

А. Р. Ротт, С. Я. Алибеков, А. В. Маряшев,
Р.С. Сальманов, С. С. Филимонов

ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ, ОПИСЫВАЕМЫХ МОДЕЛЯМИ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ

Ключевые слова: Технические системы; системы массового обслуживания; динамическая система; неустановившийся режим; переходной процесс; аналитическое моделирование; имитационное моделирование; длительность переходного процесса; форма переходного процесса.

Технические системы, работающие в различных отраслях производства, часто функционируют по типу систем массового обслуживания. Как в любых динамических системах, в них периодически возникают переходные процессы, исследование которых является целью настоящей работы. Показаны особенности методов моделирования, направленные на получение и исследование переходных процессов в технических системах. Приведены примеры расчетов и практически важные выводы по результатам исследований.

Keywords: Technical systems; queuing system and the dynamic system; transient mode; transient, analytical modeling, simulation; duration of the transition process; form of the transition process.

Technical systems operating in various industries, often function by type of queuing systems. As in any dynamical systems, they periodically have transients, the study of which is the aim of the present work. The features of modeling techniques aimed at obtaining and transient study in technical systems. Examples of calculations and practically important findings of the research.

Введение

Сложные по структуре и организации системы, работающие в различных отраслях человеческой деятельности, в том числе в сфере техники и производства, часто функционируют по типу систем массового обслуживания (СМО) [1]. Процессы, протекающие в системах массового обслуживания, могут иметь самую разную физическую природу, однако, при всем различии, их объединяют некоторые общие формальные признаки, позволяющие использовать для их описания единый математический аппарат теории массового обслуживания. Обычно целью исследования подобных систем является установление количественных зависимостей между интенсивностью входящего потока заявок, требующих обслуживания, внутренними проектными параметрами системы, например, числом обслуживающих устройств и их производительностью и выходными характеристиками системы, такими, например, как ее пропускная способность, длина очередей на обслуживание, загрузка обслуживающих устройств и т.д. [2]. При этом важна точность используемых математических моделей, позволяющая избежать грубых просчетов, поскольку СМО являются в большинстве случаев дорогостоящими объектами, поэтому оптимизация их структуры и основных конструктивных параметров с использованием моделирования – весьма важная и актуальная задача, которая возникает на ранних стадиях проектирования и предполагает детальное изучение моделируемых явлений, их точную формализацию и алгоритмизацию. Для решения рассматриваемой задачи возможно использование как аналитических, так и имитационных методов моделирования, которые достаточно хорошо известны [3]. Однако, в большинстве случаев, при проектировании

ограничиваются моделированием стационарного установившегося режима, который наступает при сравнительно длительной работе системы. По результатам подобного моделирования и принимаются, как правило, основные проектные решения.

Поскольку системы массового обслуживания представляют собой функционирующие во времени динамические системы, в них, как в любых динамических системах, периодически возникают переходные процессы [4]. Причинами появления переходных процессов, в частности, в производственных системах, являются различные внешние возмущения режима их функционирования, которые могут быть вызваны как техническими, так и организационными факторами (включения, отключения, коммутации, отказы оборудования, его настройка, начало и окончание смены, перерывы на обед и т. п.). Переходный процесс возникает, длится какое-то время и затем затухает, после чего система переходит в стационарный установившийся режим работы, характеристики которого уже практически не будут зависеть от времени, однако, при очередном внешнем возмущении снова возникает переходный режим и ситуация повторяется. Таким образом, работа системы массового обслуживания во времени независимо от ее физической сущности и назначения обычно представляет собой чередование установившихся режимов с переходными процессами, периодически возникающими при каждом внешнем возмущении (рис. 1).

μ - интенсивность обслуживания,

$$\mu = \frac{1}{t_{\text{обс}}}.$$

α - параметр системы

$$\alpha = \frac{\lambda}{\mu},$$

Решая систему дифференциальных уравнений (1), можно получить переходный процесс работы СМО при различных начальных условиях, определяемых конкретными значениями величин λ , μ , n . Стационарное состояние рассматриваемой системы можно получить, принимая

$$t \rightarrow \infty, P'_k(t) \rightarrow 0 \text{ и } P_k(t) \rightarrow P_k.$$

При этом система дифференциальных уравнений (1) преобразуется в систему алгебраических уравнений, из которой можно получить зависимости для расчета показателей работы системы в установившемся режиме.

Моделирование выполнялось для параметров $\alpha=0,7$; $n=1$ и $\lambda_2=2\lambda_1$. В результате были получены графики переходных процессов для ряда выходных характеристик рассматриваемой системы. Время работы системы было выражено в относительных единицах. За единицу измерения принято среднее время обслуживания (обработки деталей) $t_{\text{обс}}$.

