ПРОСТОЕ ПРАВИЛО СНИЖЕНИЯ ИЗДЕРЖЕК ПРИ ВЫБОРЕ ПОРЯДКА ОБСЛУЖИВАНИЯ ЗАКАЗОВ В ЦЕПЯХ ПОСТАВОК

В статье анализируются ситуации, когда формальное использование cμ-правила оптимизации, разработанного в теории сетей обслуживания для моделей с постоянными тарифами штрафов, позволяет выработать оптимальную стратегию и для моделей, формат которых предусматривает увеличение штрафов с течением времени. Показано, что процедуры минимизации издержек при обслуживании заказов в цепях поставок, связанные с выбором порядка их выполнения, во многих случаях могут быть упрощены.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: портфели заказов, издержки обслуживания, повышение штрафов с течением времени, выбор порядка обслуживания заказов

Борисова Людмила Андреевна — к. э. н., доцент факультета логистики НИУ ВШЭ (г. Москва)

Бродецкий Геннадий Леонидович — д. т. н., профессор факультета логистики НИУ ВШЭ (г. Москва)

ВВЕДЕНИЕ

Чтобы обеспечить конкурентоспособность бизнеса с логистической точки зрения, необходимо систематически повышать эффективность работы всех звеньев цепей поставок, в частности тех, которые соотносятся с процессами реализации заданного множества заказов. Их эффективность, как известно, можно увеличить без дополнительных инвестиций за счет правильного порядка выполнения имеющихся заказов, который позволит сократить средние ожидаемые издержки, соотносимые с реализацией всего портфеля. Традиционные модели оптимизации решений для задач указанного типа и некоторые обобщения представлены в работах Дж. Уолрэнда [5] и Г.Л. Бродецкого [1, 3]. В рамках этих моделей предполагается, что величина издержек, которые соотносятся с обслуживанием заказов в цепях поставок, пропорциональна длительности ожидания момента исполнения заказа, причем сами издержки со временем не изменяются. Модели учета уходящих денежных потоков относятся к схеме, которая в финансовом анализе называется схемой простых процентов.

На практике такое предположение часто не соответствует действительности: величина издержек может со временем изменяться. В этом случае алгоритмы нахождения оптимального порядка обслуживания заказов, позволяющего снизить ожидаемые суммарные издержки, нуждаются в пересмотре. В частности, для моделей, которые соотносятся с моделированием цепей поставок, предусматривающих расчеты через различные платежные системы, это будет обусловлено тем, что алгоритмы учета наращиваемых денежных потерь (для рассматриваемых в этой статье моделей оптимизации это будут суммы штрафов или издержек) на любых промежутках времени в банках (платежных системах) большинства стран мира предполагают использование так называемой схемы непрерывных процентов. Чтобы повысить эффективность работы таких звеньев в цепях поставок, формат моделей оптимизации суммарных издержек по всему портфелю заказов надо соотносить с современными требованиями анализа денежных потоков. Соответственно, будут востребованы модели, в формате которых положения финансовой математики и финансового анализа позволяют учитывать изменения штрафов с течением времени и характер таких изменений по схеме непрерывного начисления процента или ее аналогов.

Оптимизационная модель, в которой учтена данная характеристика, уже анализировалась в статье «Новый формат стратегий минимизации издержек обслуживания заказов при увеличении тарифов штрафов во времени»: в ней был рассмотрен случай, когда штрафы увеличиваются с течением времени [2]. Было показано, что в формате таких моделей для минимизации суммарных штрафов по всему портфелю заказов требуется, чтобы предварительно были определены показатели специального вида. Чтобы минимизировать суммарные издержки обслуживания, необходимо упорядочить выполняемые заказы по убыванию найденных специальных показателей.

