

## ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРАНСПОРТНО-СКЛАДСКИХ КОМПЛЕКСОВ

*Жуковский Э.И., Чабаров В.А.,*

*Одесская национальная академия пищевых технологий*

**Введение.** Применение аналитических методов теории массового обслуживания при расчете складских систем накладывает определенные требования на законы распределения потоков транспортных средств (грузоединиц) и времени обслуживания. Значительные трудности возникают при расчете многофазных систем.

**Изложение основного материала.** Имитационное моделирование позволяет достаточно точно скопировать не только отдельные фрагменты, но и весь процесс функционирования системы [1–5]. При таком моделировании снимаются ограничения на виды законов распределения, количество фаз системы обслуживания, величины емкостей между отдельными фазами и возникают возможности исследовать влияние на работу складской системы различных факторов, вплоть до надежности оборудования, входящего в транспортно-складской комплекс (ТСК). Для получения исходной совокупности случайных чисел при моделировании процессов широко используют равномерное распределение в интервале (0, 1), на базе которого можно конструировать как случайные события, возникающие с любой заданной вероятностью, так и случайные величины, обладающие практически любым законом распределения. Структурная схема имитационной модели однофазовой многоканальной складской системы приведена на рисунке 1. Алгоритм программы включает следующие блоки:

**Блок 1.** Ввод начальных параметров:  $T_{экс}$  – время эксперимента;  $k$  – количество каналов;  $\lambda$  – интенсивность потока заявок;  $\mu$  – интенсивность обслуживания заявок.

**Блок 2.** Генерирование случайных величин (времени поступления заявок  $T_{ni}$  и времени обслуживания заявок  $T_{обслi}$ ) в заданных интервалах, подчиняющихся заданному распределению.

**Блок 3.** Определение времени поступления  $i$ -й заявки относительно начала эксперимента  $T_{экс}$ .

**Блок 4.** Проверка попадания времени поступления  $i$ -й заявки  $T_{ni}$  в интервал времени эксперимента  $T_{экс}$ . В случае превышения интервала  $T_{экс}$  перейти к блоку 14.

**Блок 5.** Определение номера свободного или первого освобождающегося канала  $j$  для обслуживания поступившей  $i$ -й заявки.

**Блок 6.** Проверка попадания времени обслуживания  $j$ -м каналом  $i$ -й заявки  $T_{обслij}$  в интервал времени эксперимента  $T_{экс}$ . В случае превышения интервала перейти к блоку 14.