В результате моделирования было установлено, что переходные процессы в рассматриваемой системе для основных выходных характеристик имеют колебательную форму и затухающий характер. Форма переходных процессов, построенных для одной из этих характеристик - коэффициента использования (загрузки) станка $K_{\text{исп}}$ для различных значений параметра λ показана на рис. 2.

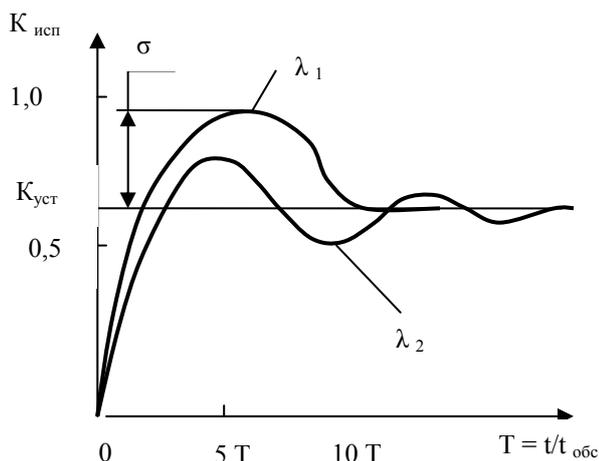


Рис. 2 - Переходные процессы в разомкнутой системе с ожиданием

Было также определено значение данного коэффициента $K_{\text{уст}}$ при установившемся режиме работы. Как видно из графика, длительность T и отклонение характеристики от установившегося значения достаточно велики и зависят от интенсивности λ поступающих в систему заявок на обслуживание. Так, при интенсивности входящего

потока λ_1 максимальное отклонение исследуемого параметра $K_{\text{исп}}$ от его установившегося значения превышает 30 процентов, а продолжительность переходного процесса при интенсивности λ_2 составляет более $15t_{\text{обс}}$. В этом случае если время обработки детали составляет, например, 5 минут, переходный процесс в станочной системе будет длиться более часа. Полученные результаты говорят о том, что игнорирование учета влияния переходных процессов при определенном сочетании параметров в данном примере может привести к грубым ошибкам.

Вместе с тем, методы аналитического моделирования, если использовать их для исследования переходных процессов, имеют ряд недостатков. С их применением невозможно моделировать работу систем сложной организации и структуры. Традиционные для теории массового обслуживания допущения о простейшем пуассоновском входящем потоке и показательном времени операций обслуживания также часто не соответствуют реальным процессам, что приводит к снижению точности расчетов. В такой ситуации более предпочтительным для исследования динамики систем представляется использование имитационного моделирования, которое обеспечивает более высокую точность результатов, а также возможность решения более сложных задач. Кроме того, имитационные модели позволяют задавать различные законы распределения входящего потока, операций обслуживания, а также учитывать многочисленные случайные факторы, характерные для работы реальных технических систем любой структуры и сложности [6]. Рассмотрим использование методов имитационного моделирования для исследования переходных процессов на конкретном примере.

Пример 2. На вычислительный комплекс, управляющий технологическим процессом, с конечного числа датчиков поступает порциями изменяющаяся во времени информация, нуждающаяся в обработке. Эта информация образует входящий поток, который подчиняется нормальному закону распределения со средним значением $t_{\text{вх}}$. Время обработки поступающей порции информации также случайное и зависит от ее особенностей. Пусть оно подчиняется закону распределения равномерной плотности со средним значением $t_{\text{обс}}$. Застав обслуживающий вычислительный комплекс занятым, поступившая порция информации ожидает его освобождения. Однако со временем информация устаревает и теряет свое значение. В частности, если время ожидания информации в очереди $t_{\text{ож}}$ превышает некоторую величину $t_{\text{макс}}$, информация считается потерянной. Требуется выполнить имитационное моделирование системы, определить характеристики ее функционирования и оценить, насколько вероятна потеря информации, в частности, при переходных процессах, периодически возникающих в системе.

В отличие от примера 1, имеем замкнутую систему массового обслуживания. В данной задаче

входящий в систему поток требований не является пуассоновским, а время обслуживания не подчиняется показательному закону распределения, что не позволяет использовать аналитические методы моделирования. Для решения задачи используем имитационное моделирование на языке GPSS, который хорошо приспособлен для описания технических систем.

