

**ПРИМЕНЕНИЕ КОМБИНИРОВАННОГО ПОДХОДА МОДЕЛИРОВАНИЯ  
ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ДИСЦИПЛИН ОБСЛУЖИВАНИЯ****В. Д. Игнатов (Смоленск)**

Формирование у студентов навыков моделирования обычно происходит в рамках стандартной программы в соответствующих курсах учебных заведений. К сожалению, в учебном процессе как технических, так и гуманитарных специальностей уделяется очень мало времени аналитическим решениям и возможностям их применения в имитационном моделировании. В частности, в стандарте дисциплины «Имитационное моделирование экономических процессов» по специальности «Прикладная информатика в экономике» предлагается к рассмотрению формула Полячека–Хинчина. Только эта формула уже дает очень важные представления об основополагающих составляющих, используемых в любых процессах моделирования. Например, студенты могут узнать о том, каким образом влияют коэффициенты загрузки и вариации на среднее время ожидания в одноканальной системе.

В настоящее время даже в информационных средствах общественного вещания часто поднимается тема загрузки автомобильных дорог в больших индустриальных городах. Решение этой проблемы связано с задачами исследования и возможности применения различного рода дисциплин обслуживания, а также оценки их влияния в целом на среднее время ожидания в таких системах. Для решения подобных задач можно применять имитационные модели и по результатам прогона оценивать основные показатели системы при определенных входных параметрах. Однако обычно эти результаты не позволяют выявить общие закономерности и характеристики в поведении основных процессов. В таких случаях предпочтительнее воспользоваться аналитическими методами и решениями.

В теории систем массового обслуживания имеются аналитические выражения, описывающие общие закономерности и характеристики для дисциплин обслуживания заявок. В практике математического моделирования известны следующие дисциплины обслуживания: без приоритета (БП), с относительным приоритетом (ОП), с абсолютным приоритетом (АП) и смешанным приоритетом (СП), – а также установлен закон сохранения относительно суммарного времени ожидания обслуживания заявок в системе, который определяет инвариантные свойства применения различных дисциплин обслуживания<sup>1</sup>:

$$\sum_{i=1}^m \rho_i \bar{t}_i = \text{const}, \quad (1)$$

где  $\bar{t}_i$  – среднее время ожидания заявки в очереди;  $\rho_i$  – коэффициент загрузки канала для  $i$ -типа заявки.

Аналитические подходы моделирования (АМ) существенно расширяют возможности анализа в задачах имитационного моделирования. Так, на базе аналитических выражений можно построить графики изменения для среднего времени ожидания  $\bar{t}_i$  по дисциплинам обслуживания (рис. 1).

<sup>1</sup> Вероятностные методы в вычислительной технике/Под ред. А.Н. Лебедева и Е.А. Чернявского. М.: Высш. школа, 1986. 324 с.

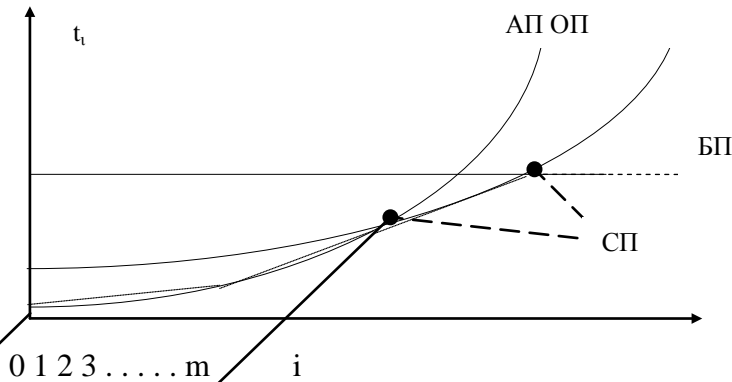


Рис. 1. Среднее время ожидания для дисциплин обслуживания в АМ

Освоение подобных подходов аналитического моделирования студентами можно включать в план самостоятельной подготовки по данному предмету, что, естественно, будет способствовать целенаправленному изучению аналогичных задач и в имитационном моделировании.

Например, при проведении практических занятий по данной теме студенты строят имитационные модели, фрагмент одной из них для обслуживания с относительным приоритетом в системе **GPSS World** представлен на рис. 2.

```

GENERATE (exponential(11,0,50)),,,,4
ASSIGN 1,1
TRANSFER ,bbb
GENERATE (exponential(12,0,100)),,,,5
ASSIGN 1,2
TRANSFER ,bbb
GENERATE (exponential(13,0,20)),,,,3
ASSIGN 1,3
TRANSFER ,bbb
GENERATE (exponential(14,0,25)),,,,2
ASSIGN 1,4
TRANSFER ,bbb
GENERATE (exponential(15,0,50)),,,,1
ASSIGN 1,5
bbb QUEUE P1
SEIZE 1
DEPART P1
ADVANCE (exponential(16,0,7))
RELEASE 1
SAVEVALUE Const,V$SUM
TERMINATE
SUM FVARIABLE 7#(QX1/50+QX2/100+QX3/20+QX4/25+QX5/50)
GENERATE 100000
TERMINATE 1
START 1

