

ДИСЦИПЛИНЫ ОБСЛУЖИВАНИЯ С ПРЕРЫВАНИЯМИ, РЕАЛИЗУЕМЫЕ
СТАНДАРТНЫМИ СРЕДСТВАМИ GPSS

В. В. Соснин (Санкт-Петербург)

Важнейший параметр любой неоднородной системы массового обслуживания (СМО) – дисциплина обслуживания (ДО), задающая правило выбора заявки на обслуживание из очереди ожидания. Подмножеством всех возможных ДО являются дисциплины обслуживания с прерываниями (ДОП), в которых обслуживание текущей заявки может быть прервано в зависимости от некоторого условия. Среди всех ДОП наиболее известна в ТМО ДО с абсолютными приоритетами (ДОАП).

Система имитационного моделирования GPSS является классическим инструментом исследования СМО. К сожалению, стандартные средства GPSS не позволяют моделировать работу ДОАП [1]. Для решения этой проблемы приходится использовать надстройки, которые ухудшают наглядность и масштабируемость модели, а также замедляют процесс моделирования. Целью автора было дать подробное описание всех ДОП, которые в GPSS реализуются с использованием лишь стандартных средств (такими средствами являются блоки SEIZE и PREEMPT). Обозначим множество таких ДОП аббревиатурой ДОПС. Перечень ДОПС с описанием их свойств окажется полезным всем программистам GPSS, так как позволит легко конструировать нужную ДОП, которая будет легкомасштабируемой, удобочитаемой и быстро работающей. В специальной литературе [2–5] данной проблеме почти не уделяется внимание, а справочная система GPSS очень кратко описывает свойства блоков SEIZE и PREEMPT, что крайне затрудняет процесс конструирования нужной ДОП. Для наглядности будем рассматривать модели СМО лишь с двумя классами заявок. Ограничивая общность полученных результатов, это допущение тем не менее позволяет сделать выводы, полезные для инженерного использования. К тому же, часто при моделировании систем с прерываниями большего числа классов и не требуется, так как абсолютным приоритетом обычно моделируются отказы или служебный трафик (т.е. строго один класс), а все остальные классы можно рассматривать как единый агрегированный класс с низким приоритетом.

Для краткости будем обозначать различные варианты ДОПС таким образом: "1-preempt-pr, 2-seize". Это значит, что в сегменте, имитирующем поведение высокоприоритетных заявок (ВЗ), используется блок PREEMPT с параметром PR, а в сегменте, имитирующем поведение низкоприоритетных заявок (НЗ), используется блок SEIZE. Таким образом, запись "1-preempt, 2-preempt" означает, что в обоих сегментах используются блоки PREEMPT без параметра PR.

ДОП1 вида "1-preempt-pr, 2-seize". Блок PREEMPT в первом сегменте работает в приоритетном режиме (т.е. входящая в него заявка может прервать обслуживание только менее приоритетной заявки, не учитывая, является ли сама прерываемая заявка захватчиком). Приведём только один раз соответствующий текст GPSS-модели (ВЗ имеют приоритет 2, НЗ – 1), а все последующие варианты ДОП имеют схожую структуру за исключением оговорённых особенностей блоков PREEMPT и SEIZE.

```
GENERATE (exponential(1,0,100)),,,,2
QUEUE HighPriorLine
PREEMPT pribor,PR
ADVANCE (exponential(1,0,40))
RELEASE pribor
DEPART HighPriorLine
TERMINATE 1
```

```
GENERATE (exponential(1,0,100)),,,,1
QUEUE LowPriorLine
SEIZE pribor
ADVANCE (exponential(1,0,40))
RELEASE pribor
DEPART LowPriorLine
TERMINATE 1
```

Используя рис. 1, покажем, что происходит в этой модели. На вход СМО поступает заявка одного из двух классов. Дальнейший путь её следования указан одной из стрелок. Если стрелка сплошная, то по соответствующему пути могут двигаться оба класса заявок; если стрелка пунктирная – могут двигаться только ВЗ; если стрелка штрихпунктирная – только НЗ.

