

## ГИБКИЕ ЛОГИСТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ С ПЕРЕНАЛАДКОЙ В КОНЦЕ ПЕРИОДА ЗАНЯТОСТИ И ПОТЕРЕЙ ТРЕБОВАНИЙ

РУМЯНЦЕВ Н. В.

доктор экономических наук

Донецк

**Ж**изнеспособность предприятия во многом зависит от его ассортиментной политики и способности широко варьировать выпуск продукции без ущерба для развития предприятия. До 1970-х годов гибкость сбыта обеспечивалась за счет создания на складах большого запаса готовой продукции. Изменение ассортимента выпускаемой продукции в условиях функционирования больших предприятий являлось делом довольно сложным, так как требовалось много времени и средств на замену, установку и наладку новой техники и оборудования [1, 2].

С появлением логистического подхода акцент с создания запасов готовой продукции переносится на создание запасов производственной мощности, т. е. предлагается переход к созданию и организации производства по типу гибких производственно-логистических систем (ГПАС) [1,2], которые способны быстро реагировать на изменения конъюнктуры рынка. Снижение стоимости продукции достигается не традиционным увеличением продукции, а в результате логистической организации производственного процесса, увязки и синхронизации всех материальных потоков [3].

Под гибкостью понимают способность производственно-логистической системы оперативно адаптироваться к изменению условий функционирования с минимальными затратами и без потерь, а в исключительных случаях – с минимальным снижением производительности. Гибкость является одним из эффективных средств обеспечения устойчивости производственного процесса.

Под *гибкостью предприятия* понимают его способность переходить из одного работоспособного функционального состояния в другое, с минимальными затратами или потерями или вообще без таковых [4]. Гибкая производственно-логистическая система представляет собой совокупность в разных сочетаниях оборудования с числовым программным управлением, роботизированных технологических комплексов, гибких производственных модулей, отдельных единиц технологического оборудования, систем обеспечения функционирования гибких перенастраиваемых систем в автоматическом режиме в течение заданного интервала времени. Основные организационно-производственные критерии, предъявляемые к производственно-логистическим системам, заключаются в поддержании стабильного уровня выходных параметров (объема и ритма выпуска, качества и стоимости продукции), то есть в обеспечении организационно-экономической устойчивости промышленного производства при наличии множества различных внешних и внутренних возмущений.

Проявлением воздействия внешних факторов отклоняющих воздействий на производственно-логистическую систему могут быть:

- ✦ обновление ассортимента продукции в соответствии с рыночным спросом;
- ✦ изменение объемов выпуска продукции, а следовательно, и размеров партий запуска;
- ✦ нарушение ритмичности материально-технического снабжения, в том числе срыва сроков поставки заготовок;
- ✦ конструктивные модификации, влекущие необходимость переналадки и переподготовки производства.

Факторами внутренних возмущающих воздействий, влекущих нарушение производственного процесса, могут быть:

- ✦ сбой и поломки основного оборудования;
- ✦ поломки режущего и другого вспомогательного инструмента;
- ✦ брак при изготовлении продукции;
- ✦ сбой и отклонения в работе производственного персонала.

Различают два типа гибкости производственно-логистических систем: *качественная* и *количественная гибкость*. Качественная гибкость достигается за счет наличия универсального оборудования, способного в процессе производства к переналадке для выпуска произвольной номенклатуры, а также универсального обслуживающего персонала. Она включает в себя следующие элементы: гибкость оборудования; ассортиментную гибкость; технологическую гибкость; гибкость объемов производства; гибкость расширения системы (конструктивную гибкость); универсальность системы; уровень оперативной автономности. В работе рассматривается один вид гибкости, а именно – гибкость оборудования, которая характеризуется длительностью и стоимостью переналадки или перехода (перераспределения) оборудования с изготовления одного вида продукции (деталей) на другой в рамках закрепленного в производственном плане ассортимента. Показателем данной гибкости является количество деталей, изготавливаемых в промежутках между переналадками. Поэтому в процессе организации производства важно вначале определить оптимальный размер данной партии. Оптимальной партией изделий считается такая партия, при которой затраты в расчете на одно изделие будут минимальными. Для решения задачи выбора размера оптимальной партии принято считать, что себестоимость продукции складывается из прямых затрат на изготовление продукции и издержек на хранение запасов. Вопросы определения оптимального числа продукции выпускаемой от одной переналадки до другой были рассмотрены автором в монографии [6].

