиков. Для информационного обеспечения работы пользователей в пакет включены информационные карты, доступ к которым возможен через группу «Информационные карты» головного меню. Эти карты содержат иллюстрированные материалы как теоретического, так и практического характера и предназначены для самостоятельной проработки актуальной предметной области перед использованием инструментальных оболочек. Данные материалы также могут быть использованы и при проведении лекций.

Пакет Модельер 2.0 представляет собой автономное полнофункциональное windows-приложение, функционирующее на типовых IBM-подобных ЭВМ с операционной системой Windows-xx. Для инсталляции пакета на жёстком диске достаточно 1,8 Гб памяти.

Особенностями пакета являются:

- наличие двух встроенных справочных систем – по общим вопросам моделирования и статистического анализа (информационные карты, доступные из головного меню) и справок по каждому инструменту (представлены на отдельной вкладке каждой инструментальной панели);

- наличие возможности одномоментного изменения дизайна панелей путём загрузки соответствующего скина (через группу «Оформление» головного меню), пример – на *рис. 8*;

- наличие всплывающих подсказок по назначению интерфейсных кнопок и движков, а также по формату и допустимому диапазону вводимых числовых данных;

– ограниченное использование в справочных текстах и в наименованиях интерфейсных элементов инструментов специфических терминов, требующих дополнительной математической подготовки.

Библиографический список

1. *Кабков П. К.* Исследование операций и системный анализ. М.: МГТУ ГА, 2005. 90 с.
2. *Краковский Ю. М.* Имитационное моделирование: учебное пособие. Иркутск: Изд. ИГЭА, 2002. 137 с.
3. *Чокоей В. З., Величко И. И.* Моделирование систем и процессов: курс лекций. Иркутск: ИВВАИУ (ВИ), 2006. 258 с.
4. *Чокоей В. З., Величко И. И.* Моделирование систем и процессов: конспект практических и семинарских занятий. Иркутск: ИВВАИУ (ВИ), 2006. 222 с.