Программы моделирования на GPSS позволяют исследовать переходные процессы с высокой точностью благодаря выдаче промежуточных результатов с любым, в том числе мелким шагом. В процессе моделирования были определены значения выходных показателей функционирования системы в переходном режиме. Моделирование продолжалось до завершения переходного процесса и выполнялось для следующих значений исходных параметров:

$$m = 3 - 7; \alpha_1 = 0,5; \alpha_2 = 0,9.$$

Упрощенная структурная схема имитационной модели системы показана на рис. 3, а полученные в результате моделирования графики переходных процессов, показывающие изменение в динамическом режиме одной из выходных характеристик системы $t_{ож}$ - времени ожидания требования (порции информации) в очереди – на рис. 4.

Были также вычислены установившиеся значения данной характеристики $t_{уст}$ для различных значений параметра системы α .

Как и в предыдущем примере 1, время работы системы здесь задано в относительных единицах. Из графиков видно, что переходные процессы, особенно при значении параметра $\alpha = 0,9$, имеют существенную продолжительность и большое отклонение от установившегося значения (перерегулирование σ составляет более 30 %). Это может привести к выходу времени ожидания обслуживания в исследуемой технической системе за предельное значение t_{max} и потере информации, что свидетельствует о недопустимости игнорирования переходных процессов в данной задаче.

Анализ результатов моделирования и исследования переходных процессов в рассматриваемых примерах позволяет сделать следующие практически важные *выводы*:

1. Переходные процессы в исследованных технических системах, рассмотренных в примерах 1 и 2, являются колебательными по форме и затухающими во времени.

2. Продолжительность переходных процессов до наступления установления в ряде случаев значительна и зависит от ряда факторов, главным образом от интенсивности поступления требований на обслуживание λ и параметра системы α . С увеличением указанных параметров время переходных процессов увеличивается. Влияние числа источников требований m в замкнутой

системе на длительность переходных процессов невелико.

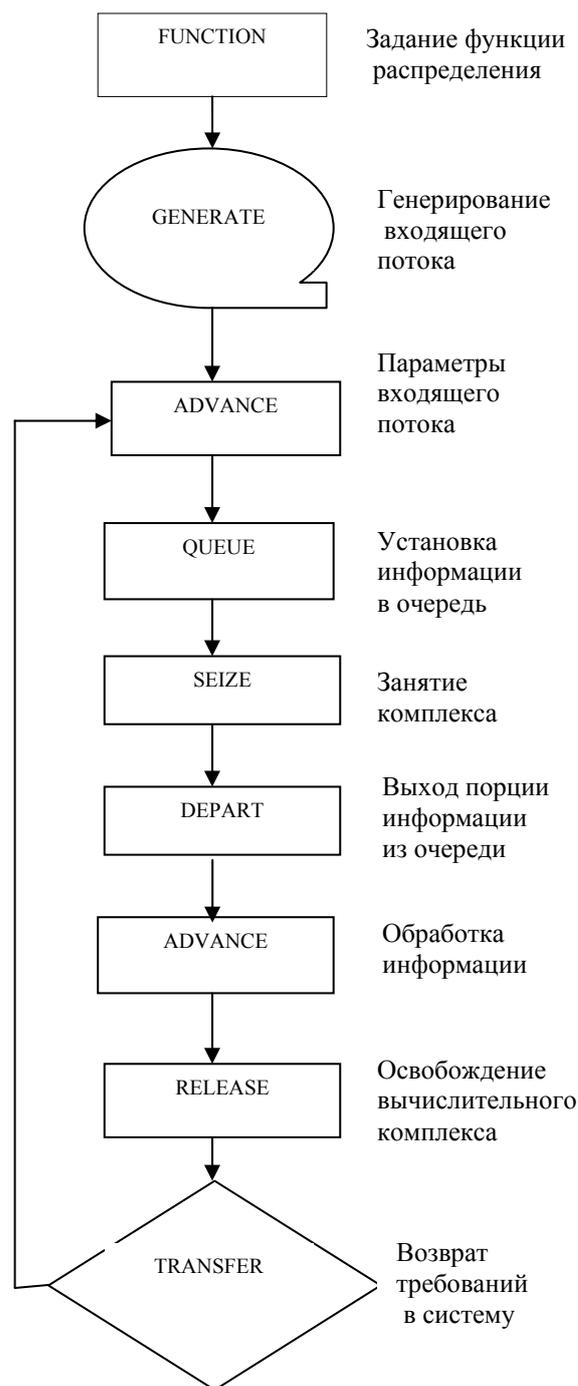


Рис. 3 - Структурная схема имитационной модели

3. Максимальная величина отклонения графиков переходных процессов от их установившихся значений (перерегулирования σ) также велика (превышает 30 процентов). Для исследованных характеристик в замкнутой системе перерегулирование возрастает с увеличением параметра системы α , а в разомкнутой возрастает с уменьшением параметра входящего потока λ .