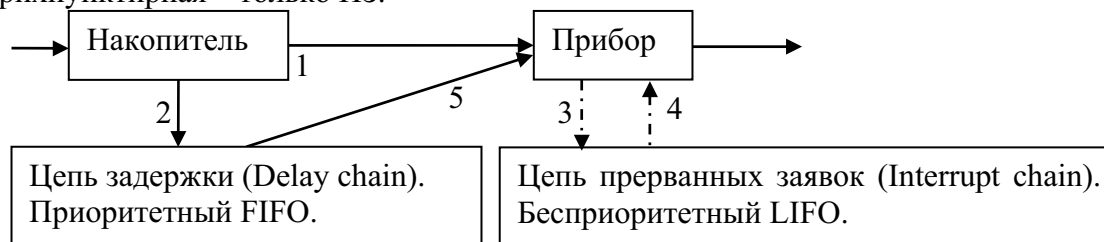


Рис. 1. Схема движения заявок при ДОП1

Путь следования заявки выбирается в соответствии с табл. 1. Прочерк в таблице означает, что на обслуживании в приборе отсутствуют заявки. После окончания обслуживания любой заявки в первую очередь на обслуживание попадают заявки из ЦПЗ в порядке LIFO (без учета приоритета), а лишь затем заявки из ЦЗ (в порядке FIFO с учетом приоритета).

Заметим, что в рассматриваемой модели в ЦПЗ могут находиться только НЗ. Это значит, что НЗ, находящиеся в ЦПЗ, попадут на дообслуживание ранее ВЗ, находящихся в ЦЗ. На рис. 1 это означает, что сначала произойдет движение заявок по стрелке 4, а лишь затем – по стрелке 5.

Таблица 1

Варианты обработки поступившей заявки в СМО с ДОП1

Тип заявки		Выполняемое действие
поступившей на вход	находящейся на обслуживании	
ВЗ	-	Поступившая заявка попадает на обслуживание в прибор (движение по стрелке 1)
НЗ	-	
ВЗ	ВЗ	Поступившая заявка попадает в ЦЗ (движение по стрелке 2)
НЗ	НЗ	
НЗ	ВЗ	
ВЗ	НЗ	Поступившая ВЗ попадает на обслуживание в прибор (стрелка 1), вытеснив из него НЗ, которая помещается в ЦПЗ (стрелка 3)

Если в прибор попадает заявка из ЦПЗ, то она дообслуживается с того момента, на котором была прервана, т.е. способ дообслуживания такой же, как в ДООП. Значит, ДОП1 отличается от ДООП только способом выбора из очереди кандидата на обслуживание после освобождения прибора: в ДООП на обслуживание всегда попадает наиболее высокоприоритетная из ожидающих в очереди заявок, а в ДОП1 на обслуживание может попасть прерванная НЗ. Очевидно, эта особенность скрадывает часть привилегий ВЗ.

ДОП2 вида "1-preempt, 2-seize". Блок PREEMPT в первом сегменте работает в режиме прерывания (происходит прерывание только тех заявок, которые сами ещё никого не прерывали; возможно прерывание заявок своего класса; значения приоритетов не учитываются). Подчеркнём, что хотя заявки в каждом из двух сегментов модели отличаются значением приоритета, но никакого влияния на ход моделирования эти зна-

чения не оказывают. Результаты моделирования не изменятся, если вообще не назначать приоритеты либо назначить любые другие приоритеты.

Рассмотрим схему обслуживания заявок при использовании ДОП2 (рис. 2). Здесь используются сразу три системных списка: ЦПЗ, ЦЗ и цепь ожидания захвата (ЦОЗ). ВЗ может прервать обслуживание только той заявки, которая сама не прерывала другую заявку. Это значит, что поступившая ВЗ в любом случае прервёт обслуживание НЗ, а в некоторых случаях прервёт и другую ВЗ (если та сама никого не прерывала).

