

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ ОБСЛУЖИВАНИЯ С АБСОЛЮТНЫМИ  
ПРИОРИТЕТАМИ В GPSS WORLD****В. В. Соснин (Санкт-Петербург)**

В теории массового обслуживания (ТМО) получено большое количество аналитических моделей приоритетных систем массового обслуживания (СМО). Однако полноценное исследование таких СМО (требующее варьирование законов распределения времён поступления и обработки заявок) возможно только при использовании аппарата имитационного моделирования. Применяя в этих целях систему имитационного моделирования GPSS World, можно столкнуться с проблемой несоответствия результатов моделирования известным аналитическим зависимостям ТМО. Проблема эта возникает при использовании *стандартных* средств GPSS для моделирования СМО с дисциплиной обслуживания с абсолютными приоритетами (ДОАП). Примечательно, что в специальной литературе данная проблема никак не решается; авторы лишь дают определение ДОАП и предлагают использовать стандартный блок PREEMPT для её реализации. В данной статье показана *невозможность* реализовать ДОАП с помощью блока PREEMPT, а также предложен подход, позволяющий решить эту проблему при сохранении хорошей масштабируемости и параметризуемости получаемых моделей.

**Об особенностях ДОАП**

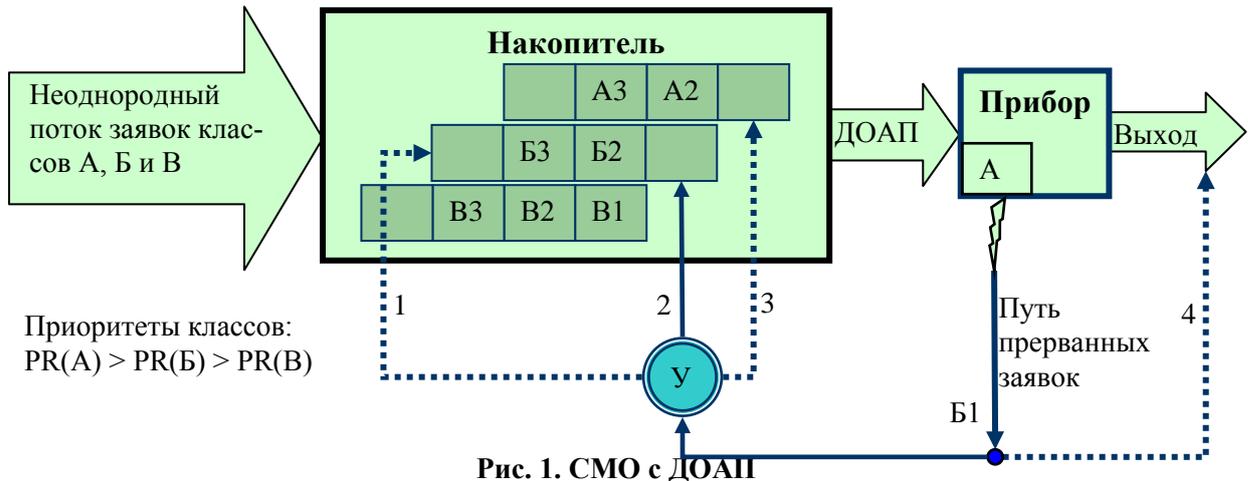
В литературе [1] описывается несколько видов ДОАП. Их общая черта – это возможность прерывания обслуживания одних заявок другими, более высокоприоритетными. При этом заявки одного класса обслуживаются в порядке поступления. Различаться же ДОАП могут:

- 1) способом обработки прерванной заявки (дообслуживание с места прерывания, обслуживание с начала, отсутствие дообслуживания);
- 2) местоположением прерванной заявки в очереди ожидающих обслуживания заявок.

Наибольшее практическое применение получил такой способ реализации ДОАП, при котором прерванные заявки: 1) дообслуживаются с прерванного места и 2) попадают на дообслуживание раньше всех других заявок своего класса, но после заявок с большим приоритетом. Именно такое обращение с прерванными заявками позволяет минимизировать среднее время пребывания заявок данного класса в СМО. Этот вид ДОАП используется, например, в системе прерываний ПК. Кроме того, именно для него получено большинство аналитических результатов в ТМО. Поэтому будем называть такую ДОАП *традиционной*.

