

УДК 004.588

ББК 74.5

Ч-751

В. З. Чокой
Иркутск, Россия

ИНСТРУМЕНТЫ ОПТИМИЗАЦИИ АВИАТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ

В статье рассмотрены инструменты для ЭВМ, позволяющие решать задачи оптимизации структуры и режимов функционирования авиатранспортных систем гражданской авиации. В основу математического обеспечения данных инструментов положен аппарат теории массового обслуживания. Функциональность инструментов обеспечивает возможность моделирования многоканальных и эшелонированных, разомкнутых и замкнутых систем массового обслуживания (СМО), СМО без очередей и с различной дисциплиной очередей, СМО с различными источниками и характеристиками заявок на обслуживание.

Предполагается, что инструменты многоаспектного моделирования СМО могут найти применение не только в образовательном процессе, но и в реальной практике авиатранспортных систем гражданской авиации.

Ключевые слова: авиатранспортная система, теория массового обслуживания, поток заявок, режим обслуживания заявок, система массового обслуживания (СМО)

V. Z. Chokoj
Irkutsk, Russia

OPTIMIZATION TOOLS FOR AIR TRANSPORT WAITING SYSTEMS

The author considers ECM tools enabling to solve the problems of optimizing the structure and operating modes of civil air transport systems. The tools are mathemati-

cally rested on the apparatus of the waiting theory. The tools functionality provides modeling the multi-channel and separated, opened and completed waiting systems, waiting systems without queues or with the various queuing disciplines, waiting systems with different sources and characteristics of service requests.

The tools for multi-aspect modeling of waiting systems are supposed to find application not only in the educational process, but also in the real experience of civil air transport systems.

Key words: air transport system, waiting theory, request flow, request servicing mode, waiting system

Актуальность оптимизации авиатранспортных систем обусловлена негативным действием ряда факторов, что сказывается на известных экономических результатах и результатах, связанных с уровнем безопасности полетов. В этих условиях можно предполагать необходимость и возможность изыскания и приведения в действие имеющихся в сфере авиационного транспорта резервов эффективности. Очевидно, что для этого необходимы, например, методики и средства решения расчетно-аналитических и оптимизационных задач, а также подготовленные кадры.

Исходя из сказанного, в последние годы на факультете Эксплуатации летательных аппаратов Иркутского филиала МГТУ ГА сформирован пакет актуальных расчетно-аналитических и оптимизационных инструментов, в частности, инструментов, базирующихся на математическом аппарате теории массового обслуживания. Предметом статьи является обзор функциональности и интерфейсных решений по некоторым из них.

Системы массового обслуживания (СМО) – это системы, в которые в случайные моменты времени t поступают заявки, и которые в заданном режиме обслуживаются каналами обслуживания. После завершения обслуживания освободившийся канал приступает к обслуживанию следующей заявки. Математический аппарат моделирования СМО базируется на теории массового обслуживания, в которой входной и выходной потоки заявок обычно считают

простейшими пуассоновскими. При невозможности такого допущения используют математический аппарат имитационного моделирования, которое в данной статье далее не рассматривается.

Одноканальная СМО без очереди заявок. Математическая модель формируется путем перевода, с помощью правила Колмогорова, графа состояний (рис. 1) в систему дифференциальных уравнений. Решение этой системы позволяет получить необходимые расчетные зависимости для оценки динамики необходимых показателей СМО, как для нестационарного, так и для стационарного режимов функционирования.

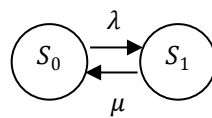


Рис. 1. Граф функционирования одноканальной СМО без очереди

Обозначения на рисунке 1: S_0 – канал свободен (ожидание прихода заявки); S_1 – канал занят (идет обслуживание заявки, если приходит очередная заявка, то СМО отказывает ей в обслуживании); λ и μ – интенсивности переходов при функционировании СМО.

$$\begin{cases} \frac{dP_0(t)}{dt} = -\lambda \cdot P_0(t) + \mu \cdot P_1(t); \\ \frac{dP_1(t)}{dt} = -\mu \cdot P_1(t) + \lambda \cdot P_0(t), \end{cases}$$

где $P_0(t)$ – вероятность состояния «канал свободен»;

$P_1(t)$ – вероятность состояния «канал занят».