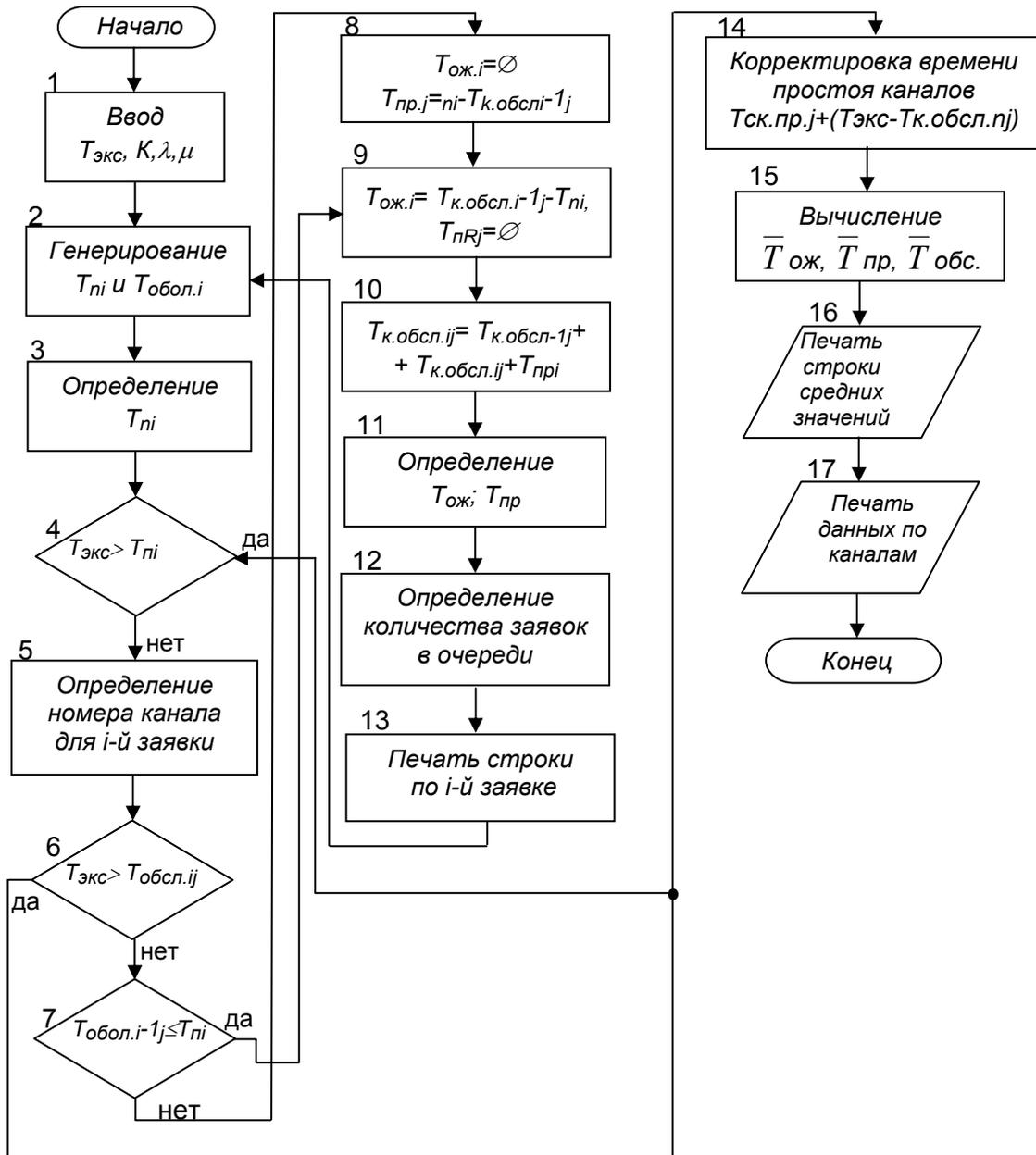


Рисунок 1. Структурная схема имитационной модели

Блок 7. Сравнение времени окончания обслуживания  $(i-1)$ -й заявки  $T_{к.обсл.i-1}$ . Если  $T_{к.обсл.i-1} > T_{ni}$ , то перейти к блоку 9.

Блок 8. Вычисление времени ожидания  $i$ -й заявки в очереди  $T_{ож.i}$  и времени простоя  $j$ -го канала  $T_{пр.j}$ :

$$T_{ож.i} = \emptyset;$$

$$T_{пр.j} = T_{ni} - T_{к.обсл.i-1j}.$$

Перейти к блоку 11.

Блок 9. Вычисление времени обслуживания  $i$ -й заявки в очереди  $T_{ож.i}$  и времени простоя  $j$ -го канала  $T_{пр.j}$ .

$$T_{ожі} = T_{к.обслі} - 1, j - T_{ні}; T_{прі} = \emptyset$$

**Блок 10.** Вычисление времени окончания обслуживания  $i$ -й заявки в  $j$ -м канале  $T_{к.обсліj}$ .

**Блок 11.** Вычисление суммарного времени ожидания к моменту поступления  $(N+1)$ -й заявки:

$$T_{ож} = \sum_{i=1}^N T_{оож} + T_{ожN} + 1,$$

где  $N$  – число обслуженных заявок.