К сожалению, практикующие менеджеры в области логистики, которые воспользовались данной моделью, могли заметить, что при этом процедуры минимизации существенно усложнились (по сравнению с традиционным правилом оптимизации, разработанным в теории сетей обслуживания). Оказалось, что специальные показатели, в отличие от аналогичных показателей традиционных моделей (когда формат учета накапливаемых штрафов соответствует схеме простых процентов, а сами штрафы не меняются с течением времени), зависят от вида распределения вероятностей случайных длительностей реализации заказов. Для обычных классических моделей указанного типа [1, 3, 5], когда начисление издержек соответствует схеме простых процентов, такая зависимость отсутствует. При этом правило оптимизации порядка выполнения заказов портфеля оказывается исключительно простым. Для реализации алгоритма поиска оптимального решения надо знать только средние ожидаемые длительности процессов реализации заказов и размер штрафов. Для моделей, позволяющих учитывать возможность изменения штрафов с течением времени, наличие отмеченной зависимости (требование учета специфики распределения вероятностей для длительностей обслуживания имеющихся заказов) усложняет процедуру оптимизации и алгоритм поиска эффективной стратегии обслуживания портфеля заказов. Чтобы обойти эту трудность, желательно знать, в каких ситуациях можно находить оптимальные стратегии реализации заказов по традиционным для теории сетей обслуживания алгоритмам. Это позволит использовать простое правило оптимизации независимо от наличия или отсутствия конкретной информации о видах распределений вероятностей.

В статье представлены результаты специального исследования, посвященного обозначенным проблемам. В ней будет доказано, что при экспоненциальных и геометрических распределениях, относящихся к длительности реализации заказов, учет увеличения штрафов в формате схемы непрерывных процентов не повлияет на результат оптимизации. Это позволит обосновать следующий интересный с позиций академического уровня научных исследований и важный для практикующих менеджеров вывод: наилучший порядок реализации заказов в указанной ситуации можно находить по традиционному для задач такого типа правилу. Кстати, аналогичный вывод, но для случая снижения интенсивности штрафов с течением времени уже был представлен в статье «Инвариантные к убыванию тарифов штрафов модели оптимизации порядка выполнения заказов в цепях поставок» [4]. Соответственно, менеджер сможет использовать простой алгоритм оптимизации (в теории сетей обслуживания его называют оптимальным cμ-правилом) без каких-либо модификаций его процедур в ситуациях, которые связаны как с понижением, так и повышением штрафов из-за задержек поставок.

АТРИБУТЫ ОПТИМИЗАЦИОННОЙ МОДЕЛИ

Предположим, что, как и в статье одного из авторов «Новый формат стратегий минимизации издержек обслуживания заказов при увеличении тарифов штрафов во времени» [2], заданы следующие параметры модели, относящиеся к анализируемому портфелю заказов:

N — количество заказов в портфеле, далее i-заказы ($i = 1, 2, \ldots, N$);

S_i — длительность реализации i-заказа, причем случайные величины S_i независимы друг от друга;

$M[S_i]$ — средняя ожидаемая длительность реализации i-заказа;

μ_i — интенсивность обслуживания i-заказа, определяемая как $1 / M[S_i]$;

$c_i = c_i(0)$ — параметр величины штрафа для i-заказа в начальный момент времени $t = 0$, когда сформирован портфель заказов;

$c_i(t) = c_i \times e^{\delta t}$ — величина штрафов в произвольный момент времени t, причем $c_i(t)$ — возрастающая функция, в отличие от модели, которая была рассмотрена в статье «Новый формат стратегий минимизации издержек обслуживания заказов при увеличении тарифов штрафов во времени» [2], а ее увеличение с течением времени отражает схема непрерывных процентов;

δ — интенсивность роста непрерывно начисляемого процента для учета суммарного потока штрафов, которая соответствует некоторой заданной ставке наращения r в один период (в годовых процентах), т.е. $\delta = \ln(1 + r)$;

$i = (i_1, i_2, \ldots, i_N)$ — вектор, задающий очередность выполнения заказов, причем его координаты указывают номера заказов (первым выполняется заказ i_1, вторым — заказ i_2 и т.д.);

T_i — момент завершения процедур реализации i-заказа, когда прекращается начисление штрафов по нему (в общем случае T_i — случайная величина, распределение вероятностей которой обусловливается и порядком реализации заказов, и распределением длительности S_i реализации i-заказа, и распределениями длительностей S_j тех заказов, которые будут выполнены до него).