Одноканальная СМО с очередью заявок. Граф состояний такой: СМО представлен на рис. 2 и представляет собой графическую модель процесса гибели-размножения.

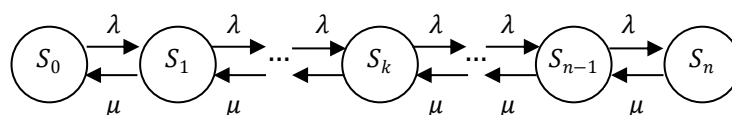


Рис. 2. Граф функционирования одноканальной СМО с очередью

Обозначения на рис. 2: S_0 – «канал свободен»; S_1 – «канал занят» (очереди

нет); S_k – «канал занят» ($k - 1$ заявок в очереди); S_n – «канал занят» ($n - 1$ заявок в очереди).

Как и для предыдущей СМО математическая модель функционирования в виде системы дифференциальных уравнений формируется путем применения правила Колмогорова. Решение этой системы позволяет получить необходимые расчетные зависимости для оценки динамики необходимых показателей СМО. Ниже, для стационарного режима, представлены полученные расчетные зависимости для финальных вероятностей, показателей производительности и показателей, характеризующих очередь заявок:

$$P_0 = \frac{1-\rho}{1-\rho^{n+1}};$$

$$P_k = P_0 \cdot \rho^k - \text{если } \rho \neq 1; k = 1, 2, \dots, n;$$

$$P_k = \frac{1}{n+1} - \text{если } \rho = 1;$$

– вероятность отказа в обслуживании заявки:

$$P_{\text{отк}} = \frac{1-\rho}{(1-\rho^{n+1}) \cdot \rho^n} - \text{если } \rho \neq 1;$$

$$P_{\text{отк}} = P_n = \frac{1}{n+1} - \text{если } \rho = 1;$$

– относительная пропускная способность СМО:

$$q = 1 - P_{\text{отк}};$$

– абсолютная пропускная способность СМО:

$$A = q \cdot \lambda;$$

– среднее число заявок, находящихся на обслуживании:

$$L_S = \frac{\rho \cdot [1 - (n+1) \cdot \rho^n + n \cdot \rho^{n+1}]}{(1-\rho) \cdot (1-\rho^{n+1})} - \text{если } \rho \neq 1;$$

$$L_S = \sum_{k=0}^n k \cdot P_k = \frac{n}{2} - \text{если } \rho = 1;$$

– среднее время пребывания заявки на обслуживании и в очереди

$$T_S = \frac{L_S}{\lambda \cdot (1 - P_n)};$$

– средняя продолжительность пребывания заявки в очереди

$$W_S = T_S - \frac{1}{\mu};$$

– среднее число заявок в очереди (длина очереди):

$$N_S = \lambda \cdot (1 - P_n) \cdot W_S.$$

В представленных зависимостях $\rho = \frac{\lambda}{\mu}$.

Многоканальная СМО без очереди заявок. Граф функционирования m -канальной СМО с отказами в обслуживании представлен на *рис. 3*. Расчетные зависимости для оценки динамики актуальных показателей получаются по аналогичной предыдущим случаям схеме – для нестационарного режима функционирования динамику исследуют путем решения системы дифференциальных уравнений, а для стационарного режима – путем приравнивания производных нулю и решения полученной системы алгебраических уравнений.

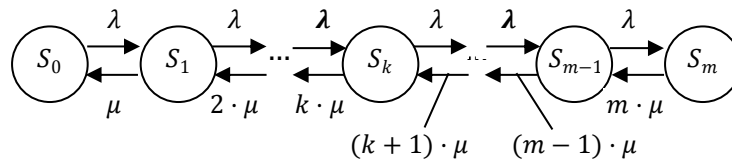


Рис. 3. Граф функционирования многоканальной СМО без очереди

Обозначения на *рис. 3*: S_0 – все каналы свободны; S_1 – занят один канал, остальные свободны; S_k – заняты ровно k каналов, остальные свободны; S_m – заняты все m каналов, заявке отказано в обслуживании.

Сходным образом формируются расчетные зависимости и для других типов СМО, например, замкнутой СМО, многоканальной СМО с различной дисциплиной очередей, эшелонированной СМО и т. д.

