

ЛОГИСТИКА ПЕРЕМЕЩАЕМЫХ ЗАПАСОВ

TRANSPORTING STOCKS LOGISTICS

Проф., д-р техн. наук Якимович С., асп. Тетерина М.
Марийский государственный технический университет, г. Йошкар-Ола, Россия
E-mail: jak@marstu.mari.ru; E-mail: tetatet-marya@mail.ru

Abstract: *The way of the inventory theory development by presenting stocks as transporting and determining of effective parameters and working regimes of technical systems, accumulating and transporting (consuming) work object stocks, is expounded. The methodic of modeling of processing-transporting systems work technology process as accumulation with processing machines and consuming with transporting machines work object stock, being transformed in space-time coordinates at technology process route, is presented.*

KEYWORDS: *transporting stocks, stochastic and determine models, multiphase processing-transporting systems, working regimes.*

1. Введение

В теории запасов [1,3,4] известны подходы к моделированию и оптимизации накапливаемых и потребляемых запасов на смежных операциях технологического процесса. Такие запасы целесообразно классифицировать как перемещаемые, так как их преобразование осуществляется только во времени, а координаты пространства являются постоянными, заранее заданными в соответствии с особенностями технологического процесса. Управление перемещаемыми запасами обеспечивает повышение эффективности функционирования технических систем за счет сглаживания различного вида неравномерностей технологического процесса. Рассматриваемое явление характерно, например, для таких обрабатывающе-транспортных технических систем как робототехнические системы, гибкие автоматизированные внутривзаводские линии, сельскохозяйственные уборочные комплексы, лесозаготовительные и деревообрабатывающие комплексы типа «комбайн (харвестер) – транспортная машина (форвардер)». В перечисленных системах транспортные машины перемещают емкости с грузами, которые могут рассматриваться как **перемещаемый запас** [5]. Под перемещаемым понимается такой запас, который накапливается, перемещается (потребляется) в изменяемых координатах пространства-времени по маршруту технологического процесса. Подобные запасы также обеспечивают повышение эффективности функционирования обрабатывающе-транспортных систем. За счет формирования и перемещения запаса определенного объема транспортной машиной осуществляется сглаживание разности интенсивностей поступления и транспортировки предмета перемещения транспортной машины. Очевидно, что перемещаемые запасы могут заменить в некоторой части традиционные перемещаемые в различных сферах предметной деятельности.

Целью статьи является представление метода моделирования и оптимизации обрабатывающе-транспортных систем, реализующих процесс создания (накопления) и потребления перемещаемых запасов в координатах пространства-времени, с соответствующим теоретическим описанием, а также – результатов параметрической оптимизации.

2. Перемещаемые запасы: подход к моделированию и оптимизации

Подход, развивающий теорию запасов в представлении их как перемещаемых, предполагает моделирование операций многофазного стохастического технологического процесса накопления обрабатывающими и перемещения (потребления) транспортными машинами перемещаемого запаса предмета труда и позволяет определять эффективные параметры и режимы функционирования технических систем, оперирующих с перемещаемыми запасами предмета труда.

Теоретической основой подхода является совокупность методов математического моделирования, теории запасов, теории массового обслуживания, теории вероятностей, математической статистики и промышленного эксперимента, объединенных в рамках системного анализа

В теории запасов и обрабатывающе-транспортных систем отсутствует моделирование операций многофазного стохастического технологического процесса создания обрабатывающими и потребления транспортными машинами перемещаемого запаса предмета труда. В основном процессы и системы в рассматриваемой области моделируются как:

- процессы управления запасами на основе технико-экономической сущности наблюдаемых известных явлений для перемещаемых запасов [1,3,4,7];

- формализованные описания одних и тех же известных явлений для перемещаемых запасов различными математическими методами, в том числе получающими распространение на текущий момент, например – нечетких множеств [3,6,8];

- стохастические системы мониторинга и управления [9-11];

- технические системы с использованием современных методов механики и параметрической оптимизации с целью снижения материалоемкости и энергоемкости и повышения прочности, надежности и т.д., исходя из ограничений на мощность, допустимые пределы конструктивных характеристик материалов [2].

Исходя из изложенной краткой парадигмы в области моделирования и оптимизации запасов и обрабатывающе-транспортных систем, следует вывод, что излагаемый подход предполагает рассмотрение нового явления – перемещаемых запасов как создаваемых обрабатывающими и потребляемых транспортными машинами – на стыке различных теорий, описывающих запасы и технические системы.

