

3.13. ВЕРОЯТНОСТНАЯ ФОРМАЛИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕРАБОТКИ КОНТЕЙНЕРНЫХ ГРУЗОВ В СТАЦИОНАРНЫХ РЕЖИМАХ С ОГРАНИЧЕННЫМ ВРЕМЕНЕМ ПРЕБЫВАНИЯ СУДОВ В ОЧЕРЕДИ

Русинов И.А., к.т.н.,

доцент кафедры экономики и основ управления

Государственная морская академия имени адмирала С.О. Макарова

Рассматриваются вероятностные модели показателей качества процессов переработки контейнерных грузов в стационарных режимах, полученные на основе теории массового обслуживания. Предусматривается возможность распределения ресурсов в зависимости от состояния процесса и ограниченности времени пребывания судна в очереди.

Контейнерные перевозки являются наиболее удобным и экономичным способом транспортировки грузов. Основным транспортным узлом в контейнерных перевозках является специализированный терминал, неотъемлемой частью которого являются каналы переработки грузов, представляющие морские и речные причалы или взлетно-посадочные полосы.

Время прихода морских, речных и воздушных судов к терминалу во многих случаях отклоняется от расчетного по причинам, которые не предусматриваются графиком. При этом указанные отклонения носят, как правило, случайный характер.

Кроме того, необходимо учитывать, что время переработки грузов, зависящее от ряда случайных факторов, также является случайной величиной. Поэтому для описания процессов обработки судов в контейнерных терминалах необходимо пользоваться вероятностными моделями.

Суммарный поток моментов прибытия морских, речных или воздушных судов к терминалу можно рассматривать как поток, сколь угодно близкий к стационарному пуассоновскому (простейшему) потоку. Будем также считать, что время обработки судна подчиняется показательному закону распределения.

Принятые допущения позволяют использовать для описания процессов в контейнерных терминалах теорию массового обслуживания. Применение аппарата массового обслуживания позволяет представить выражения для вероятностных показателей качества процессов в стационарных режимах в аналитической форме.

Однако применение существующих моделей массового обслуживания для формализации процессов обработки судов не представляется целесообразным, так как указанные модели неадекватно описывают указанные процессы в реальных условиях функционирования.

Так классическая теория обслуживания предусматривает исследование многоканальной системы, причем число приборов S равно числу каналов. Каждый канал может обслуживаться одним прибором независимо от других каналов (СМО без взаимопомощи). Кроме того, каналы могут обслуживать все свободные приборы или часть свободных приборов (СМО с полной или частичной взаимопомощью). Вероятности переходов системы из одного состояния в другое, т.е. вероятность обслуживания одной заявки зависит от числа работающих каналов обслуживания.

В реальных условиях функционирования специализированного терминала процессы переработки грузов неадекватны указанным допущениям.

Поэтому в работе рассматривается централизованная система обработки грузов, управление которой осуществляется администратором терминала.

Администратор производит распределение человеческих и технических ресурсов, причем в зависимости от требований, предъявляемых к процессу, величина интенсивности обработки в различных состояниях процесса может меняться в широких пределах.

При функционировании терминалов в отдельные периоды времени возникают ситуации, когда загрузка терминалов существенно возрастает. Соответственно увеличивается очередь судов, а следовательно, и среднее время ожидания судна в очереди. Это может привести не только к экономическим потерям, но и к возникновению аварийных ситуаций. В таких случаях администратор терминала должен либо увеличивать интенсивность переработки грузов, либо передавать отдельные суда на смежные терминалы.

Рассмотрим систему обработки судов смешанного типа с S причалами, на вход которой поступает поток судов с плотностью λ . Среднее время обработки одного судна на

одном канале $\bar{T}_{обр} = \frac{1}{\mu_0}$ и подчиняется показательному

закону распределения, т.е. интенсивность обработки равна μ_0 . Судно, которое застаёт все причалы занятыми, становится в очередь и ожидает обработки, причем время обработки ограничено некоторым сроком $\bar{T}_{ож}$. Если до истечения этого срока судно не поступит на обработку, то оно покидает очередь и поступает на другой терминал. Срок ожидания $\tau_{ож}$ будем считать случайным и распределенным по показательному закону, т.е.:

$$\bar{\tau}_{ож} = M[\tau_{ож}] ; \nu = \frac{1}{\bar{\tau}_{ож}}$$

где ν – плотность потока ухода судов, стоящих в очереди на другие терминалы.