Функциональность и интерфейсные решения по инструментам моделирования СМО. Рассмотренные подходы к моделированию авиатранспортных систем, с использованием аппарата теории массового обслуживания, положены в основу инструментальных оболочек, приспособленных к решению группы характерных задач планирования функционирования подразделений авиакомпаний, аэропортов и обслуживающих их организаций. Эти инструменты интегрированы в пакет расчетно-информационного обеспечения Модельер 2.0 и для пользователей доступны через группу «Имитационные модели» головного меню (*рис. 4*).

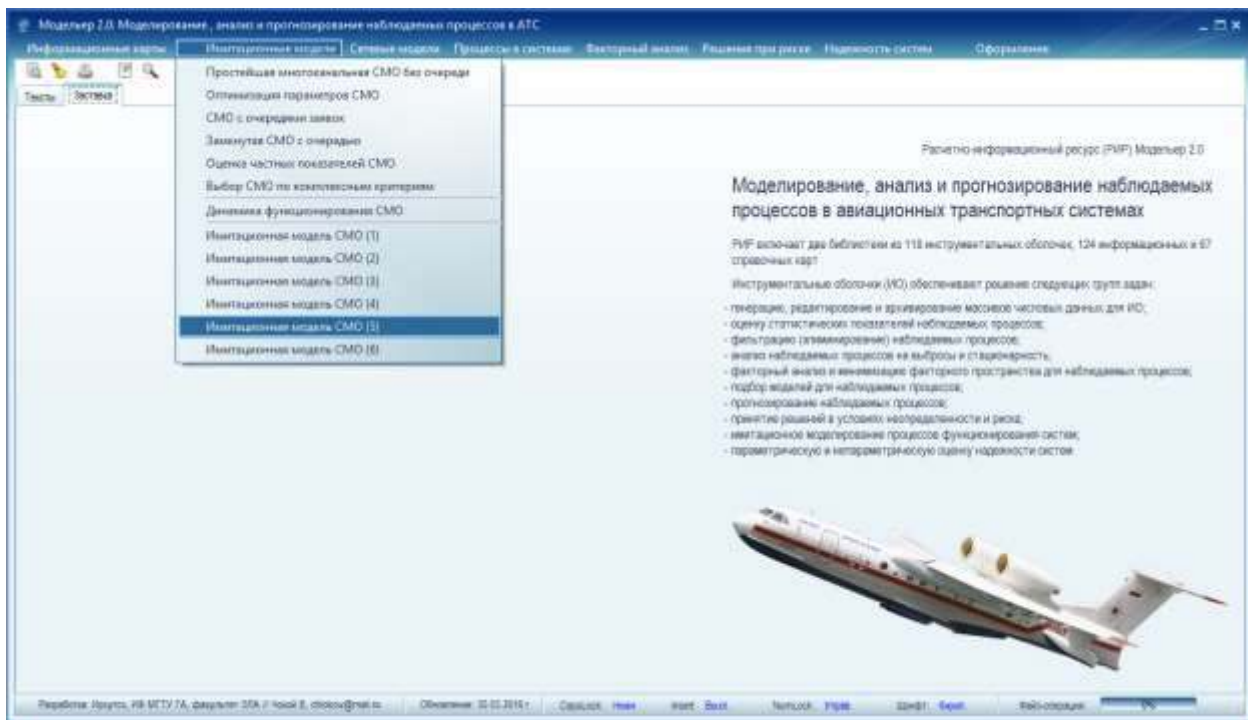


Рис. 4. Головная панель пакета Модельер 2.0
(развернута группа «Имитационные модели»)

Для доступа к инструментам курсором активизируется позиция «Динамика функционирования СМО», после чего поверх головной панели пакета выводится панель «Анализ динамики функционирования СМО различных типов» с закладками, в которых пользователю доступны следующие инструменты:

- многоканальная СМО с отказами в обслуживании (рис. 5);
- двухэшелонная СМО с отказами в обслуживании (рис. 6);
- подбор оптимальных параметров СМО без очередей (рис. 7);
- СМО с неограниченной очередью заявок (рис. 8);
- СМО с ограниченным числом заявок в очереди (рис. 9);
- СМО с ограниченным временем ожидания в очереди (рис. 10);
- замкнутая СМО;
- выбор типа СМО по комплексным критериям.