Для моделирования ДОАП в системе GPSS World предусмотрен специальный блок: PREEMPT. С помощью этого блока часто предлагается моделировать и традиционную ДОАП [2]. Однако любые сочетания параметров этого блока не позволяют получить модель, характеристики которой с приемлемой точностью совпадали бы с теоретически рассчитанными значениями. Блок PREEMPT позволяет реализовать дообслуживание прерванных заявок, но не дает возможности поставить прерванную заявку в нужное место очереди.

Для иллюстрации возможностей GPSS рассмотрим простейшую СМО с ДОАП (рис. 1). Это одноканальная система G/G/1 с неограниченным накопителем и неоднородным потоком заявок трех классов. Запись "PR(X) > PR(Y)" означает, что класс заявок X обладает более высоким приоритетом, чем класс заявок Y.



В ситуации, показанной на рисунке, высокоприоритетная заявка А1 прервала обслуживание заявки Б1. Пунктирные стрелки (1, 3, 4), обозначающие путь следования прерванной заявки Б1, иллюстрируют три возможных варианта работы блока PREEMPT:

- 1) движение по пути **стрелки 1** ставит прерванную заявку в конец очереди своего класса (в GPSS это реализуется блоком PREEMPT с опциями PR и RE, и перенаправлением прерванной заявки на строку с этим же блоком PREEMPT);
- 2) движение по пути **стрелки 3** поставит прерванную заявку в начало очереди самого приоритетного класса (в GPSS это реализуется блоком PREEMPT с опцией PR; при этом прерванные заявки помещаются в системную очередь Interrupt chain, выборка на обслуживание из которой ведётся раньше, чем из очереди Delay chain, в которой ожидают обслуживания прочие непрерывные заявки, в том числе и более высокоприоритетные, [3, 4]);
- 3) движение по пути **стрелки 4** оставит прерванную заявку без дообслуживания (в GPSS это реализуется блоком PREEMPT с опциями PR и RE и перенаправлением заявки на выход модели).

Очевидно, для реализации традиционной ДОАП нужно, чтобы прерванные заявки двигались по пути **стрелки 2**. Но такой возможности у блока PREEMPT нет. Отметим, что имитационные модели на основе блока PREEMPT, предлагаемые в [2, с. 22] и [5, с. 325], *не реализуют* корректную традиционную ДОАП, так как в них заявки идут по пути стрелки 3. При такой ДО прерванная заявка Б1 попадёт в прибор на обслуживание раньше более высокоприоритетной заявки А2 и сможет быть прервана только вновь поступившей заявкой класса А (на рисунке это будет заявка А4).

### Решение проблемы реализации ДОАП в GPSS

Отсутствие базовой возможности GPSS реализовать ДОАП заставляет придумывать «обходные пути». Отметим, что в литературе [2, 3, 5–8] не удалось найти ни одной работы на эту тему. Язык GPSS является высокоуровневым, поэтому при создании «обходного пути» надо учитывать, что любое нестандартное решение будет иметь следующие недостатки:

- 1) усложнится логика работы модели;
- 2) могут возникнуть проблемы с масштабируемостью модели;
- 3) замедлится работа модели (ввиду появления дополнительных шагов).

Предлагаемый в данной работе способ реализации ДООП практически не отражается на возможностях масштабируемости и лишь незначительно усложняет логику работы. Суть этого способа следующая:

- 1) приоритеты транзактам назначаются в виде нечётных чисел: 1, 3, 5..., при этом большее значение означает больший приоритет;
- 2) прерванный транзакт (PREEMPT с опциями PR и RE) единожды получает приращение приоритета (например, если транзакт с изначальным приоритетом 3 будет прерван несколько раз, то его приоритет впредь всегда будет 4);
- 3) прерванный транзакт перенаправляется в общую очередь в накопитель.

Такая логика действий создает условия, при которых прерванный транзакт встанет в очереди *перед* всеми заявками своего класса, но *после* заявок более высокоприоритетных классов. На рис. 2 приводится листинг-схема разработанной GPSS-модели.