Поскольку ставка наращения r (для учета потока штрафов) задана в годовых процентах, далее принимается, что показатели времени (параметры T_i и S_j) рассматриваемой модели также заданы в годовом измерении. Задача оптимизации формулируется как минимизация ожидаемых суммарных штрафов по всему портфелю заказов с учетом указанной схемы их учета. При этом, как показано в статье «Новый формат стратегий минимизации издержек обслуживания заказов при увеличении тарифов штрафов во времени» [2], если интенсивность штрафов в произвольный момент времени t задается возрастающей функцией вида $c_i(t) = c_i \times e^{\delta t}$, то формально задача оптимизации может быть представлена в виде:

$$M\left(\sum_{i=1}^{N} \frac{1}{\delta} \times c_i \times (e^{\delta T_i} - 1)\right) \to \min. \quad (1)$$

В той же статье была установлена следующая особенность процедур минимизации штрафов за счет правильного порядка реализации заказов в таких моделях: вместо обычного cμ-правила для теории сетей обслуживания [5] необходимо использовать новое модифицированное c(mod)-μ(mod)-правило. В частности, если предусматривается увеличение штрафов с течением времени, то оптимальный порядок характеризуется убыванием специальных показателей, которые соотносят с заказами портфеля. Такой показатель применительно к *i*-заказу в статье «Новый формат стратегий минимизации издержек обслуживания заказов при увеличении тарифов штрафов во времени» был обозначен через $I(i)$. Его надо определять по формуле $I(i) = c_i(\mathrm{mod})\mu_i(\mathrm{mod})$, где $c_i(\mathrm{mod})\ M(c_i e^{\delta S_i})$ и $\mu_i(\mathrm{mod}) = \delta / M(e^{\delta S_i} - 1)$ [2]. Соответственно, расширенная формула выглядит следующим образом:

$$I(i) = M(c_i \times e^{\delta S_i}) \times \frac{\delta}{M(e^{\delta S_i} - 1)} = \frac{c_i \times \delta \times M(e^{\delta S_i})}{M(e^{\delta S_i}) - 1}. \quad (2)$$

Обратим внимание на следующую особенность процедур минимизации штрафов в таких моделях на основе использования формул типа 2: поскольку заказы портфеля надо будет упорядочить по убыванию показателя $I(i)$, как видно из формулы 2, при оптимизации потребуется определить значения специальных величин $M(e^{\delta S_i})$. Обратим внимание на то, что не требуется их вычисление в формате простого cμ-правила теории сетей обслуживания [1, 3, 5] (когда издержки или штрафы учитываются по схеме простых процентов). При использовании этого правила достаточно знать только средние ожидаемые затраты времени на реализацию портфеля заказов. В соответствующих модифицированных моделях с переменными тарифами штрафов указанные величины $M(e^{\delta S_i})$ могут зависеть от вида закона распределения вероятностей случайных длительностей обслуживания S_i. Однако в некоторых случаях при нахождении правильного порядка реализации заказов можно опускать дополнительные процедуры определения специальных величин и упрощать алгоритм оптимизации, причем не в ущерб точности результата. Перейдем к ответу на вопрос, когда можно использовать алгоритм оптимизации, соответствующий учету издержек по схеме простых процентов, при котором достаточно знать только оценки первых моментов длительностей реализации заказов в соответствии с теорией сетей обслуживания.