Каждый инструмент имеет закладку «Справка по инструментальной оболочке», в которую загружается справочная информация, необходимая для применения инструмента (рис. 11).

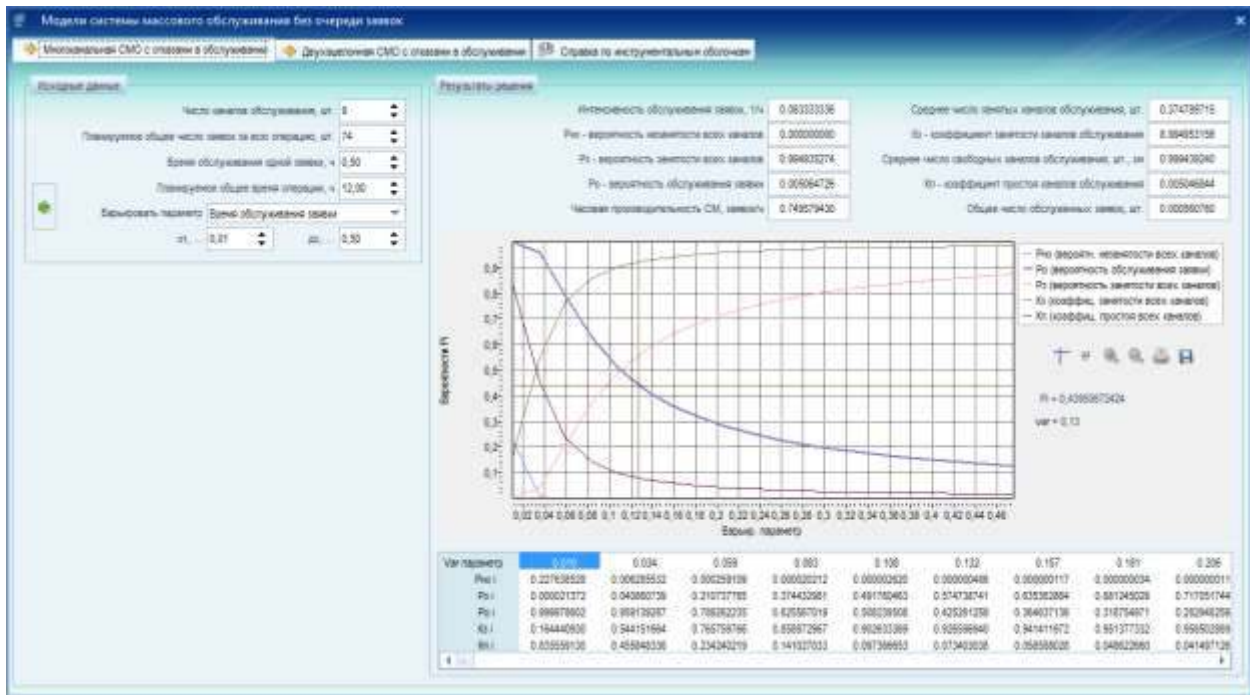


Рис. 5. Панель инструмента «Многоканальная СМО с отказами»

Интерфейсные элементы каждого инструмента в закладках сгруппированы окантовками «Исходные данные» и «Результаты решения» (рис. 5). Исходные данные вводятся: с клавиатуры – в единичные редактируемые поля; курсором из списков; с клавиатуры или из файла – в редактируемые таблицы (активацией кнопки с пиктограммой папки).