Полученные в статье результаты позволяют утверждать, что переходные процессы, возникающие в технических системах, функционирующих по типу систем массового

обслуживания, при определенном сочетании параметров этих систем оказывают существенное влияние на выходные показатели работы систем, поскольку значения, которые принимают эти показатели в период прохождения переходных процессов, могут сильно отличаться от значений аналогичных показателей, найденных для установившихся режимов. В таких условиях при практических расчетах, особенно для систем, работа которых по разным причинам длится ограниченное время либо сопровождается частыми отключениями, остановками, коммутациями и другими внешними возмущениями, учет влияния переходных процессов обязателен.

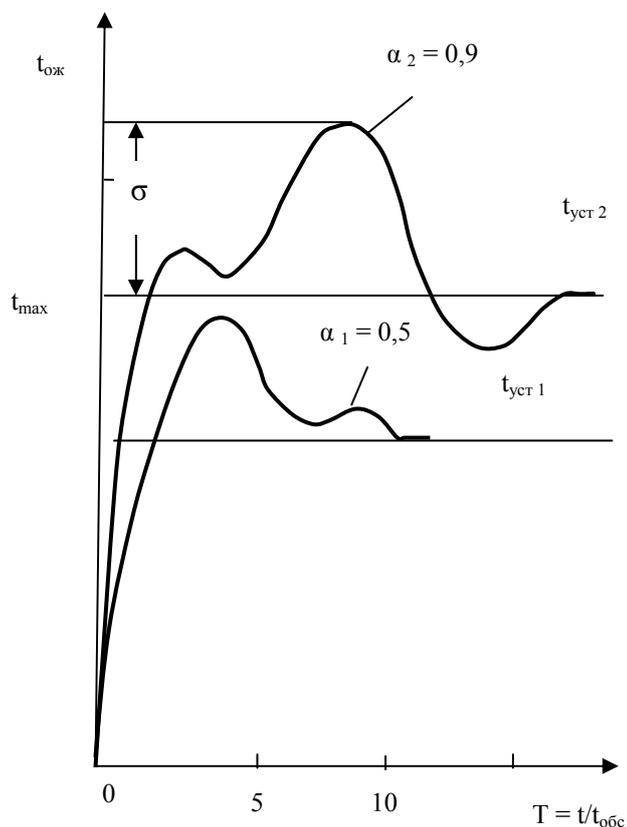


Рис. 4 - Переходные процессы в замкнутой системе

Рассмотренная методика моделирования универсальна и позволяет исследовать особенности переходных процессов в технических системах различного назначения и структуры.

Литература

1. *Вентцель Е.С.* Теория вероятностей: учеб. для вузов. – 6-е изд. стер.-М.: Высш. шк., 1999.- 576 с.
2. *Ивницкий В.Л.* Теория сетей массового обслуживания.- М.: Физматлит, 2004.-772 с.
3. *Вентцель Е.С.* Исследование операций.-М.: Дрофа, 2004.- 208 с.
4. *Ротт А.Р., Чайкин В.Н.* Исследование переходных процессов в электрических системах, функционирующих по типу систем массового обслуживания / Механизация и электрификация сельского хозяйства, 2006. №2. С. 29-31.
5. *Ротт А.Р.* Моделирование и расчеты производственно-технических систем: учеб. пособие. Йошкар-Ола, МарГТУ, 2010.- 224 с
6. *Бельков В.Н., Ланшаков В.Л.,* Автоматизированное проектирование технических систем: учеб. пособие.- Изд-во «Академия естествознания», 2009.- 347 с.
7. *Бакеева Л.В.* Математические дисциплины в аспекте многомерных связей. Вестник КГТУ №12. 2013. С293-296.
8. *Грачев А.С., Алибеков С.Я., Казанкин К.С., Маряшев А.В., Сальманов Р.С.* Модель лавинного разрушения электроэнергетических систем при естественном старении. Вестник КГТУ №23. 2013. С.62-63.

© **А. Р. Ротт** – канд. техн. наук, доц. Поволжского государственного технологического университета, Йошкар-Ола, RottAR@volgatech.net; **С. Я. Алибеков** – д-р техн. наук, проф., зав. каф. машиностроения и материаловедения того же вуза; **А. В. Маряшев** – канд. техн. наук, доц. того же вуза; **Р. С. Сальманов** – канд. техн. наук, доц. каф. физики КНИТУ; **С. С. Филимонов** – асс. каф. машиностроения и материаловедения Поволжского государственного технологического университета.