

**АВТОМАТИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ ПРОГРАММ РАСЧЁТА СИСТЕМ И СЕТЕЙ  
ОБСЛУЖИВАНИЯ****С. В. Кокорин, Ю. И. Рыжиков (Санкт-Петербург)**

Имитационное моделирование чрезвычайно трудоемко и вносит в результат статистическую погрешность. Многие задачи той же направленности можно решать численными методами теории очередей (массового обслуживания). Классический метод Эрланга не пригоден для расчёта систем с входными распределениями, заметно отличными от показательного. Современные методы теории очередей: вложенные цепи Маркова, законы сохранения, аппроксимация фазовыми распределениями – позволили разработать пакет прикладных программ МОСТ, насчитывающий около 180 процедур. Из их вызовов формируется рабочая программа решения конкретной задачи. В основу данного пакета положены два основных принципа: использование метода моментов для подбора удобных распределений времени между прибытием заявок и времени обслуживания; применение законов «сохранения» для вычисления необходимых характеристик в стационарном режиме [1].

Применение МОСТа требует хорошего знания теории очередей. Составление программы решения прикладной задачи сводится к сборочному программированию – вызовов соответствующих процедур МОСТа. В помощь непрофессиональному (не программисту и не специалисту в области теории очередей) пользователю создана оболочка А-МОСТ («Автоматизированный-МОСТ»), позволяющая по заданному набору входных данных автоматически построить решающую задачу Фортран-программу.

Оболочка позволяет обрабатывать четыре группы вариантов: открытые или замкнутые системы, открытые или замкнутые сети. Исходные данные каждого варианта задаются на отдельной вкладке.

При расчёте систем обслуживания в качестве аппроксимаций входных распределений используются показательное и «фазовые» распределения: гиперэкспоненциальное ( $H_2$ ), эрлангово ( $E_k$ ), обобщённое распределение Эрланга с нецелым числом фаз ( $P_k$ ). Допускается регулярный входящий поток ( $D$ ). Показательное и вырожденное распределения задаются одним параметром, эрланговы распределения – двумя, гиперэкспоненциальное – тремя [1]. Расчёт начинается с вычисления распределения числа заявок в системе. Далее по факториальным моментам распределения очереди находятся моменты распределения времени ожидания. Их свёртка с моментами распределения длительности обслуживания даст моменты распределения времени пребывания. Дополнительная функция распределения времени пребывания заявки в системе строится по этим моментам с помощью распределения Вейбулла с поправочным многочленом.

Результатами работы данного приложения являются: исходный код синтезированной программы на языке Фортран; графический отчёт; набор числовых результатов, удобный для преобразования в форматы внешних приложений обработки данных, – например, для дальнейшего их анализа с использованием других процедур пакета МОСТ или систем типа Gnuplot. Приложение предполагает минимальное число входных параметров; для более тонкой настройки предлагаем обратиться к «профессиональной» версии данного пакета. Опишем общую модель входных и выходных данных для каждой из групп.

**Открытые системы** описываются моментами распределения времени между прибытием заявок и времени обслуживания, числом каналов в системе и параметром точности модели – порогом остановки итерационных методов расчёта числа заявок в системе. Пользователь может сам задавать значения высших моментов или поручить системе выбирать из базовых распределений, перечисленных выше. Таким образом, от-

крытые системы покрывают все GI/G/n модели. Результатами расчёта стационарного режима систем являются следующие величины: распределение числа заявок в системе, моменты времени ожидания и пребывания, дополнительная функция распределения времени пребывания.

Для открытых систем разработан автоматический метод выбора наиболее подходящей модели, основанный на аппроксимации исходных распределений гамма-распределением. Коэффициент вариации определяет параметр формы данного распределения. Когда квадрат коэффициента вариации близок к единице, используется показательное распределение; когда он близок к целым числам – используется распределение Эрланга. В случаях малого и очень большого коэффициента вариации используется гиперэкспоненциальная аппроксимация, в остальных случаях используется распределение Эрланга с нецелым числом фаз – вероятностным обходом первой фазы [2].