Вычисление суммарного времени простоя системы к моменту поступления  $(N+1)$ -й заявки;

$$T_{пр} = \sum_{i=1}^N T_{прі} + T_{пр} + 1$$

**Блок 12.** Определение количества заявок в очереди к моменту поступления  $i$ -й заявки.

**Блок 13.** Печать строки, содержащей информацию для  $i$ -й заявки по форме, приведенной в табл. 1. Переход к блоку 2 циклического участка программы.

Таблица 1. Показатели качества обслуживания заявок в складской системе\*

Номер заявки	Количество заявок в очереди, шт.	Время ожидания, мин.	Время обслуживания, мин.	Время полного обслуживания, мин.	Номер канала	Время простоя канала, мин.
1	0	0	9	9	1	1
2	0	0	10	10	2	2
3	0	0	13	13	3	3
4	1	6	6	12	1	0
5	2	6	7	13	2	0
6	3	7	6	13	1	0
7	3	5	10	15	3	0
8	3	5	9	14	2	0
9	0	0	3	3	1	0
0	0	0	2	2	3	2

\* Количество каналов – 3; интервал времени – 30 мин.

**Блок 14.** Передача управления от блока 4 и 6. Корректировка времени простоя каждого канала после окончания эксперимента

$$T_{ск.прj} = T_{прj} + (T_{экс} - T_{к.обсл} N_j),$$

где  $T_{ск.прjN_j}$  – время окончания обслуживания последней заявки на  $i$ -м канале.

**Блок 15.** Вычисление средних значений величин  $T_{ож}$ ,  $T_{пр}$ ,  $T_{обс}$ :

$$\bar{T}_{ожі} = \frac{T_{ож}}{M};$$

$$\bar{T}_{прі} = \frac{T_{nn}}{k},$$

где  $M$  – число обслуженных заявок;  $k$  – число каналов.

*Блок 16.* Печать строки средних значений  $\bar{T}_{ож}$ ,  $\bar{T}_{пр}$ ,  $\bar{T}_{обсл}$ .

*Блок 17.* Вычисление и печать времени простоя  $T_{прj}$  и среднего времени обслуживания  $\bar{T}_{обслj}$  по каждому каналу,  $j=1,2,\dots,k$ , по форме, приведенной в таблице 2.

Таблица 2. Среднее значение величины

Номер канала	Время простоя канала, мин.	Среднее время обслуживания, мин.
1	3	6
2	2	8
3	5	8

Для имитационного моделирования систем массового обслуживания разработан специальный язык декларационного типа, входящий в автоматизированную систему имитационного моделирования (АСИМ) [1, 5]. АСИМ содержит средства описания систем массового обслуживания (входной язык), интерпретатор входного языка, средства обслуживания, инициатор, управляющую программу, блок выдачи результатов моделирования и блок случайных воздействий. Имитационные эксперименты с моделями складских систем, проведенные на основе АСИМ, показали возможность использования этой системы для определения таких параметров обслуживания, как  $L_q$ ,  $L_{qmax}$ ,  $W_q$ , численные значения которых необходимы для выбора оптимального варианта ТСК. Принципиально важным является то, что значения параметров обслуживания вычисляются для каждой фазы многофазовой системы.

Следовательно, значение  $L_{qmax}$  определяет такую величину емкости между фазами, при которой не наблюдается блокировки фаз. Кроме того, АСИМ позволяет получить информацию о целом ряде параметров, характеризующих работу каналов обслуживания в каждой фазе. Возможно также получение информации о параметрах складской системы при различных законах распределения входного потока и времени обслуживания. Все это позволяет не только определять параметры  $W_q$ ,  $L_q$ ,  $L_{qmax}$ , но и целенаправленно проводить имитационные эксперименты. Результаты трех имитационных экспериментов представлены в таблице 3, по которым можно проследить зависимость величины  $L_q$ , определяющей величину промежуточной емкости, от производительности 2-й фазы системы.