3. Моделирование технологического процесса накопления и потребления перемещаемого запаса

3.1. Детерминированная модель

Оптимальные значения перемещаемых запасов и иных параметров обрабатывающе-транспортных систем зависят от детерминированных и стохастических факторов технологического процесса.

Детерминированные модели технологического процесса, реализуемого обрабатывающе-транспортными системами, позволяют получить приближенные значения оптимальных параметров обрабатывающих и транспортных машин. При моделировании перемещаемый запас в соответствии с теорией перемещаемых запасов [3] представляется графиком (рис.1).

До начала совместной работы обрабатывающей и транспортной машин (время t_1) создается межоперационный запас объемом Q_0 . Процесс протекает с интенсивностью M_1 , которая определяется производительностью обрабатывающей машины.

После включения в работу транспортной машины начинается формирование перемещаемого запаса (время t_2) с интенсивностью $M_{фнз}$, которая определяется производительностью погрузочно-разгрузочного устройства. Межоперационный запас Q_0 уменьшается до величины Q_m с интенсивностью (1) $M_2 = M_{aic} - M_1$. Уменьшение запаса вызвано тем, что интенсивность создания запаса обрабатывающей машиной M_1 меньше интенсивности формирования перемещаемого запаса $M_{фнз}$: (2) $M_1 < M_{aic}$.

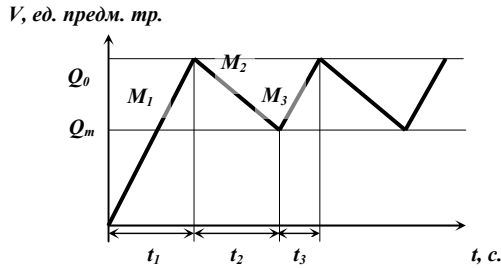


Рис.1. Графическая интерпретация накопления и потребления перемещаемого запаса.

В процессе потребления (перемещения) перемещаемого запаса с интенсивностью $M_{нпз}$ транспортной машиной межоперационный запас возрастает до объема Q_0 с интенсивностью M_1 (время t_3). Интенсивность $M_{нпз}$ определяется скоростью движения и расстоянием перемещения транспортной машины, а также производительностью погрузочно-разгрузочного устройства. Интенсивность накопления межоперационного запаса M_1 больше интенсивности потребления перемещаемого запаса $M_{нпз}$: (3) $M_1 > M_{нпз}$. Поэтому перемещаемый запас возрастает с интенсивностью M_3 , которая равна разности интенсивностей накопления и потребления запаса: (4) $\dot{I}_3 = \dot{I}_1 - M_{нпз}$.

Рассмотренный подход позволяет определять оптимальные параметры обрабатывающе-транспортной системы — интенсивность накопления межоперационного запаса M_1 и объем перемещаемого запаса Q . Задача оптимизации по критерию минимума времени простоя сводится к определению таких параметров, при которых минимизируется критерий: (5) $P = |2 \cdot M_1 - M_{aic} - M_{нпз}| \rightarrow \min$ и соблюдаются ограничения (2), (3), (6) $Q > 0$, (7) $M_1 > 0$.

Отсутствие простоев системы обеспечивается за счет того, что за время t_3 межоперационный запас возрастает до исходного объема Q_0 .

3.2. Стохастическая модель

Более точные параметрические оценки определяются на стохастических моделях. Теоретическое описание