Вопросы определения числовых характеристик гибких производственных систем рассматривались в работе [7] при различных поведеньях гибкой системы до начала переналадки прибора и после ее окончания. Отметим, что в данных работах рассматривались системы массового обслуживания с переналадкой прибора,

который наступает немедленно после завершения периода занятости, причем предполагалось, что требования, поступившие в систему во время переналадки оборудования, накапливаются в очереди и после окончания переналадки прибора, они немедленно принимаются к обслуживанию, а затем обслуживаются требования, поступившие в систему во время обработки деталей.

В данной работе исследуются вопросы определения числовых характеристик гибких производственных систем в предположении, что требования, поступившие в систему во время переналадки прибора, теряются. Опишем подробно процесс подготовки производства к выпуску новой партии товара, причем считаем, что сбоев и поломок основного оборудования поломки режущего и другого вспомогательного инструмента во время работы не допускается. Итак, предположим, что некоторое предприятие или производство интерпретируется одноканальной системой массового обслуживания, на вход которой поступает пуассоновский поток заявок интенсивности  $\lambda > 0$ . Обслуживание требований производится в порядке их поступления, причем длительность обслуживания имеет показательный закон распределения с параметром  $\mu > 0$ . Прибор обладает особенностью, состоящей в том, что после обслуживания требований, находящихся в системе, он переходит в состояние переналадки, длительность которой имеет показательный закон распределения с параметром  $\nu > 0$ . Требования, поступающие в систему во время переналадки, теряются. После окончания переналадки прибор переходит в свободное состояние, которое будем называть состоянием «свободен-готов», находясь в котором, он способен обслуживать поступающие требования или заказы.

Описанная система обслуживания является моделью большого числа реальных систем: телекоммуникационных, производственно транспортных, процессов хранения и распределения продукции.

**Решение задачи.** Для решения вышеописанной системы рассмотрим случайный марковский процесс  $\xi(t)$ , фазовое пространство которого имеет вид  $E_1 = \{0^*, 0, 1, 2, 3\}$ , где состояния процесса характеризуется как:

$0^*$  – гибкая производственная система находится в состоянии переналадки;

$0$  – гибкая производственная система свободна и готова к обработке заказов (свободна – готова);

$k(k \geq 1)$  – означает, что в системе находится  $k$  требований, причем одно из них обслуживается, а  $(k - 1)$  – требование ожидает обработки.

Для упрощения составления уравнений Колмогорова, описывающих зависимость вероятностей состояний случайного процесса  $\xi(t)$ , заданного на фазовом пространстве  $E$ , построим размеченный граф.

Пусть  $P_{0^*} = P\{\xi(t) = 0^*\}$ ,  $P_k = P\{\xi(t) = k\}$ ,  $k \geq 0$  – стационарные вероятности состояний данной системы. Тогда на основании размеченного графа состояний легко можно составить систему уравнений для стационарных вероятностей состояний данной системы, которые имеют вид (рис. 1):

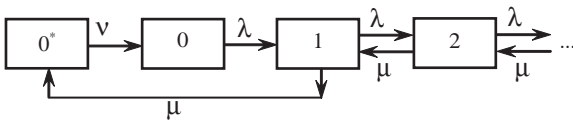


Рис. 1. Размеченный граф состояний, описывающий функционирование системы с переналадкой в конце периода занятости и потерей требований

$$\begin{cases} -vP_{0^*} + \mu P_1 = 0 \\ -\lambda P_0 + vP_{0^*} = 0 \\ -(\lambda + \mu)P_k + \lambda P_{k-1} + \mu P_{k+1} = 0, k \geq 1. \end{cases} \quad (1)$$

Решая полученную систему (1), находим формулы, являющиеся обобщением формул Эрланга [8]:

$$P_{0^*} = \frac{\rho}{\delta} P_0, P_k = \rho^k P_0, k \geq 1, \quad (2)$$

где  $\rho = \frac{\lambda}{\mu}$ ,  $\delta = \frac{v}{\mu}$ .

Вероятность  $P_0$  находим из условия нормировки  $P_{0^*} + P_0 + P_1 + \dots = 1$ . После подстановки в него выражений из (2), находим, что

$$P_0 = \frac{\delta(1-\rho)}{\rho(1-\rho)+\delta} \quad (3)$$

при условии, что  $\rho < 1$ .

Теперь подставляя (3) в (2), получаем, что

$$P_k = \frac{\delta \rho^k (1-\rho)}{\rho(1-\rho)+\delta}, k \geq 1. \quad (4)$$

**Замечание.** Если предположить, что время переналадки стремится к нулю или, что равносильно тому,  $\delta \rightarrow \infty$ , то из (3) находим величину

$$\begin{cases} P_{0^*} = 0, \\ P_k = \rho^k (1-\rho), k \geq 0. \end{cases} \quad (5)$$

Итак, видим, что формулы (5) совпадают с формулами Эрланга [8] для одноканальной системы массового обслуживания.