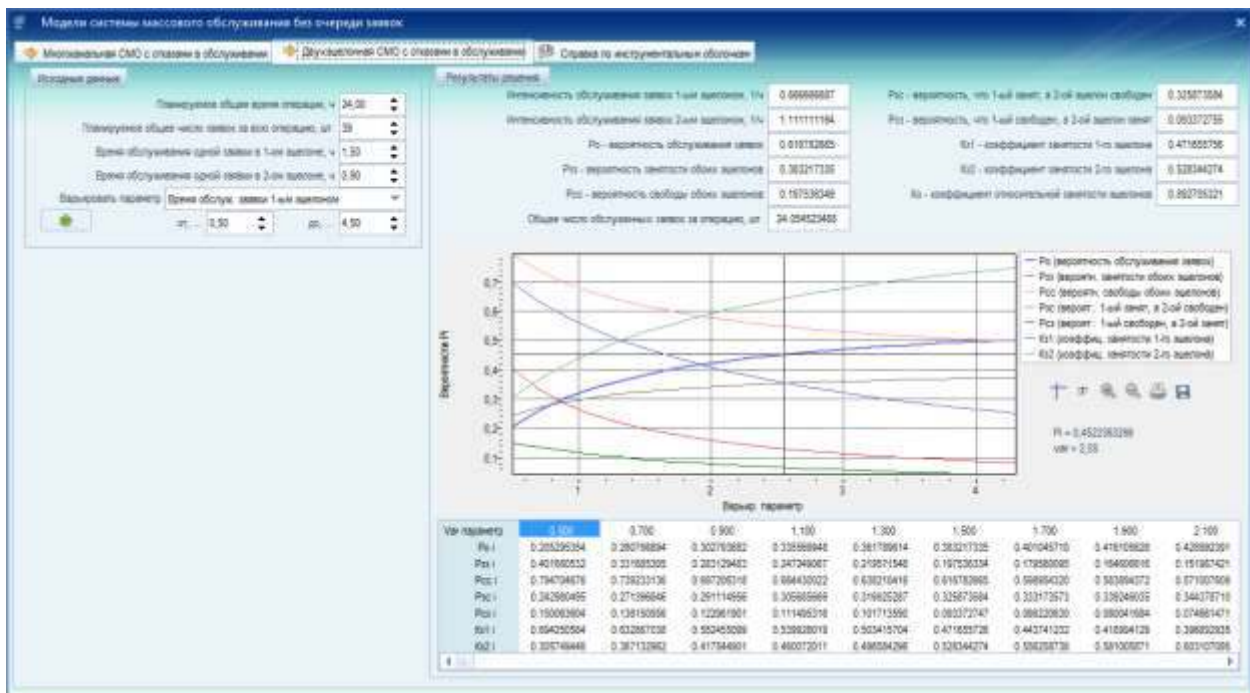


Рис. 6. Панель инструмента «Двухэшелонная СМО с отказами»

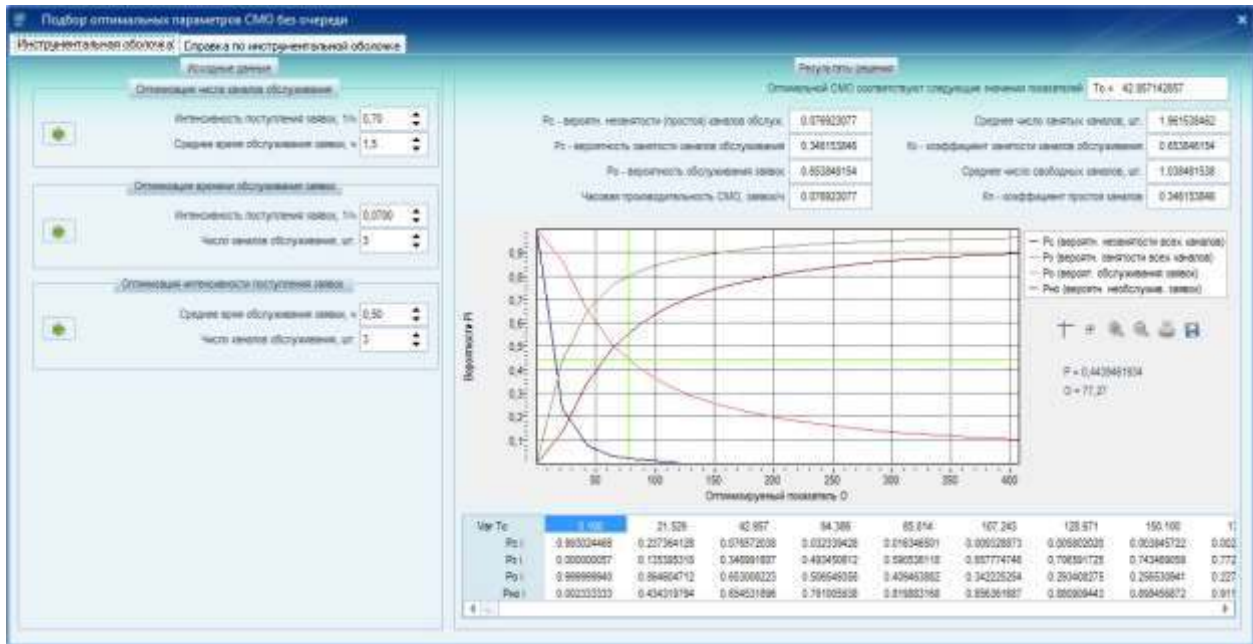


Рис. 7. Панель инструмента «Подбор оптимальных параметров СМО без очереди»