В **замкнутой системе** одновременно может находиться не более некоторого фиксированного числа заявок; при этом распределение входного потока зависит от числа заявок в ней. Примером подобной системы может служить наличие заявок на ремонт ограниченного числа станков или выполнение вычислительных работ в системах коллективного доступа. Замкнутые системы описываются интенсивностью и структурой поведения входного потока, моментами распределения времени обслуживания и числом каналов. Предполагается, что замкнутые системы всегда имеют экспоненциальное распределение интервалов между заявками со скачкообразно меняющимся параметром. В типичном случае зависимость может быть линейной – интенсивность входящих потоков уменьшается пропорционально числу заявок в системе, от своего максимального значения при свободной системе до нуля, когда все заявки одновременно находятся в системе. Имеется также возможность задавать интенсивность появления очередной заявки пользователем для каждого возможного числа заявок в системе. Отметим особый случай, когда интенсивность остается на одном уровне, пока количество заявок в системе не превысит некоторого порогового числа и затем начнёт линейно убывать до нуля. Подобную ситуацию можно интерпретировать как возникновение неисправностей на однородных взаимозаменяемых приборах при наличии их «холодного резерва», который пополняется благодаря ремонту вышедших из строя устройств.

**Открытые однородные сети** определяются средней интенсивностью внешнего входного потока, моментами распределения времени обслуживания и числом каналов в каждом узле и матрицей вероятностей стационарных переходов между узлами, включая неотрицательную вероятность покинуть сеть. Предполагается, что переход из узла  $i$  в узел  $j$  не зависит от ранее пройденного пути. Вероятности перехода в последующие узлы задаются  $i$ -й строкой матрицы переходов. В качестве ответных характеристик сети выступают следующие величины: коэффициенты загрузки и средние времена ожидания по узлам, моменты распределения времени пребывания заявки в сети, дополнительная функция распределения времени пребывания заявки в сети. Выбранные характеристики покрывают большинство требований по оценке эффективности работы сети. По результатам расчёта могут быть приняты решения об изменении маршрутизации в сети, числа каналов и/или мощностей в отдельных узлах.

Реализованный в А-МОСТе алгоритм расчёта сетей опирается на предположение о марковском типе всех потоков между узлами сети. Уравнения баланса числа заявок в этом случае оказывается достаточным для вычисления начальных оценок параметров в узлах. Процесс расчёта для каждого узла включает суммирование всех входящих потоков, прореживание с учётом матрицы переходов выходящих заявок и направления их в другие узлы.

**Замкнутая сеть** – однородная сеть обслуживания, в которой поддерживается постоянное число заявок. Соответственно делается допущение, что одновременно с

уходом заявки в сток происходит появление новой заявки в источнике сети, откуда она попадает в один из узлов сети согласно матрице переходов между узлами. Распределение времени обслуживания на каждом узле может быть произвольным (задаётся оценками моментов). Для замкнутой сети в дополнение к временным характеристикам, описанными для открытых сетей, важной вычисляемой характеристикой становится ее пропускная способность. Замкнутые сети хорошо моделируют локальные вычислительные сети коллективного пользования, в частности, сети «с тонким клиентом».

Все параметры проверяются на корректность и совместность: равенство единице суммы вероятностей, неотрицательность дисперсии. Также проверяется, что системы и сети не являются перегруженными при введённых параметрах [3]. При обнаружении некорректной ситуации выводятся соответствующие сообщения.

Синтез выходных исходных кодов программ происходит динамически, одновременно с вводом запрашиваемых приложением параметров. Для каждой группы вариантов имеется свой файл базовых фрагментов кода на Фортране; необходимые фрагменты постепенно добавляются в финальную программу, куда также передаются параметры системы или сети, рассчитанные по входным аргументам. Сам расчёт параметров происходит одновременно с диалогом и не попадает в конечную программу. Численные же параметры записываются в отдельный файл, откуда считываются сгенерированной программой. Это позволяет многократно использовать программу при различных близких значениях исходных данных, сохраняющих ее структуру. Результаты работы программы записываются в отдельный файл.

Приложение реализовано на языках Фортран и С++ с использованием библиотек: МОСТ, QT, QWT. МОСТ – обширный пакет для расчёта систем и сетей обслуживания. Использование данного пакета ограничилось минимально необходимым набором для работы с однородными системами и сетями. На данный пакет возложена основная часть численных расчётов. Qt (версии 4.5) – фреймворк для создания кросс-платформенного графического пользовательского интерфейса приложения и генерации отчётов, Qwt (версии 5.2.0) – набор графических компонент для построения двумерных графиков.

### Литература

1. **Рыжиков Ю. И.** Теория очередей и управление запасами. СПб.: Питер, 2001.
2. **Рыжиков Ю. И.** Машинные методы расчёта систем массового обслуживания. СПб.: ВИКИ им А. Ф. Можайского, 1979.
3. **Рыжиков Ю. И.** Руководство по расчёту систем с очередями на базе пакета МОСТ/FPS1: учебно-методическое пособие. СПб.: ВКА им. А. Ф. Можайского, 2007.
4. **Алиев Т. И.** Основы моделирования дискретных систем. СПб.: СПбГУ ИТМО, 2009.