Тогда матрица интенсивностей процесса переработки грузов будет иметь следующий вид:

$$\lambda = \begin{matrix} & E_0 & E_1 & E_2 & E_3 & \dots \\ \begin{matrix} 0 \\ r_1\mu_0 \\ 0 \\ 0 \\ \dots \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{matrix} & \begin{matrix} \lambda \\ 0 \\ r_2\mu_0 \\ 0 \\ \dots \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{matrix} & \begin{matrix} 0 \\ \lambda \\ 0 \\ r_3\mu_0 \\ \dots \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{matrix} & \begin{matrix} 0 \\ 0 \\ \lambda \\ 0 \\ \dots \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{matrix} & \dots \end{matrix}$$

$$\dots \begin{matrix} E_{s+d-1} & E_{s+d} & E_{s+d+1} & \dots \\ \dots & 0 & 0 & \dots \\ \dots & 0 & 0 & \dots \\ \dots & 0 & 0 & \dots \\ \dots & 0 & 0 & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & 0 & \lambda & 0 \\ \dots & r_s\mu_0 + d\nu & 0 & \lambda \\ \dots & 0 & r_s\mu_0 + (d+1)\nu & 0 \end{matrix} \begin{matrix} E_0 \\ E_1 \\ E_2 \\ E_3 \\ \dots \\ E_{s+d-1} \\ E_{s+d} \\ E_{s+d+1} \end{matrix}$$

где $E_0, E_1, E_2, E_3, E_{s+d-1}, E_{s+d}, E_{s+d+1}$ – состояния системы, соответствующие числу судов в терминале;

d – число судов в очереди;

$r_1, r_2, r_3, \dots, r_s$ – коэффициенты интенсивности обработки грузов, значения которых определяются администратором терминала.

На основе матрицы интенсивностей составим систему уравнений, описывающих процесс, в стационарном режиме:

$$\lambda P_0 = r_1 \mu_0 P_1; \quad (\lambda + r_1 \mu_0) P_1 = \lambda P_0 + r_2 \mu_0 P_2; \quad (1)$$

$$(\lambda + r_n \mu_0) P_n = \lambda P_{n-1} + r_{n+1} \mu_0 P_{n+1}, \quad (1 \leq n \leq S-1);$$

$$(\lambda + r_s \mu_0 + d\nu) P_{s+d} = \lambda P_{s+d-1} + [r_s \mu_0 + (d+1)\nu] P_{s+d+1}, \quad (n > S);$$

$$\sum_{n=1}^{\infty} P_n = 1, \quad (2)$$

где

P_0 – вероятность того, что все каналы свободны;

P_n – вероятность n -го состояния процесса, соответствующего состоянию E_n .

Введем приведенные плотности:

$$\psi = \frac{\lambda}{\mu_0}; \quad \beta = \frac{\nu}{\mu_0}.$$

Тогда решив систему уравнений (1), получим следующие выражения для вероятностей отдельных состояний:

$$P_n = \frac{\psi^n}{\prod_{i=1}^n r_i} P_0, \quad 0 < n \leq S; \quad (3)$$

$$P_{s+d} = \frac{\psi^{s+d}}{\prod_{i=1}^s r_i \prod_{j=1}^d (r_s + j\beta)} P_0, \quad d \geq 1. \quad (4)$$

Величина P_0 определяется из нормировочного условия (2):

$$P_0 = \frac{1}{\sum_{n=1}^s \frac{\psi^n}{\prod_{i=1}^n r_i} + \sum_{d=1}^{\infty} \frac{\psi^{s+d}}{\prod_{i=1}^s r_i \prod_{j=1}^d (r_s + j\beta)}}, \quad (5)$$

где r_0 равно 1.

Среднее число судов, находящихся в очереди:

$$\bar{d} = \sum_{d=1}^{\infty} d P_{s+d} = \frac{\psi^s P_0}{\prod_{i=1}^s r_i} \sum_{d=1}^{\infty} \frac{d \psi^d}{\prod_{j=1}^d (r_s + j\beta)}. \quad (6)$$

Среднее общее число судов в терминале:

$$\begin{aligned} \bar{n} &= \bar{d} + S - \sum_{n=0}^S (S-n) P_n = \\ &= \bar{d} + S - \frac{P_0}{\prod_{i=1}^s r_i} \sum_{n=0}^S (S-n) \psi^n. \end{aligned} \quad (7)$$

Тогда на основе формулы Литтла получим следующие выражения для среднего времени ожидания судов и общего среднего времени пребывания судов в терминале:

$$\bar{t}_{ож} = \frac{\bar{d}}{\lambda} = \frac{\psi^s P_0}{\lambda \prod_{i=1}^s r_i} \sum_{d=1}^{\infty} \frac{d \psi^d}{\prod_{j=1}^d (r_s + j\beta)}; \quad (8)$$

$$\bar{t}_{\Sigma} = \bar{t}_{ож} + \frac{1}{\lambda} \left[1 - \frac{P_0}{\prod_{i=1}^s r_i} \sum_{n=0}^S (S-n) \psi^n \right]. \quad (9)$$

Определим вероятность того, что судно не будет обработано на данном терминале. Эта вероятность при установившемся режиме представляет собой отношения среднего числа судов, уходящих из очереди в единицу времени к среднему числу судов, подходящих к терминалу в единицу времени.