Запуск инструмента на решение задачи осуществляется активацией курсором кнопки с пиктограммой стрелки. Результаты решения выводятся: в единичные не редактируемые поля и таблицы, а также на графики. Все табличные результаты, а также отредактированные таблицы исходных данных могут быть сохранены в файлах, для чего активируется кнопка с пиктограммой дискеты.

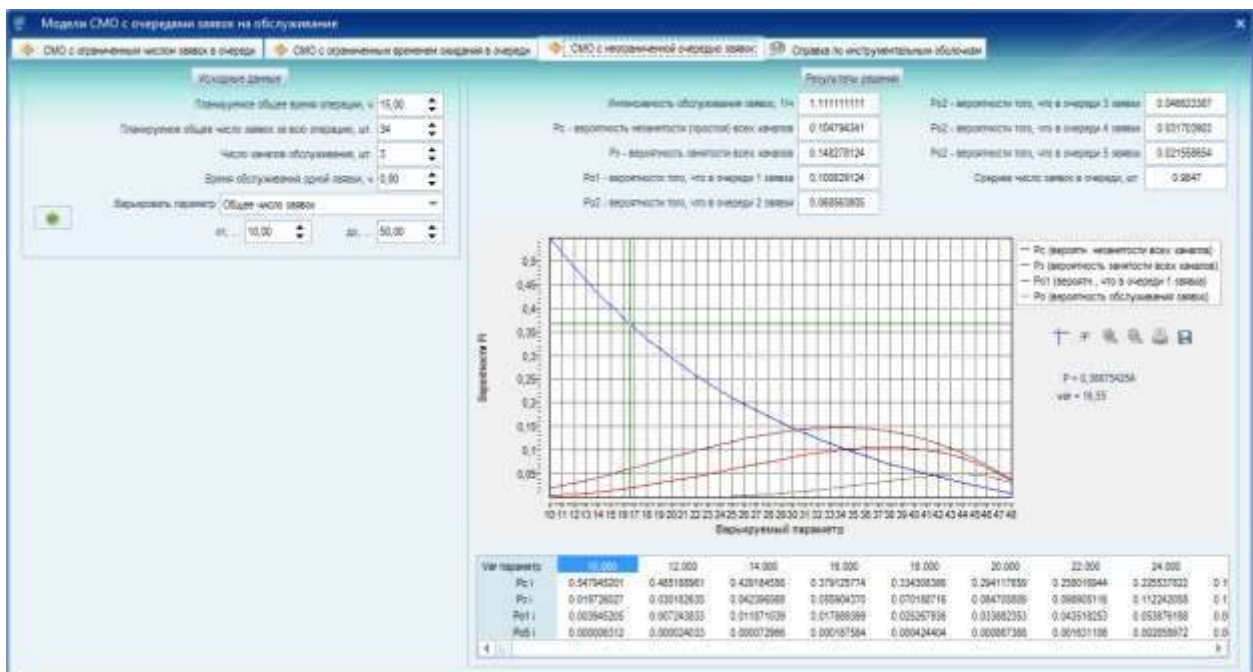


Рис. 8. Панель инструмента «СМО с неограниченной очередью»