```

Рис. 2. Фрагмент имитационной модели с ОП обслуживания

При моделировании БП обслуживания в модели рис. 2 достаточно устранить только приоритеты.

```

a)  FACILITY ENTRIES UTIL. AVE.TIME AVAIL. OWNER PEND INTER RETRY DELAY
    1 13898 0.969 6.974 1 13900 0 0 0 6

    QUEUE MAX CONT. ENTRY ENTRY(0) AVE.CONT. AVE.TIME AVE.(-0) RETRY
    1 18 1 1963 75 3.346 170.445 177.216 0
    2 12 0 987 27 1.760 178.318 183.333 0
    3 36 3 5056 156 8.885 175.732 181.326 0
    4 26 1 3933 104 6.884 175.044 179.799 0
    5 19 1 1965 64 3.574 181.884 188.008 0

    SAVEVALUE RETRY VALUE
    CONST 0 177.771
б)  FACILITY ENTRIES UTIL. AVE. TIME AVAIL. OWNER PEND INTER RETRY DELAY
    1 1001 0.951 6.989 1 961 0 0 0 10

    QUEUE MAX CONT. ENTRY ENTRY(0) AVE.CONT. AVE.TIME AVE.(-0) RETRY
    1 6 0 153 9 0.253 12.179 12.940 0
    2 2 0 66 7 0.065 7.276 8.139 0
    3 14 0 362 21 0.860 17.476 18.552 0
    4 16 0 281 10 2.538 66.481 68.934 0
    5 18 11 149 10 4.875 240.798 258.121 0

    SAVEVALUE RETRY VALUE
    CONST 0 179.686

```

**Рис. 3. Фрагменты результатов моделирования:**  
*a* –ОП-обслуживания; *б* –БП-обслуживания

На основании полученных данных (рис. 3) можно сделать следующие выводы. Во-первых, ОП влияет на среднее время ожидания обслуживания. При этом видно, что поскольку самый высокий приоритет у второго потока, то средние показатели по длине ( $l$ ) и времени ( $t_e$ ) в очереди для него устанавливаются минимальными. Во-вторых, соблюдаются инвариантные свойства согласно формуле (1).

Далее рассмотрим абсолютную дисциплину обслуживания, причем выбираем второй поток, у которого, как видно при ОП-обслуживании, уже был получен минимальный результат по времени  $t_e$  (рис. 4).

```

a)  GENERATE (exponential(1,0,50)),,4
    ASSIGN 1,1
    TRANSFER ,bbb
    GENERATE (exponential(1,0,100)),,5
    ASSIGN 1,2
    TRANSFER ,bbb
    GENERATE (exponential(1,0,20)),,3
    ASSIGN 1,3
    TRANSFER ,bbb
    GENERATE (exponential(1,0,25)),,2
    ASSIGN 1,4
    TRANSFER ,bbb
    GENERATE (exponential(1,0,50)),,1
    ASSIGN 1,5
bbb  Queue P1
    TEST E P1,2,NE_ABS
    PREEMPT 1
    DEPART P1
    ADVANCE (exponential(1,0,7))
    RETURN 1
    TERMINATE
    TRANSFER ,GO_TO
NE_ABS SEIZE 1
    DEPART P1

```

```

ADVANCE (exponential(1,0,7))
RELEASE 1
GO_TO SAVEVALUECONST,V$SUM
TERMINATE
SUM VARIABLE 7#(QX1/50+QX2/100+QX3/20+QX4/25+QX5/50)
GENERATE 10000
TERMINATE 1
START 1

```

```

б) FACILITY ENTRIES UTIL. AVE. TIME AVAIL. OWNER PEND INTER RETRY DELAY
1 1348 0.975 7.236 1 1400 0 0 0 63

QUEUE MAX CONT. ENTRY ENTRY(0) AVE.CONT. AVE.TIME AVE.(-) RETRY
1 4 0 200 8 0.182 9.100 9.479 0
2 1 0 96 93 0.002 0.189 6.041 0
3 14 6 520 7 1.256 24.158 24.488 0
4 25 20 403 10 4.937 122.506 125.623 0
5 48 37 192 4 23.259 1211.392 1237.166 0

SAVEVALUE RETRY VALUE
CONST 0 218.085

```

**Рис. 4. Фрагменты имитационной модели (а) и отчета прогона (б)  
с АП обслуживания**

### Выводы

Характер поведения всех основных показателей по результатам имитационного моделирования дисциплин обслуживания свидетельствует о полном их соответствии с подобными исследованиями аналитического моделирования.

Особенностью имитационного моделирования дисциплин обслуживания является то, что уровень приоритета с ростом его значения становится выше, а в аналитическом моделировании меньшему значению приоритета соответствует больший уровень.

Применение смешанной дисциплины обслуживания позволит сократить общее время ожидания в обслуживании, но при этом требуется применять дополнительные меры организации режим работы в модели. Например, можно осуществлять переходы по соответствующим дисциплинам обслуживания подобно тем, как показано на рис. 1.

Комбинированные подходы моделирования позволяют выполнять более детальные исследования, в тех случаях, когда имеются определенные аналитические решения.