Таблица 3. Результаты имитационных экспериментов

№ эксперимента	Входной поток		Номер канала	Информация о работе				Информация об очереди			
	1 фаза	2 фаза		К-во обслуживания заявок	Время работы	Коэффициент загрузки	Время простоя	Коэффициент простоя	К-во заявок	Средняя длина очереди	Максим. длина очереди
1	$\lambda=7$	$\mu_{(2)}=42$	1	94	15,9306	0,5310	14,0694	0,4690	37	0,1413	4
	$\mu_{(1)}=5$	0	2	64	13,8976	0,4633	16,1024	0,5367	-	-	-
			3	54	10,0852	0,3362	19,9148	0,6638	-	-	-
			4	11934	28,8991	0,9633	1,1008	0,0367	12711	536,4106	1135
2	$\lambda=7$	$\mu_{(2)}=48$	1	76	16,3199	0,5440	13,6801	0,4560	43	8,1522	5
	$\mu_{(1)}=5$	0	2	78	14,2555	0,4752	15,7445	0,5248	-	-	-
			3	64	11,4691	0,3823	18,5309	0,6177	-	-	-
			4	12668	26,8449	0,8948	3,1551	0,1052	13059	274,8499	907
3	$\lambda=7$	$\mu_{(2)}=51$	1	90	18,3330	0,6111	11,6670	0,3889	42	0,1473	4
	$\mu_{(1)}=5$	0	2	64	15,0401	0,5013	14,9599	0,4987	-	-	-
			3	56	9,9159	0,3305	20,0841	0,6695	-	-	-
			4	12545	24,8974	0,8299	5,1026	0,1701	12562	117,7947	451

В таблице представлены также результаты моделирования двухфазной системы механизации, в 1-й фазе которой три канала, а во 2-й – один. Четвертый канал отражает работу 2-й фазы. На 1-ю фазу действует пуассоновский поток с  $\lambda = 7$  вагонов в сутки. Время обслуживания в обеих фазах распределено показательно. Производительность каналов в 1-й фазе одинакова и равна пяти вагонам в сутки. Поскольку после первой фазы наблюдается характерное для системы механизации явление дробления заявки, то производительность 2-й фазы  $\mu_{(2)}$  приведена в единицах, равных числу грузоединиц (пакетов) в сутки. Число пакетов, содержащихся в каждом вагоне, равно 60. Результаты моделирования, охватывающие период, равный 30 дням, при постоянных параметрах 1-й фазы и изменяющейся производительности 2-й фазы, показывают, что при изменении производительности с 420 до 510 грузоединиц максимальная длина очереди, определяющая величину промежуточной емкости, уменьшается примерно в 2,5 раза.

**Выводы.** Имитационные эксперименты на основе рассмотренной программы позволяют получить не только среднее значение показателей, характеризующих работу складской системы, но и оценить текущие значения параметров обслуживания по каждой заявке. Исследования, проведенные на основе приведенной имитационной модели, показали, что универсальные языки программирования могут использоваться для моделирования многофазовых складских систем. Однако разработка и отладка программ требует значительных затрат на программирование и машинное время. Поэтому целесообразно при имитационных экспериментах перейти к специальному языку имитационного моделирования.

**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Автоматизированная система имитационного моделирования (АСИМ). – Одесса : Одес. отдел. ин-та экономики НАНУ, 1979. – 237 с.
2. Жуковский Э.И., Скорописов Ю.И. Совершенствование складских систем. – К. : Техника, 1984. – 142 с.
3. Жуковский Э.И., Чабаров В.А. Комплексная механизация и автоматизация складского хозяйства. – К. : Техника, 1993. – 120 с.
4. Маликов О.Б. Склады гибких автоматических производств. – Л. : Машиностроение, 1986. – 187 с.
5. Моделирование систем, расчет элементов, формообразование поверхностей, защитные покрытия и новое оборудование в машиностроении / [Э.И. Жуковский и др.] – К. : Вища школа, 1989. – 360 с.