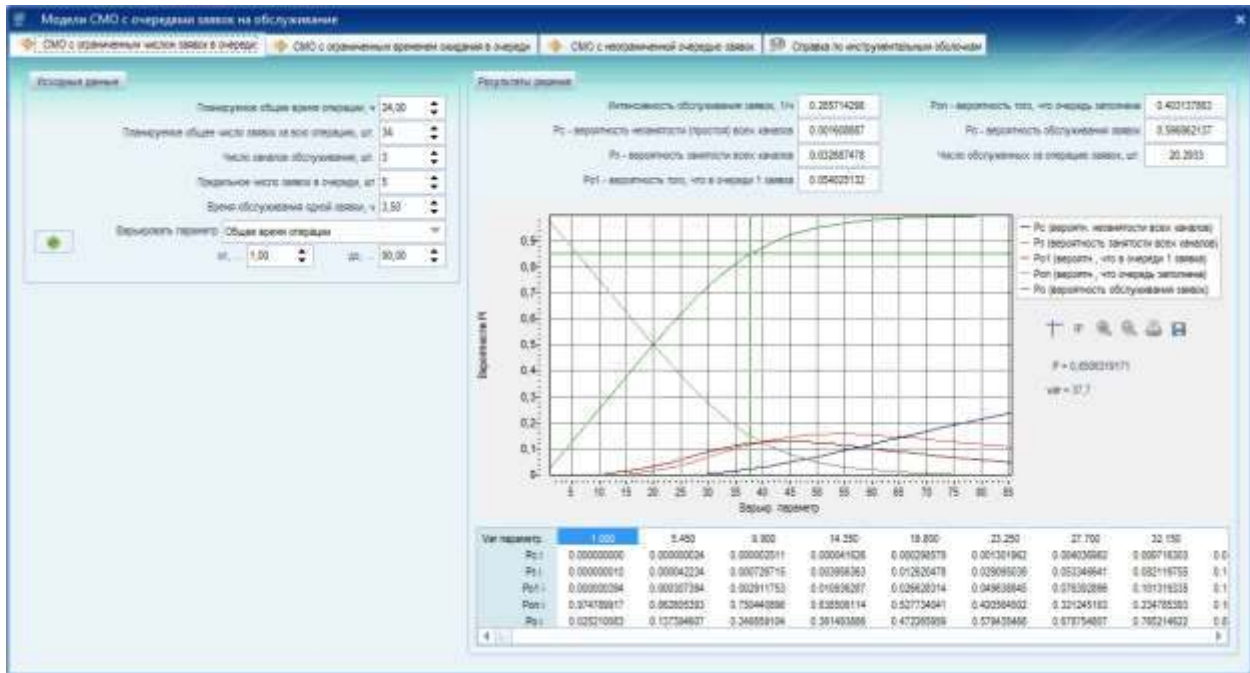


Рис. 9. Панель инструмента «СМО с ограниченным числом заявок в очереди»

Графические результаты, помимо этого, могут быть: распечатаны на принтере (для чего активируется кнопка с пиктограммой принтера), масштабированы (для чего активируются кнопки с пиктограммами лупы). Для съема информации с графика о промежуточных значениях аргумента и функции используется визирка, активируемая кнопкой с перекрестием.