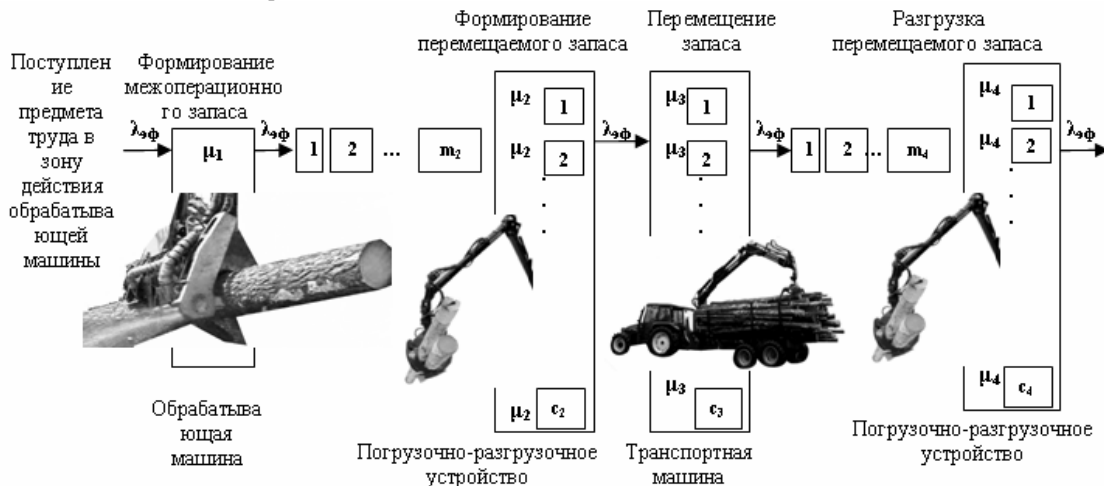


Рис. 2. Общий вид стохастической модели обрабатывающе-транспортной системы.

обрабатывающе-транспортных систем реализуется на основе моделей массового обслуживания с использованием уравнений состояния стохастических процессов в контексте создания, перемещения (потребления) запасов предмета труда. Общий вид стохастической модели многофазной системы массового обслуживания, описывающей преобразующую перемещаемый запас предмета труда обрабатывающе-транспортную систему, представлен на рис. 2.

Обслуживание требований (единиц предмета труда) обрабатывающей машиной в первой фазе (канале) системы соответствует формированию выходного потока заявок на обслуживание и межоперационного запаса. Обслуживание требований во второй фазе — формированию перемещаемого запаса погрузочно-разгрузочным устройством, в третьей — перемещению запаса транспортной машиной, в четвертой — преобразованию перемещаемого запаса в межоперационный (разгрузке) погрузочно-разгрузочным устройством. Число каналов c_2, c_4 и интенсивности обслуживания μ_2, μ_4 во второй и четвертой фазах определяются грузоподъемностью и скоростными режимами погрузочно-разгрузочного устройства. Число каналов c_3 и интенсивность обслуживания μ_3 в третьей фазе определяется объемом перемещаемого запаса и скоростными режимами транспортировки. Минимально возможное число каналов c_3 определяется из условия стационарности процесса функционирования транспортной машины: (8) $\lambda < \mu_3 \cdot c_3$. В том случае, если рассматриваемый технологический процесс является замкнутым, т.е. транспортная машина совершает холостой ход и возвращается на исходную рабочую позицию, время холостого хода учитывается как детерминированная составляющая времени цикла технологического процесса, реализуемого транспортной машиной.

Интенсивность λ потока требований, поступающих в зону действия обрабатывающей машины, определяется техническими характеристиками обрабатывающей машины и стохастическими природно-производственными условиями. Интенсивность обработки требований μ_1 определяется теми же факторами технологического процесса. Однако обрабатывающая машина функционирует в стационарном режиме: (9) $\lambda < \mu_1$. Обусловлено это тем, что фактическая интенсивность входящего потока λ снижается до величины $\lambda_{эф}$, т.к. очередь перед третьей и четвертой фазами системы ограничена. Перед третьей фазой не допускается наличие очереди: после завершения формирования перемещаемого запаса, сразу начинается его перемещение. Максимальная длина очереди перед четвертой фазой m_4 ограничивается вместимостью транспортной машины.

Максимальная длина очереди перед второй фазой m_2 определяется числом требований, размещающихся в зоне действия погрузочно-разгрузочного устройства транспортной машины, и может рассматриваться как ограниченная. Кроме того, длина (максимальная или средняя) очереди перед второй фазой является фактором управления при поиске оптимальных параметров системы. Это обеспечивает отсутствие избыточного межоперационного запаса на переходе от обрабатывающих операций к транспортировке.

Для получения аналитического решения выполняется декомпозиция рассматриваемой системы на основе пофазного (последовательного) моделирования. Определение операционных характеристик системы ведется в следующем порядке.

1. Определяются входные параметры системы – интенсивности поступления и обслуживания требований, число каналов в фазах. Предварительные значения числа каналов в третьей фазе c_3 и интенсивности обслуживания в первой фазе μ_1 определяются на основе детерминированной модели.

2. Рассматривается функционирование системы, включающей вторую и третью фазы, определяются основные операционные характеристики.

3. Рассмотренные фазы объединяются в одну – определяется интенсивность обслуживания как величина, обратная среднему времени пребывания требования в фазе, число каналов – как сумма числа каналов в исходных фазах.

4. К полученной фазе добавляется четвертая, определяются операционные характеристики системы. Рассмотренные фазы объединяются (аналогично п.3).