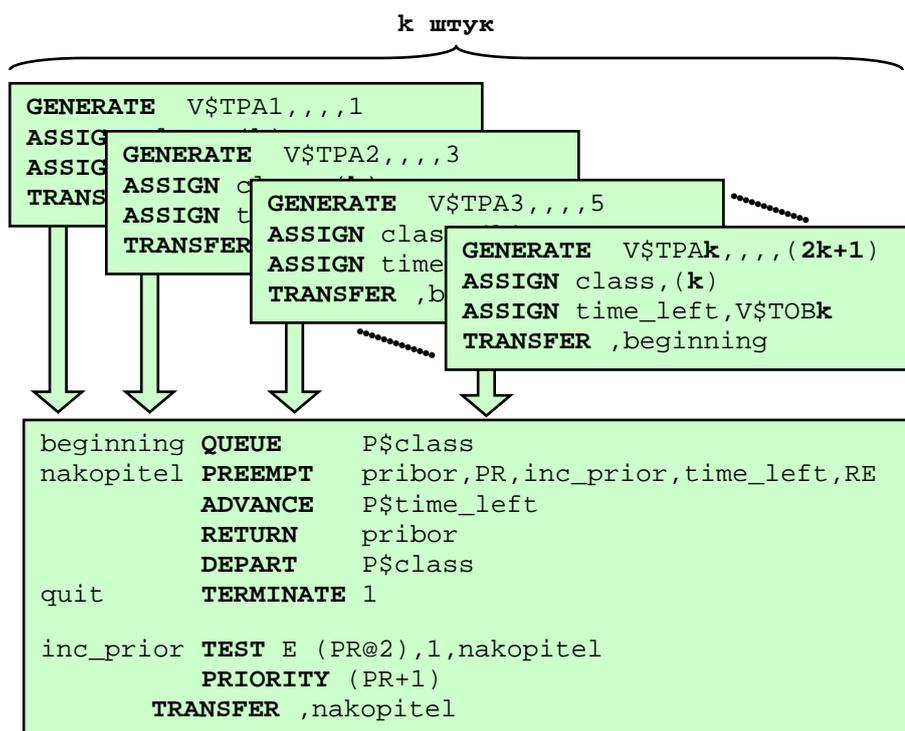


Рис. 2. GPSS-модель СМО с ДООП

Блоки со стрелками – это генераторы заявок разных классов. Законы распределений времён прибытия и обслуживания заявок класса  $i$  задаются в области описания модели переменными соответственно  $V\$TPAi$  и  $V\$TOBi$ , где  $i=1, 2, 3, \dots, k$ , где  $k$  – количество классов. У каждой заявки есть два параметра:

- 1) `class` – для хранения номера класса заявки;
- 2) `time_left` – для хранения времени дообслуживания прерванной заявки.

Параметр `class` можно использовать для ведения отдельного учёта характеристик СМО (в примере на рис.2 это время пребывания в системе) для каждого из классов заявок. В приведённом случае заявки разных классов регистрируются в очередях одноименных номеров (класс 1 – в очереди 1, класс 2 – в очереди 2 и т. д.)

Важнейшая деталь системы (увеличение приоритета прерванной заявки) осуществляется в блоке с меткой `inc_prior` (это соответствует блоку «У» на рис. 1). В нём происходит увеличение только нечётной величины приоритета. Если в этот блок попадает заявка с чётным приоритетом, это означает, что заявка уже была прервана более одного раза, а поэтому её приоритет уже увеличен до нужной величины.

## Пример реализации ДООП в GPSS

Сравним работу разных видов ДООП на примере СМО М/М/1 и М/Д/1, ограничившись двумя классами заявок в виду ограничений на объём статьи. Характеристики для этих типов СМО могут быть рассчитаны теоретически [1]. Пусть заявки обоих классов имеют одинаковые средние времена прихода и обслуживания. Тогда модель будет выглядеть следующим образом:

```

zagruzka    EQU      0.98
tpostup     EQU      100.0
tobrab      EQU      (0.5#zagruzka#tpostup)
TPA1        VARIABLE Exponential(1,0,tpostup)
TPA2        VARIABLE Exponential(2,0,tpostup)
TOB1        VARIABLE Exponential(3,0,tobrab)
TOB2        VARIABLE Exponential(4,0,tobrab)

GENERATE                    V$TPA1,,,,3 ;источник высокопр. заявок
ASSIGN class,1
ASSIGN time_left,V$TOB1
TRANSFER ,beginning

GENERATE                    V$TPA2,,,,1;источник низкопр. заявок
ASSIGN class,2
ASSIGN time_left,V$TOB2

Beginning QUEUE P$class
;nakopitel PREEMPT pribor,PR,nakopitel,time_left,RE ;<- ДООП1
;nakopitel PREEMPT pribor,PR,inc_prior,time_left,RE ;<- ДООП2
;nakopitel PREEMPT pribor,PR ;<- ДООП3
ADVANCE P$time_left
RETURN uzel
DEPART P$class
TERMINATE 1

inc_prior TEST E PR,1,nakopitel ;проверяем, надо ли увеличить приоритет
PRIORITY 2 ;увеличиваем приоритет с 1 до 2
TRANSFER , nakopitel ;возвращаемся в очередь перед прибором