При оптимизации более сложных моделей минимизации издержек при выполнении портфеля заказов в случаях, когда затраты временных ресурсов на реализацию имеющихся заказов распределены по *экспоненциальным* или *геометрическим* законам, действительно можно использовать рекомендации традиционного для теории сетей обслуживания cμ-правила. Учитывая результаты, полученные в работе «Инвариантные к убыванию тарифов штрафов модели оптимизации порядка выполнения заказов в цепях поставок» [4], тем самым будет установлено, что их можно использовать независимо от того, каким образом штрафы изменяются с течением времени:

1) в ситуации, когда они увеличиваются;
2) в ситуации, когда они уменьшаются.

МОДЕЛИ ОПТИМИЗАЦИИ С УЧЕТОМ УВЕЛИЧЕНИЯ ШТРАФОВ ПРИ ЭКСПОНЕНЦИАЛЬНОМ РАСПРЕДЕЛЕНИИ ВРЕМЕНИ ОБСЛУЖИВАНИЯ ЗАКАЗОВ

В случаях, когда затраты временных ресурсов на обслуживание заказов являются экспоненциальными случайными величинами, плотности их распределений определяются следующими равенствами: $f(x) = \mu_i \times \exp\{-\mu_i \times x\}$, $x \geq 0$. При этом $M(S_i) = 1 / \mu_i$. Покажем, что для такой модели наилучший порядок реализации заказов, составленный с учетом роста штрафов с течением времени по представленному в статье «Новый формат стратегий минимизации издержек обслуживания заказов при увеличении тарифов штрафов во времени» алгоритму оптимизации [2], всегда будет совпадать с результатом оптимизации по обычному cμ-правилу для сетей обслуживания, которое работает в случае, если штраф не изменяется. Для этого используем следующую возможность представления величины $M(e^{\delta S_i})$: применительно к экспоненциальным законам распределения вероятностей в случае, когда выполнены условия $M(e^{\delta S_i}) < \infty$, можно использовать следующее равенство:

$$M(e^{\delta S_i}) = \frac{1}{1-\delta \times M(S_i)}. \quad (3)$$

Тогда на основе формул 2–3 для показателей $I(i)$, по которым определяется порядок выполнения заказов портфеля с учетом увеличения тарифов штрафов, получаем: $I(i) = c_i / M(S_i) = c_i\mu_i$. Таким образом, для этих показателей при экспоненциальном обслуживании заказов портфеля имеют место равенства: $c_i(\text{mod})\mu_i(\text{mod}) = c_i\mu_i$. Как видим, модифицированные показатели или индексы, на основе которых надо определять порядок выполнения заказов, совпадают с традиционными показателями такого типа для сетей обслуживания. Другими словами, при экспоненциальном обслуживании заказов всегда будет иметь место совпадение значений показателей $I(i)$ для модели учета издержек по схеме простых процентов и для моделей, в которых учитывается увеличение штрафов и возможность их учета по схеме непрерывных процентов. Таким образом, при экспоненциальном распределении временнЫх ресурсов порядок выполнения заказов портфеля по модифицированному $c_i(\text{mod})\mu_i(\text{mod})$-правилу [2] всегда будет совпадать с порядком выполнения заказов, найденным по обычному $c\mu$-правилу.