5. Рассматривается система, в которую в качестве первой фазы включается первая фаза исходной системы, а в качестве второй – фаза, полученная в результате объединения всех фаз, следующих за первой. При этом число каналов во второй фазе принимается равным среднему числу обслуживаемых требований в системе, рассмотренной в п. 4. При определении суммарной интенсивности обслуживания требований во второй фазе учитывается также время холостого хода (при наличии этой операции в технологическом процессе). Максимальная длина очереди между фазами (максимальный объем межоперационного запаса) предварительно принимается равной числу каналов в третьей фазе.

6. Определяются показатели эффективности функционирования системы (критерии) – вероятность простоев, средняя длина очереди между первой и второй фазами (средний объем запаса на переходе от обрабатывающих операций к транспортировке), среднее число требований в третьей фазе (средний объем перемещаемого запаса).

Оптимизация выполняется методом сканирования до достижения критерием (вероятность простоев) значения,

близкого к нулю, или прекращения изменения критерия в двух последних итерациях.

Расчет операционных характеристик каждой из рассматриваемых систем ведется на основе уравнений вероятностей состояний стохастических систем с использованием стандартных зависимостей теории массового обслуживания. Уравнения составляются по графу состояний системы в соответствии с мнемоническим правилом составления системы дифференциальных уравнений для вероятностей состояний.

Например, система, состоящая из объединенных второй и третьей фаз и четвертой фазы общей модели, представляет собой двухфазную систему с последовательными и параллельными каналами и ограниченной очередью между фазами. Граф состояний этой системы представлен на рис.3.

4. Результаты моделирования и оптимизации обрабатывающе-транспортных систем

Результаты оптимизации объема перемещаемого запаса Q , создаваемого и потребляемого лесозаготовительной обрабатывающе-транспортной системой типа «комбайн (харвестер) – транспортная машина (форвадер)», показали:

1) значениям критерия P , равным или близким к нулю, соответствуют определенные значения объема перемещаемого запаса Q и расстояния перемещения l (рис.4);

2) оптимальные перемещаемые запасы обеспечивают снижение времени простоев транспортных машин на 19...80% для расстояний транспортировки 1000...150 м, обрабатывающих машин – на 3% для расстояния 1500 м при условии работы форвадера марки *Valmet 860 C* на лесосеке со средним объемом хлыста $0,8 \text{ м}^3$ и запасом леса $150 \text{ м}^3/\text{га}$ в комплексе с харвестером марки *Valmet 862*.

Представленная модель многофазной обрабатывающе-транспортной системы массового обслуживания позволяет выполнить оптимизацию параметров (перемещаемых и межоперационных запасов, скоростных режимов) системы по критерию загрузки с учетом стохастического характера факторов технологического процесса накопления и потребления перемещаемого запаса. Однако данная задача имеет значительную размерность – определение вероятностей возможных состояний системы связано с решением системы уравнений с числом переменных 100 и больше. Поэтому для инженерных приложений требуется использование детерминированной модели с поправочными коэффициентами, учитывающими стохастический характер технологического процесса.

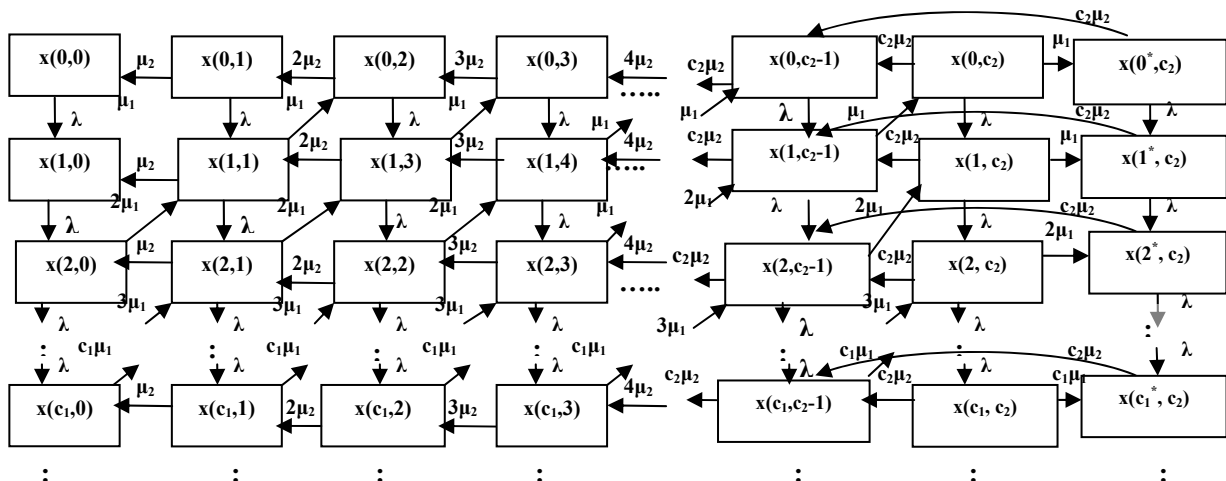


Рис. 3. Граф состояний двухфазной системы массового обслуживания с последовательными и параллельными каналами (перед второй фазой допускается конечная очередь).