Для описания и анализа гибкой производственной системы необходимо подсчитать основные ее характеристики:

1) вероятность отказа в обслуживании заказа в гибкой системе определяется вероятностью того, что она находится в состоянии ( $0^*$ ). Итак, вероятность отказа  $P_{отк}$  равна  $P_{отк}^{(1)} = P_{0^*} = \frac{\rho}{\delta} P_0 = \frac{\rho(1-\rho)}{\rho(1-\rho)+\delta}$ ;

2) относительная пропускная способность системы равна  $1 - P_{отк}$

$$\Pi_{отн}^{(1)} = 1 - P_{отк} = 1 - P_{0^*} = 1 - \frac{\rho}{\delta} P_0 = \frac{\delta}{\rho(1-\rho)+\delta};$$

3) абсолютная пропускная способность  $A$ , равная среднему числу заказов, обрабатываемых в единицу времени, равна

$$A^{(1)} = \lambda \Pi_{отн} = \lambda \left(1 - \frac{\rho}{\delta} P_0\right) = \frac{\lambda \delta}{\rho(1-\rho)+\delta};$$

4) достаточно важной характеристикой системы является средняя длина очереди  $\bar{q}^{(1)}$ . Она, в нашем случае вычисляется по формуле

$$\begin{aligned} \bar{q}^{(1)} &= 0 \cdot (P_{0^*} + P_0 + P_1) + P_2 + 2P_3 \dots = \\ &= \sum_{k=1}^{\infty} k P_{k+1} = \frac{\rho^2 P_0}{(1-\rho)^2} = \frac{\rho^2 \delta}{(\delta + \rho(1-\rho))^2 (1-\rho)}; \end{aligned}$$

5) среднее время ожидания заявок в очереди  $\bar{t}_{ож}$  совпадает со средним временем ожидания в системе  $M/M/1$  и равно

$$\bar{t}_{ож}^{(1)} = \frac{\bar{q}}{\lambda} = \frac{\rho^2 P_0}{\lambda(1-\rho)^2} = \frac{\rho^2 \delta}{\lambda(1-\rho)[\delta + \rho(1-\rho)]^2};$$

6) важной характеристикой, учитываемой при определении качества работы гибкой производственной системы, является коэффициент занятости, который в нашем случае равен просто вероятности занятости системы  $K_{зан}$  и которая вычисляется как

$$\begin{aligned} K_{зан} &= P_1 + P_2 + \dots = \\ &= \sum_{k=1}^{\infty} P_k = \sum_{k=1}^{\infty} \rho^k P_0 = \frac{\rho P_0}{1-\rho} = \frac{\rho \delta}{\delta + \rho(1-\rho)}. \end{aligned}$$

Итак, в заключение отметим, что для характеристики работы гибкой производственной системы еще необходимо знать три основные характеристики, влияющие на эффективность работы предприятия:

– вероятность переналадки, определяющая среднее время, в течение которого гибкая система производит переналадку, т. е. если время  $t$  – это время функционирования системы, то в состоянии переналадки она находилась в среднем  $t \cdot P_{0^*}$ -времени, т. е.

$$t \cdot P_{0^*} = \frac{t(1-\rho)}{\delta(\rho(1-\rho)+\delta)};$$

– вероятность простоя  $P_0$  системы, которая означает, что в течение времени  $t \cdot P_0$ , т. е. в течение времени  $t \cdot P_0 = \frac{\delta t(1-\rho)}{\rho(1-\rho)+\delta}$  гибкая производственная система простаивает;

– вероятность занятости системы  $P_{зан}$ , которая определяет среднее время работы, т. е. время, в течение которого прибор работал, равна  $t \cdot P_{зан} = \frac{t \rho \delta}{\rho(1-\rho)+\delta}$ .

Если предположить, что число заказов, или так называемый динамический портфель заказов, в гибкой системе ограничен числом  $m$  заказов, находящихся в системе, то легко можно найти вероятности состояний данной ГПС, описываемой системой массового обслуживания с ограниченной очередью. В этом случае легко получаем, что

$$P_{0^*} = \frac{\rho}{\delta} P_0, P_k = \rho^k P_0, k = 1, 2, \dots, m. \quad (6)$$

Вероятность  $P_0$  определяем из условия нормировки, имеющая в данном случае следующий вид:  $P_{0^*} + P_0 + P_1 + \dots + P_m = 1$  и которое дает, что

$$P_0 = \frac{\delta(1-\rho)}{\rho(1-\rho) + \delta(1-\rho^{m+1})}. \quad (7)$$

С учетом полученного значения (7) вероятность  $P_0$  равна

$$P_{0^*} = \frac{\rho}{\delta} P_0, \quad P_k = \rho^k P_0, \quad k = 1, 2, \dots, m. \quad (8)$$

Следует отметить тот факт, что в соотношениях (7) и (8)  $\rho$  – величина загрузки прибора может принимать любые значения, т. е.  $\rho > 0$ .