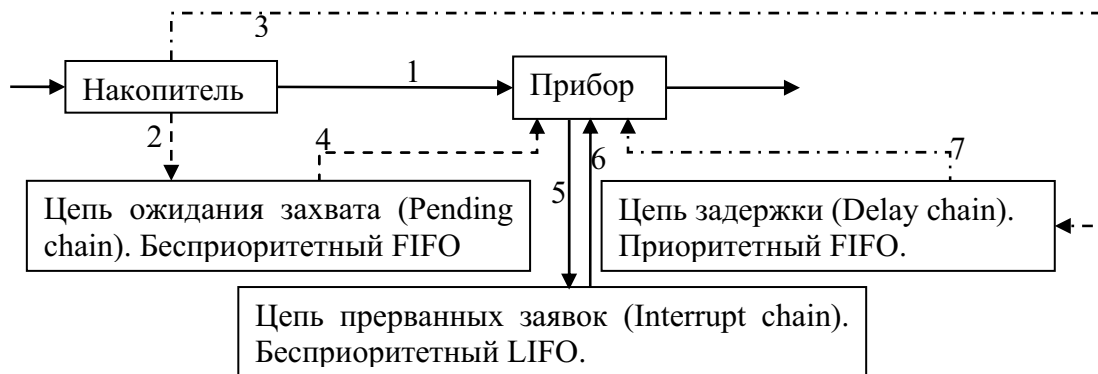


Рис. 2. Схема движения заявок при ДОП2

Варианты обработки поступившей заявки рассмотрены в табл. 2 (индекс i в аббревиатуре $ВЗi$ обозначает очередность поступления ВЗ). При завершении обслуживания какой-либо заявки выбор кандидата на обслуживание среди ожидающих в очереди заявок осуществляется в таком порядке:

- в беспriorитетном режиме FIFO выбирается заявка из ЦОЗ (стрелка 4);
- если ЦОЗ пуста, в режиме LIFO выбирается заявка из ЦПЗ (стрелка 5);
- если ЦОЗ/ЦПЗ пусты, в приоритетном режиме выбирается заявка из ЦЗ (стрелка 6).

Такой порядок выбора соответствует на рис. 2 просмотру слева направо указанных системных списков при поиске в них ожидающих заявок. В результате получается, что ДОП2 отличается от ДОАП лишь порядком обработки ВЗ. В ДОАП ВЗ не могут прерывать друг друга, а в ДОП2 это становится возможным. НЗ получают одинаковое обслуживание в обоих случаях.

Таблица 2

Варианты обработки поступившей заявки в СМО с ДОП2

Тип заявки		Выполняемое действие
поступившей на вход	находящейся на обслуживании	
ВЗ	-	Поступившая заявка попадает на обслуживание в прибор (движение по стрелке 1)
НЗ	-	
ВЗ2	ВЗ1, которая не прерывала чьё-либо обслуживание	ВЗ2 поступает в прибор (стрелка 1), вытеснив из него ВЗ1, которая направляется в ЦПЗ (стрелка 5)
	ВЗ1, которая прерывала чьё-либо обслуживание	ВЗ1 остается на обслуживании в приборе, а ВЗ2 направляется в ЦОЗ (стрелка 2)
НЗ	ВЗ	ВЗ остается в приборе, а НЗ поступает в ЦЗ (стрелка 3)
ВЗ	НЗ	ВЗ поступает в прибор, вытеснив из него НЗ, которая направляется в ЦПЗ (стрелка 5)

ДОПЗ вида "1-preempt, 2-preempt". Блок PREEMPT в обоих сегментах работает в режиме прерывания (происходит прерывание только тех заявок, которые сами ещё никого не прерывали; возможно прерывание заявок своего класса; значения приоритетов не учитываются). Снова подчеркнём, что хотя заявки в каждом из двух сегментов модели и отличаются значением приоритета, но никакого влияния на ход моделирования эти значения не оказывают. Результаты моделирования не изменятся, если вообще не назначать приоритеты либо назначить любые другие приоритеты. В этом режиме функционирования задействуются две системные очереди – ЦПЗ и ЦОЗ. Это показано на рис. 3. Заявки обоих классов двигаются в модели одинаковым образом.