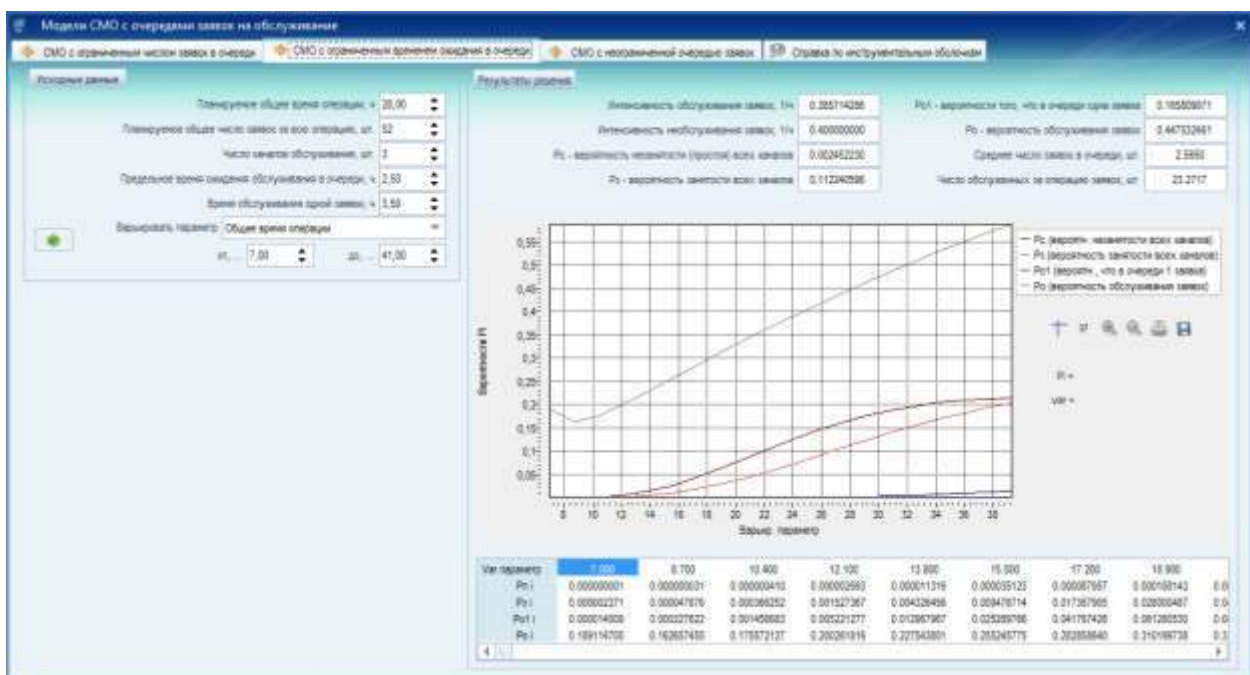


Рис. 10. Панель инструмента «СМО с ограниченным временем ожидания»

в очереди»

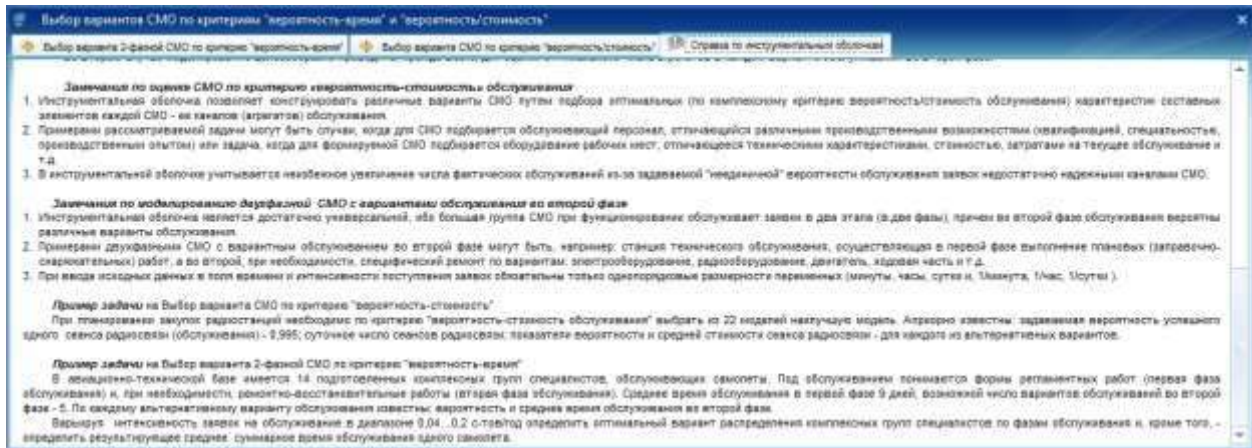


Рис. 11. Закладка «Справка по инструментальным оболочкам»

Цвет визирки может быть подобран путем активации кнопки с пиктограммой разноцветной таблицы. Текущие значения функции и аргумента выводятся в поля под кнопками (или правее кнопок) управления графической информацией (рис. 2).

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 в групповом обучении: на лекциях, практических, лабораторных и семинарских занятиях.

Пакет Модельер 2.0 оформлен как единое автономное полнофункциональное windows-приложение, функционирующее на типовых IBM-подобных ЭВМ в среде известных версий операционной системы Windows. Для инсталляции пакета на жестком диске достаточно 1,8 Гб памяти. Исполняемый файл Modeljer-M имеет объем 7,5 Мб. Сервисные файлы, файлы информационных карт, файлы с архивами решений задач, а также тестовые исходные числовые файлы

сгруппированы в 8 папок и доступны, в основном, через интерфейсные элементы инструментальных панелей.

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. *Чоккой В. З.* Моделирование систем и процессов / В. З. Чоккой, И. И. Величко. Конспект лекций и практических занятий. Иркутск: ИВВАИУ (ВИ), 2006. 173 с.