Тогда выражение для указанной вероятности можно представить в виде:

$$P_n = \frac{\beta}{\psi} \bar{d}. \quad (10)$$

Соответственно относительная пропускная способность терминала, т.е. вероятность того, что судно будет обработано, можно записать следующим образом:

$$P_{обр} = 1 - P_n = 1 - \frac{\beta}{\psi} \bar{d}, \quad (11)$$

где \bar{d} определяется выражением (7).

Выражения для P_0 , \bar{d} , $\bar{t}_{ож}$ содержат в себе бесконечные суммы по числу судов, находящихся в очереди. Однако слагаемые этих сумм довольно быстро убывают, т.е. можно рассматривать ограниченное число слагаемых.

Расчеты, произведенные на основе вышеприведенных выражений, позволяют администратору контейнерного терминала решать вопросы о планируемой интенсивности потока прихода судов в определенный период времени с учетом допустимого срока ожидания судна в очереди и достаточно высокой пропускной способности. Если во время указанного периода интенсивность прихода судов увеличивается по сравнению с планируемой, по тем или иным причинам то администратор терминала передает часть судов на смежный терминал или увеличивает результирующую интенсивность обработки судов.

Литература

1. Гнеденко Б.В., Коваленко И.Н. Введение в теорию массового обслуживания. – М.: Наука, 1987. – 336 с.
2. Кузин Л.Т. Основы кибернетики: В 2 т. – Т. 2. – М.: Энергия, 1979. – 584 с.
3. Русинов И.А. Моделирование управляемых многоканальных систем массового обслуживания // Программные продукты и системы. – 2008. – №2. – С. 56-57.

Русинов Игорь Александрович

РЕЦЕНЗИЯ

Широкое внедрение контейнерных перевозок различными видами транспорта вызывает необходимость разработки адекватных моделей процессов переработки грузов. Поэтому тематика статьи, посвященная вероятностной формализации этих процессов, является актуальной и представляет, как теоретический, так и практический интерес.

Несомненным достоинством рецензируемой работы является универсальность разработанных моделей, которые могут быть использованы для исследования процессов на воздушных, морских и речных судах. В тоже время указанные модели учитывают специфику моделируемых процессов, что позволяет производить их исследование в специфических режимах. В частности при существенном возрастании загрузки терминалов, а следовательно и времени пребывания судов в очереди могут возникнуть ситуации влекущие значительные экономические потери.

Автор формализует указанные ситуации в виде моделей массового обслуживания с ограниченным временем пребывания судов в очереди. Рассматриваются модели процессов в стационарных режимах, в частности определяются аналитические выражения для среднего времени пребывания судна в терминале, среднего времени ожидания в очереди, а также пропускной способности терминала.

Решение этих задач в процессе проектирования и эксплуатации контейнерных терминалов, позволяет существенно повысить эффективность их использования.

Считаю полезным и целесообразным публикацию рецензируемой работы. Зубарев Ю.Я., д.т.н., профессор Санкт-Петербургского государственного университета водных коммуникаций

3.13. PROBABILITY FORMALISING OF PROCESSES OF PROCESSING OF CONTAINER CONSIGNMENTS WITH STATIONARY CONDITIONS WITH THE LIMITED RESPONSE TIME OF VESSELS IN QUEUE

I.A. Rusinov, Candidate of Sciences (Technical),
Associate Professor, Department: «Economy and Bases
of Management»

State Maritime Academy named after Admiral Makarov

There are considered probabilistic of models of parameters of quality of processes of processing of container cargoes in the stationary modes, received on the basis of the theory of mass service. The opportunity of distribution of resources is provided depending on a condition of process and limitation of time of stay of a vessel in turn.

Literature

1. B.V. Gnedenko, Irina Kovalenko «Introduction to the theory of queuing» M., Science, 1987, 336 p.
2. L.T. Kuzin "Fundamentals of Cybernetics," Book 2, M., Energy, 1979, 584 p.
3. I.A. Rusinov. «Modelling of controlled multi-channel systems of a queuing», Software products and systems, №2 2008 56-57 p.