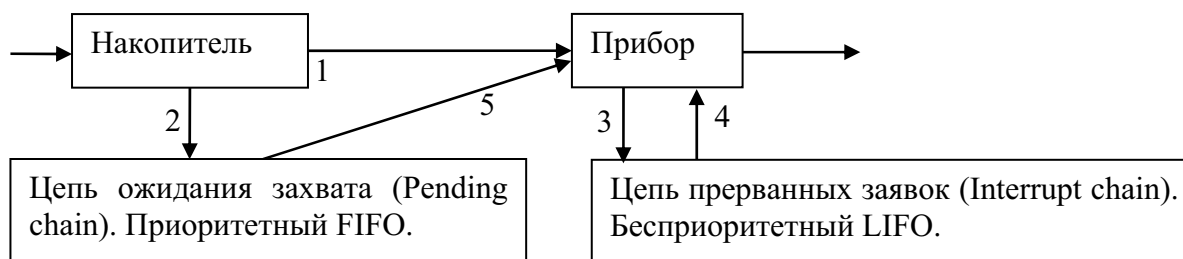


Рис. 3. Схема движения заявок при ДОПЗ

Если прибор свободен, то он занимается пришедшей заявкой. Если прибор занят обслуживанием заявки, не прерывавшей обслуживание других заявок, то такая заявка вытесняется пришедшей. Если прибор занят заявкой-захватчиком (т.е. она уже прерывала чье-либо обслуживание), то пришедшая заявка ждёт в очереди. Подробно выбор пути следования показан в табл. 3.

Таблица 3

Варианты обработки поступившей заявки в СМО с ДОПЗ

Тип заявки		Выполняемое действие
поступившей на вход	находящейся на обслуживании	
ВЗ	-	Поступившая заявка попадает на обслуживание в прибор (движение по стрелке 1)
НЗ	-	
НЗ2	Либо НЗ1, либо ВЗ, которые не прерывали чье-либо обслуживание	НЗ2 поступает в прибор (стрелка 1), вытеснив из него обслуживавшуюся заявку, которая направляется в ЦПЗ (стрелка 3)
	Либо НЗ1, либо ВЗ, которые прерывали чье-либо обслуживание	Обслуживаемая в приборе заявка остается на обслуживании, а поступившая НЗ2 направляется в ЦОЗ (стрелка 2)
ВЗ2	Либо НЗ, либо ВЗ1, которые не прерывали чье-либо обслуживание	ВЗ2 поступает в прибор (стрелка 1), вытеснив из него обслуживавшуюся заявку, которая направляется в ЦПЗ (стрелка 3)
	Либо НЗ, либо ВЗ1, которые прерывали чье-либо обслуживание	Обслуживаемая в приборе заявка остается на обслуживании, а поступившая ВЗ2 направляется в ЦОЗ (стрелка 2)

После завершения обслуживания какой-либо заявки выбор кандидата на обслуживание среди ожидающих в очереди заявок осуществляется в таком порядке:

- в беспriorитетном режиме FIFO выбирается заявка из ЦОЗ (стрелка 5);
- если ЦОЗ пуста, в режиме LIFO выбирается заявка из ЦПЗ (стрелка 4).

Это означает, что любая прерванная заявка не будет обслужена до тех пор, пока в системе будет хоть одна заявка любого класса в ЦОЗ. Поскольку приоритеты не оказывают никакого влияния на работу модели и в обоих сегментах стоят одинаковые блоки, то каждый класс получит одинаковое качество обслуживания. При этом будем считать, что качество обслуживания тем лучше, чем меньше среднее время пребывания в системе заявок определённого класса.