Вычислим основные характеристики ГПС с ограниченным динамическим портфелем заказов.

1) Вероятность отказа в обслуживании равна сумме вероятностей  $P_{0^*}$  и  $P_m$ , т. е.

$$P_{отк}^{(2)} = \frac{\rho(1-\rho)(1+\delta\rho^{m-1})}{\rho(1-\rho) + \delta(1-\rho^{m+1})}.$$

2) Относительная пропускная способность данной системы равна

$$П_{отн}^{(2)} = 1 - P_{отк} = \frac{\delta(1-\rho^m)}{\rho(1-\rho) + \delta(1-\rho^{m+1})}.$$

3) Абсолютная пропускная способность гибкой производственной системы, равная, как уже отмечалось раньше, среднему числу заказов, обслуживаемых в единицу времени, вычисляется по формуле

$$A^{(2)} = \lambda(1 - P_{отк}) = \frac{\lambda\delta(1-\rho^m)}{\rho(1-\rho) + \delta(1-\rho^{m+1})}.$$

4) Средняя длина очереди в данном случае определяется по формуле

$$\bar{q}^{(2)} = \sum_{k=1}^{m-1} kP_{k+1} = \frac{\rho^2\delta(1+\rho^{m-1}(m\rho - m - \rho))}{(1-\rho)(\rho(1-\rho) + \delta(1-\rho^{m+1}))}.$$

5) Среднее время ожидания начала обслуживания заявок или работ в ГПС равно

$$\bar{t}_{ож}^{(2)} = \frac{\bar{q}^{(2)}}{\lambda} = \frac{\rho^2\delta[1+\rho^{m-1}(m\rho - m - \rho)]}{\lambda(1-\rho)(\rho(1-\rho) + \delta(1-\rho^{m+1}))}.$$

6) Вероятность занятости ГПС обработкой заказов равна

$$\begin{aligned} P_{зан}^{(2)} &= P_1 + P_2 + \dots + P_m = \\ &= \sum_{k=1}^m \rho^k P_0 = \frac{1-\rho^{m+1}}{1-\rho} P_0 = \frac{\delta(1-\rho^{m+1})}{\rho(1-\rho) + \delta(1-\rho^{m+1})}. \end{aligned}$$

### ВЫВОДЫ

На основании введенных характеристик можно строить всевозможные показатели, оценивающие затраты в гибкой производственной системе и, как следствие, находить ее оптимальные параметры.

Отметим, что, как и в случае классических систем массового обслуживания, можно ставить вопрос об управлении гибкой производственной системой, минимизируя:

а) вероятность отказа в обслуживании клиентов, или максимизируя абсолютную пропускную способность. В этом случае основным показателем является

доход, получаемый гибкой системой от обслуживания клиентов;

б) длину очереди, и как следствие, среднее время ожидания исполнения заказа. ■

### ЛИТЕРАТУРА

- 1. Николайчук В. Е.** Теория и практика управления материальными потоками (логистическая концепция) : Монография / Николайчук В. Е. – Донецк : ДонГУ, «КИТИС», 1999. – 413 с.
- 2.** Модели и методы теории логистики : Учебное пособие / Под ред. В. С. Лукинского. – Питер, 2003. – 175 с.
- 3. Рейнхард Юнеманн.** Материальные потоки и логистика / Р. Юнеманн. – Берлин : Изд-во Шпрингер, 1989.
- 4.** Комплексные оценки в системе рейтингового управления предприятием / А. П. Белый, Ю. Г. Лысенко, А. А. Мадых, К. Г. Макаров. – Донецк : Юго-Восток, 2003. – 117 с.
- 5. Самочкин В. Н.** Гибкое развитие предприятия. Анализ и планирование / Самочкин В. Н. – М. : Дело, 1999. – 336 с.
- 6. Румянцев Н. В.** Моделирование гибких производственно-логистических систем : Монография / Румянцев Н. В. – Донецк : Изд-во Юго-Восток, 2004. – 235 с.
- 7. Рыжиков Ю. И.** Расчет системы массового обслуживания с порогом включения и «разогревом» / Рыжиков Ю. И. // Техническая кибернетика. – 1974. – № 6. – С. 125 – 131.
- 8. Гнеденко Б. В.** Введение в теорию массового обслуживания / Б. В. Гнеденко, И. Н. Коваленко. – М. : Наука, 1987. – 336 с.