МОДЕЛИ ОПТИМИЗАЦИИ ДЛЯ УЧЕТА ПОВЫШЕНИЯ ШТРАФОВ ПРИ ГЕОМЕТРИЧЕСКОМ РАСПРЕДЕЛЕНИИ ВРЕМЕНИ ОБСЛУЖИВАНИЯ ЗАКАЗОВ

Теперь рассмотрим модель, в которой длительности обслуживания S_i являются целочисленными случайными величинами с геометрическим распределением. Иными словами, формат оптимизационной модели предполагает, что этот показатель должен быть кратным некоторому постоянному периоду Δ, который принимается за условную единицу. При этом можно выбирать масштаб измерения времени произвольным образом, руководствуясь, например, удобствами процедур анализа и интерпретации: в качестве единицы времени Δ могут выступать часы, дни, недели, декады и т.д. Требование геометрического закона распределения для S_i (с учетом их целочисленности) означает, что для любого целого числа $k \geq 1$ вероятности случайных событий вида $\{S_i = k\}$ определяются по формулам $P\{S_i = k\} = p_i q_i^{k-1}$, где для вероятностей p_i и q_i выполнены условия $0 < p_i < 1$ и $p_i + q_i = 1$. При этом вероятности $p_i = P\{S_i = 1\}$ применительно к интерпретации процесса обслуживания i-заказа с помощью формата схемы Бернулли представляются как вероятности «успеха» (т.е. завершения обслуживания) в одном испытании (т.е. на очередном периоде Δ). Для параметров p_i имеют место равенства $M(S_i) = 1 / p_i$.

Покажем, что и для такой модели наилучший порядок реализации заказов (по найденному и представленному в статье «Новый формат стратегий минимизации издержек обслуживания заказов при увеличении тарифов штрафов во времени» модифицированному правилу [2]) всегда будет совпадать с порядком, который определяется по обычному для сетей обслуживания $c\mu$-правилу. Таким образом, простые алгоритмы оптимизации порядка выполнения заказов можно будет использовать не только в случае снижения, но и в случае повышения штрафов с течением времени.

При геометрических законах распределения случайных величин $S \times M(e^{\delta S_i}) = \sum_{k=1}^{\infty} e^{k\delta} q_i^{k-1} p_i$. Вынесем за скобки в этом представлении величину $e^{\delta} \times p_i$. В такой записи в скобках останется сумма бесконечной геометрической прогрессии:

$$M(e^{\delta S_i}) = e^{\delta} \times p \times [1 + z + z^2 + \cdots + z^k + \cdots], \quad (4)$$

где $z = e^{\delta} q_i$.

Сумма степенного ряда в квадратных скобках будет конечной, и ряд будет сходиться при выполнении условия $z < 1$. В исходных параметрах указанное условие имеет вид $e^{\delta} q_i < 1$. Учитывая, что при непрерывном начислении процентов интенсивность роста δ связана со ставкой наращения r равенством $e^{\delta} = 1 + r$, интересующее нас условие можно записать в виде $1 + r < q_i^{-1}$ или в виде $1 - p_i < (1 + r)^{-1}$. Кроме того, поскольку $p_i = 1 / M(S_i)$, его можно переписать в виде неравенства $1 - (M(S_i))^{-1} < (1 + r)^{-1}$. После тривиальных упрощений получаем следующее условие сходимости рассматриваемого ряда:

$$M(S_i) < 1 + 1/r. \tag{5}$$

Применительно к современным цепям поставок неравенство $e^{\delta}q_i < 1$ всегда будет выполняться. Действительно, в последнем представлении этого условия величина ожидаемых затрат времени на выполнение заказа $M(S_i)$ для анализируемых моделей, как правило, измеряется днями, неделями, декадами. Соответственно, в формате годового представления значение этого показателя всегда будет меньше единицы, что гарантирует выполнение неравенства при любой ставке наращения, которая может быть использована в модели.

Вернемся к нахождению величины $M(e^{\delta S_i})$. Если выполнено условие 5, то рассмотренный выше ряд $[1 + z + z^2 + \ldots + z^k + \ldots]$ будет сходиться, причем $[1 + z + z^2 + \ldots + z^k + \ldots] = 1 / (1 - e^{\delta} \times q_i)$. Теперь снова воспользуемся равенством $e^{\delta} = 1 + r$. Для $M(e^{\delta S_i})$ получим представление $M(e^{\delta S_i}) = p_i(1 + r) / (p_i - q_i r)$. Аналогично для $M(e^{\delta S_i} - 1)$ получим представление $M(e^{\delta S_i} - 1) = r / (p_i - q_i r)$. Далее, используя найденные соотношения для выражений $M(e^{\delta S_i})$ и $M(e^{\delta S_i} - 1)$, находим окончательные значения для выражений c_i(mod) и μ_i(mod), по которым определяется показатель $I_A(i)$:

$$c_i(\mathrm{mod}) = c_i p_i (1 + r) / (p_i - q_i r); \tag{6}$$

$$\mu_i(\mathrm{mod}) = \delta(p_i - q_i r) / r. \tag{7}$$

Соответственно, показатель $I(i) = c_i(\mathrm{mod})\mu_i(\mathrm{mod})$ может быть рассчитан по следующей формуле:

$$I(I) = \frac{c_i \times \delta \times (1+r) \times p}{r} = \frac{c_i \times \delta \times (1+r)}{r \times M(S_i)} = c_i \mu_i \times \frac{\delta(1+r)}{r}. \tag{8}$$

При нахождении оптимального порядка выполнения заказов портфеля надо учесть следующее:

1) множитель $\delta(1 + r) / r$ является одинаковым для всех заказов портфеля;

2) заказы надо упорядочить по убыванию показателя $I(i)$.

Теперь можно сделать вывод, который позволит упростить процедуры оптимизации, если требуется минимизировать суммарные издержки (штрафы) по всему портфелю заказов. При геометрическом распределении длительностей реализации заказов показатель $I(i) = c_i(\mathrm{mod})\mu_i(\mathrm{mod})$ в формате модели увеличения штрафов можно оценивать на основе более простых соотношений вида $I(i) = c_i\mu_i$, т.к. упорядочение по убыванию такого показателя не будет зависеть от множителя $\delta(1 + r) / r$. Как видим, для таких моделей оптимальный порядок реализации заказов, найденный по модифицированному c(mod)μ(mod)-правилу, и оптимальный порядок, найденный по обычному для сетей обслуживания простому cμ-правилу, всегда совпадают. Соответственно, и в ситуации с геометрическим распределением длительностей промежутков времени выполнения заказов, как и в рассмотренной выше ситуации с экспоненциальными длительностями обслуживания, менеджер может пренебречь сложными процедурами модификации. Следовательно, оптимальная стратегия выполнения портфеля заказов в таких моделях всегда может быть вычислена с помощью традиционного простого cμ-правила. Представим соответствующие иллюстрации в формате условного примера.

ПРИМЕР ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОПТИМИЗАЦИОННОЙ МОДЕЛИ

Некоторая компания имеет три заказа, которые будут выполняться одной бригадой. Выполнять их одновременно нельзя, поскольку это может привести к падению качества ниже требуемого уровня. Для удобства сравнений процедур оптимизации далее используются параметры модели, рассмотренной в статье «Новый формат стратегий минимизации издержек обслуживания заказов при увеличении тарифов штрафов во времени» [2]. Из-за задержки в поставке спецоборудования величина c_i штрафов для указанных заказов составляет 1% от цены заказа. Контракты учитывают возможное увеличение штрафов для еще не выполненных заказов по схеме непрерывно начисляемого процента при интенсивности роста $\delta = 0{,}2$ (20% годовых). Контрактные цены P_i по заказам и ожидаемые длительности обслуживания заказов $M(S_i)$ приведены в таблице. Известно, что длительности обслуживания заказов (S_i) — экспоненциальные случайные величины.

Надо найти оптимальный порядок выполнения этих заказов, который минимизирует ожидаемый размер суммарных штрафных санкций.