ДОП4 вида "1-preempt-PR, 2-preempt". Блок PREEMPT в первом сегменте работает в приоритетном режиме (т.е. входящая заявка может прервать обслуживание только менее приоритетной заявки, не учитывая, является ли сама прерываемая заявка захватчиком). Во 2-м сегменте блок PREEMPT работает в режиме прерывания (т.е. происходит прерывание только тех заявок, которые сами ещё никого не прерывали, в том числе и более высокоприоритетных заявок; возможно прерывание заявок своего класса; значения приоритетов не учитываются). Хотя приоритеты во втором сегменте не учитываются, они учитываются в первом сегменте. Поэтому значения приоритетов необходимо задавать явно. Рассмотрим на рис. 4 схему обслуживания заявок при использовании ДОП № 4. Эта схема похожа на рис. 2, однако состав стрелок отличается.

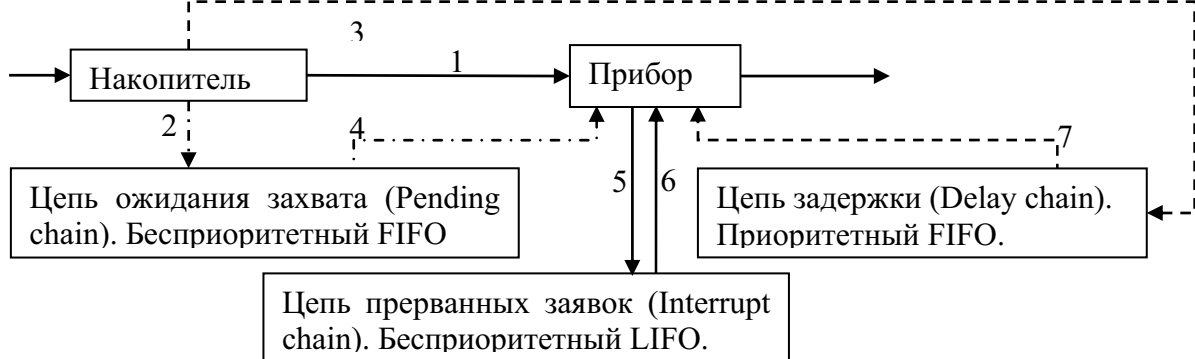


Рис. 4. Схема движения заявок при ДОП4

Порядок обработки транзактов при реализации ДОП4 является весьма запутанным. На первый взгляд кажется, что заявки поступают на обслуживание и вытесняются в совершенно бессистемном порядке. Например, некоторая Н32 может вытеснить В32, которая сама до этого никого не вытесняла. При этом впоследствии сама Н32 может быть вытеснена позже пришедшей В31 (В32 в это время ждёт в ЦПЗ). Если за время обслуживания В31 поступят Н31 и В33, то после завершения обслуживания В32 на обслуживание поступит сначала Н32 (так как она в этот момент находится в ЦОЗ), потом Н31 (поскольку она попала в стек-LIFO ЦПЗ после В31), потом В31 (она находится в ЦПЗ), В33 (она находится в ЦЗ). В итоге, на входе порядок поступления такой: В31–Н31–В32–Н32–В33, а на выходе В32–Н32–Н31–В31–В33, т.е. в среднем Н3 получили более высокое качество обслуживания, чем В3, так как прошли через систему быстрее. Подробно выбор пути следования заявок рассмотрены в табл. 4.

При завершении обслуживания какой-либо заявки выбор кандидата на обслуживание среди ожидающих в очереди заявок осуществляется в таком же порядке, что и при ДОП4:

- в беспriorитетном режиме FIFO выбирается заявка из ЦОЗ (стрелка 4);
- если ЦОЗ пуста, в режиме LIFO выбирается заявка из ЦПЗ (стрелка 5);
- если ЦОЗ/ЦПЗ пусты, в приоритетном режиме выбирается заявка из ЦЗ (стрелка 6).