```

В этой модели из трёх предложенных блоков с меткой «nakopitel» нужно выбрать один (убрав точку с запятой) в соответствии с видом реализуемой ДООП<sub>n</sub> (номер *n* соответствует номеру стрелки на рис. 1). Параметры *tpostup* и *tobrab* задают средние времена поступления и обработки заявок. Будем варьировать загрузку (параметр *zagruzka*) от 0.98 до 0 и замерять среднее время пребывания заявок обоих классов (очереди 1 и 2). На графиках рис. 3 показано процентное отличие полученных экспериментальных данных от теоретических для СМО М/М/1. При этом показаны обе границы 95%-го доверительного интервала (по Стьюденту) для каждой из характеристик. Пунктирными линиями обозначено поведение ДООП<sub>3</sub>, а сплошными – ДООП<sub>1</sub> и ДООП<sub>2</sub>. Очевидно, что для моделирования традиционной ДООП в М/М/1 нельзя использовать ДООП<sub>3</sub> (в виду малой точности для обоих классов заявок), но вполне приемлемо использовать как ДООП<sub>1</sub>, так и ДООП<sub>2</sub>. Это совпадение объясняется фундаментальной характеристикой экспоненциальных процессов – отсутствием последствия.

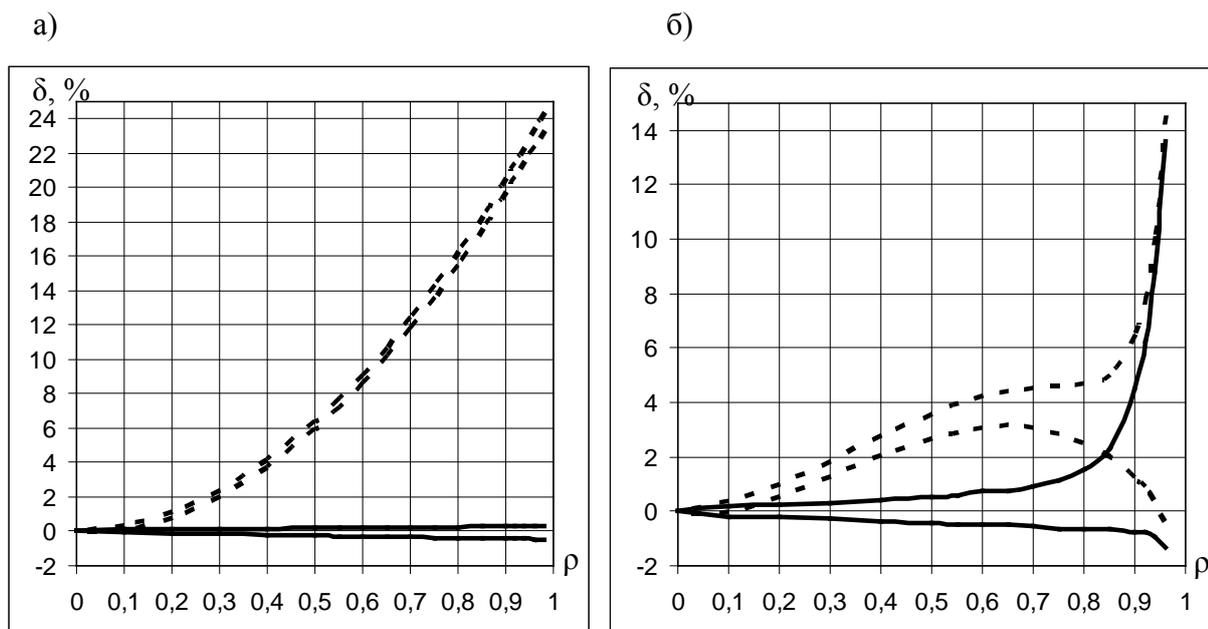


Рис. 3. Отличие экспериментальных данных от теоретических в СМО М/М/1:  
 а – высокоприоритетные заявки; б – низкоприоритетные заявки

Приведённую модель можно трансформировать в СМО М/D/1, задав соответствующие значения для ТОВ1 и ТОВ2. На рис. 4 приведены результаты для ДООП1 (пунктирные линии) и ДООП2 (сплошные линии). Очевидно, что для низкоприоритетных заявок приемлемые результаты в области высоких загрузок (более 0.7) даёт только схема ДООП2.