Как было показано выше для нахождения показателей $I(i)$, по каждому заказу достаточно воспользоваться традиционным для сетей обслуживания cμ-правилом. При этом правильный порядок обслуживания заказов соотносится с убыванием соотносимых с заказами показателей вида: $I(i) = c_i / M(S_i)$. Результаты вычислений представлены в столбце таблицы «Индекс $I(i)$». Остается упорядочить заказы по убыванию найденных значений $I(i)$. Оптимальный порядок их выполнения задается вектором $i = (1; 3; 2)$. Это означает, что первым надо выполнять заказ 1, затем заказ 3, а последним — заказ 2.

Многие менеджеры при принятии решений используют так называемую близорукую стратегию: реализуют заказы в порядке убывания штрафов без учета средних ожидаемых длительностей их реализации. При использовании такой стратегии порядок реализации заказов задает вектор $i = (3; 1; 2)$. Предоставляем читателям возможность самостоятельно убедиться, что по сравнению с близорукой оптимальная стратегия позволяет сократить средние ожидаемые издержки обслуживания на 4,75%. В общем случае выигрыш по сравнению с иным или, например, случайным порядком выполнения заказов будет еще более существенным. Снижение издержек обслуживания в формате рассмотренного в примере портфеля заказов по абсолютной величине может показаться небольшим, однако следует учесть, что аналогичное снижение годовых издержек на те же 4,75% при системной реализации найденного оптимального подхода к выполнению заказов в течение года позволит значительно сэкономить средства компании.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Итак, при экспоненциальных и геометрических распределениях затрат временны́х ресурсов, которые надо учитывать при выполнении портфеля заказов, увеличение штрафов в формате схемы непрерывных процентов не влияет на оптимальный порядок выбора очередности выполнения заказов. В статье доказано, что такой порядок можно находить, используя простые традиционные алгоритмы, которые разработаны в теории сетей обслуживания в формате моделей с постоянными тарифами штрафов.

Важность этого вывода применительно к процедурам минимизации суммарных издержек обслуживания портфелей заказов, связанных с работой цепей поставок, для менеджеров в области логистики сложно переоценить. Благодаря ему в указанных ситуациях при учете реальных схем начисления издержек с увеличением штрафов

Таблица. Атрибуты портфеля заказов

Номер заказа	**$M(S_i)$, суток**	**P_i, тыс. руб.**	**c_i, тыс. руб.**	**Индекс $I(i)$**
1	10	180	1,8	0,18
2	7,5	100	1	0,1(3)
3	15	240	2,4	0,16

с течением времени менеджерам не потребуются дополнительная информация и дополнительные расчеты, обусловливаемые необходимостью представления специальных «усредненных» показателей интенсивности выполнения заказов, которые необходимы при использовании формата схемы непрерывных процентов. Кроме того, не требуется дополнительных усилий по поиску специальных модифицированных индексных показателей, по которым определяется очередность выполнения имеющихся заказов. Для принятия решения достаточно использовать простые традиционные показатели, которые являются атрибутами классических моделей [1, 3, 5].

Таким образом, материалы статьи доказывают, что эффективность работы звеньев цепей поставок можно повышать без дополнительных затрат как временных, так и денежных ресурсов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бродецкий Г.Л. Минимизация издержек обслуживания портфеля заказов при случайных «тарифах» штрафных функций // РИСК. — 2009. — №3. — С. 96–102.
2. Бродецкий Г.Л. Новый формат стратегий минимизации издержек обслуживания заказов при увеличении тарифов штрафов во времени // Логистика. — 2011. — №2. — С. 42–45.
3. Бродецкий Г.Л. Резервы снижения издержек обслуживания заказов в цепях поставок // Логистика сегодня. — 2009. — №6. — С. 346–356.
4. Бродецкий Г.Л., Токарева Е.В. Инвариантные к убыванию тарифов штрафов модели оптимизации порядка выполнения заказов в цепях поставок (часть I) // Логистика. — 2012. — №10. — С. 30–32.
5. Уолрэнд Дж. Введение в теорию сетей массового обслуживания / Пер. с англ. Г. Икрамова, А. Толмачева. — М.: Мир, 1993. — 336 с.