Таблица 4

Варианты обработки поступившей заявки в СМО с ДОП4

Тип заявки		Выполняемое действие
поступившей на вход	находящейся на обслуживании	
ВЗ	-	Поступившая заявка попадает на обслуживание в прибор (стрелка 1)
НЗ	-	
НЗ2	Либо НЗ1, либо ВЗ, которые не прерывали чьё-либо обслуживание	НЗ2 идёт в прибор (стрелка 1), вытеснив из него НЗ1 или ВЗ, которая направляется в ЦПЗ (стрелка 3)
	Либо НЗ1, либо ВЗ, которые прерывали чьё-либо обслуживание	Обслуживаемая в приборе заявка остаётся на обслуживании, а НЗ2 направляется в ЦОЗ (стрелка 2)
ВЗ2	НЗ	ВЗ2 поступает в прибор (стрелка 1), а вытесненная НЗ направляется в ЦПЗ (стрелка 5)
	ВЗ1	ВЗ1 остаётся на обслуживании в приборе, а поступившая ВЗ2 направляется в ЦЗ (стрелка 3)

Такой порядок выбора соответствует на рис. 4 поочерёднему просмотру слева направо указанных системных списков на наличие в них ожидающих заявок. Попробуем проанализировать, заявки какого класса при ДОП № 4 получают преимущественное обслуживание в СМО. С одной стороны, любую НЗ может прервать вновь пришедшая ВЗ. Однако рассмотрим, что произойдёт за время обслуживания ВЗ-захватчика в СМО. За это время в СМО поступит n штук ВЗ и m штук НЗ. Все n поступивших ВЗ будут направлены в ЦЗ. Все m поступивших НЗ будут направлены в ЦОЗ. А как мы видели раньше, на обслуживание в первую очередь выбираются заявки из ЦОЗ. Поэтому можно смело утверждать, что все m НЗ пройдут на выход СМО ранее всех n ВЗ. Значит, НЗ должны получить лучшее качество обслуживания. Однако это утверждение справедливо, если потоки ВЗ и НЗ соразмерны либо если поток ВЗ больше потока НЗ, так как только при этом ВЗ будут долго ждать. Если же поток ВЗ намного меньше потока НЗ, то ВЗ лишь изредка будут попадать в ЦЗ, которая просматривается в последнюю очередь, а большую часть времени они будут находиться в ЦПЗ, в которой их качество обслуживания не зависит от приоритета.

Приведённые данные об особенностях реализации каждой из ДОП позволяют однозначно спрогнозировать, какой из двух обслуживаемых классов заявок получит преимущественные условия. Кроме того, становится возможным сравнивать различные ДОП между собой. Например, если потоки обоих классов заявок простейшие, то расположить ДОП по мере возрастания преимущества высокоприоритетного класса следует так: ДОАП, ДОП2, ДОП1, ДОП3.

Проделанная работа позволяет сделать следующие выводы:

1. количество ДОП, реализуемых стандартными средствами GPSS ограничено;
2. ДОП, реализуемые стандартными средствами GPSS, обладают следующими преимуществами: прогон имитационной модели осуществляется быстрее, модель является легкомастшабируемой, программный код модели удобочитаем;
3. выявленные свойства и характеристики ДОПС облегчают программисту GPSS процесс конструирования нужной ДО.

Литература

1. **Соснин В. В.** Моделирование дисциплины обслуживания с абсолютными приоритетами в GPSS World // Сборник докладов ИММОД-2007. СПб., 2007. Т. 1. С. 224–229.
2. **Рыжиков Ю. И.** Имитационное моделирование. Теория и технологии. СПб: Корона принт, 2004. 384 с.
3. **Бражник А. Н.** Имитационное моделирование: возможности GPSS World. СПб: Ренومه, 2006. 439 с.
4. **Томашевский В., Жданова Е.** Имитационное моделирование в среде GPSS. М.: Бестселлер, 2003. 413 с.
5. **Боев В. Д.** Моделирование систем. Инструментальные средства GPSS World: Учебное пособие. СПб: БХВ-Петербург, 2004. 368 с.