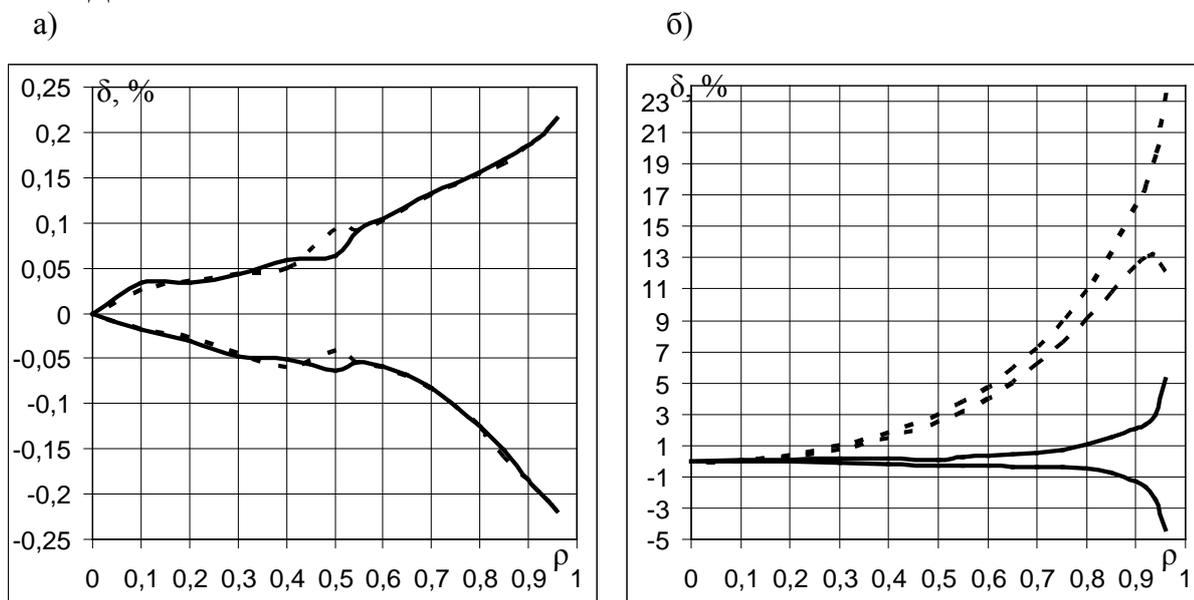


Рис. 4. Отличие экспериментальных данных от теоретических в СМО М/D/1:  
 а – высокоприоритетные заявки; б – низкоприоритетные заявки

**Выводы**

1. Использование стандартных средств GPSS World для моделирования СМО с традиционной ДООП даёт неприемлемые погрешности получаемых характеристик при высоких нагрузках.

2. Полученный корректный подход к реализации традиционной ДООП в GPSS World даёт точные результаты и позволяет снять ограничения аналитического моделирования для расчёта характеристик СМО с такой ДОО.

3. Предложенная архитектура модели ДООП хорошо масштабируема (т.к. программный блок, непосредственно реализующий ДООП, не зависит от количества классов заявок в неоднородном потоке) и обладает четкой ясной структурой.

**Литература**

1. **Алиев Т. И.** Математические методы теории вычислительных систем. Учебное пособие. Л.: ЛИТМО, 1979. 72 с.
2. **Воробейчиков Л. А., Сосновиков Г. К.** Методические указания для слушателей ФПКП по моделированию систем и сетей связи на GPSS/PC. М.: МТУСИ, 1993. 59 с.
3. **Бражник А. И.** Имитационное моделирование: возможности GPSS WORLD. СПб.: Реноме, 2006. 439 с.
4. GPSS World Reference Manual. Holly Springs, NC, USA: Minuteman Software, 2007. актуально на 6 сентября 2007 года по Интернет-ссылке [http://www.minutemansoftware.com/reference/reference\\_manual.htm](http://www.minutemansoftware.com/reference/reference_manual.htm)
5. **Рыжиков Ю. И.** Имитационное моделирование. Теория и технологии. СПб.: КОРОНА принт; М.: Альтекс-А, 2004. 384 с.
6. **Советов Б. Я., Яковлев С. А.** Моделирование систем. М.: Высшая школа, 1998. 320 с.
7. **Томашевский В., Жданова Е.** Имитационное моделирование в среде GPSS. М.: Бестселлер, 2003. 416 с.
8. **Shriber T. J.** A GPSS Primer. Michigan: University of Michigan, 1972. 440 pp.