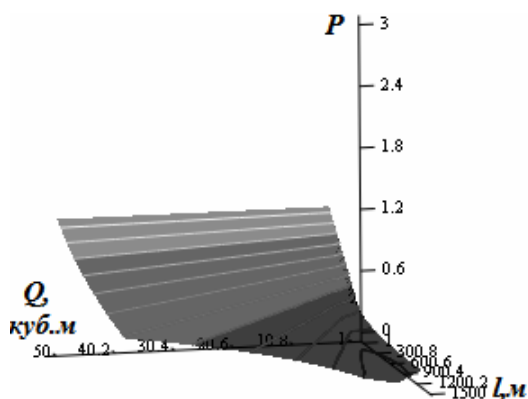


Рис.4. График зависимости критерия оптимальности P от объема перемещаемого запаса Q , m^3 и расстояния транспортировки l , м

Таким образом, оптимальные параметры и режимы функционирования оперирующих с перемещаемыми запасами обрабатывающе-транспортных систем в виде:

- 1) объемов межоперационных и перемещаемых запасов,
 - 2) производительностей и скоростных режимов обрабатывающих машин,
 - 3) скоростных режимов транспортных машин,
 - 4) грузоподъемностей и скоростных режимов погрузочно-разгрузочных устройств –
- определяются с использованием детерминированных и стохастических моделей и обеспечивают:

- 1) максимальную загрузку систем,
- 2) минимальную энергоемкость технологического процесса,
- 3) снижение материальных затрат на выполнение технологического процесса,
- 4) отсутствие избыточных запасов предмета труда на смежных операциях технологического процесса.

Разработанные модели технологического процесса функционирования обрабатывающе-транспортных систем в контексте создания, перемещения (потребления) запасов предмета труда представляются в формах для ввода исходных данных и решения в математических программных средах оптимизационных задач двух типов:

- 1) предпроектного обоснования параметров обрабатывающе-транспортных систем, итогом решения которых являются параметрические ряды, грузоподъемность, производительность обрабатывающих и транспортных машин и погрузочно-разгрузочных устройств, а также – объемы межоперационных запасов;
- 2) постпроектного обоснования параметров обрабатывающе-транспортных систем, позволяющие определять оптимальные комплекты типовых обрабатывающих и транспортных машин, соответствующие различным природно-производственным условиям.

5. Заключение

Представленный в статье метод моделирования и оптимизации обрабатывающе-транспортных систем основан на гипотезе о функционировании обрабатывающе-транспортных систем как процессов создания (накопления), транспортировки (потребления) перемещаемых запасов. Таким образом, в рамках данного метода рассматривается новое явление – перемещаемые запасы. Перемещаемые запасы в отличие от традиционных – неперемещаемых – изменяются в координатах

не только времени, но и пространства, а именно – пути транспортировки.

Теоретическое описание обрабатывающе-транспортных систем, выполненное на основе детерминированных моделей и моделей массового обслуживания с использованием уравнений состояния стохастических процессов в контексте создания, перемещения (потребления) запасов предмета труда, позволяет ставить и решать в математических программных средах оптимизационные задачи предпроектного и постпроектного обоснования параметров и режимов функционирования обрабатывающе-транспортных систем.

Минимизация простоев обеспечивает возможность избавиться от лишних фондов оборудования, простаивающего вне пиков производства; включение в оборот дополнительных материальных ценностей; снижение энергоемкости и затрат на энергоснабжение технологического процесса. Поэтому оптимизация параметров обрабатывающе-транспортных систем с перемещаемыми запасами может выполняться с использованием как технологических (время простоев, загрузка), так и экономических (удельные материальные затраты на реализацию технологического процесса) и технико-экономических (удельная энергоемкость технологического процесса) критериев. При этом результаты оптимизации по критерию времени простоев являются основой для разработки моделей, реализующих оптимизацию с использованием экономических и технико-экономических критериев.

Разработанные аналитические модели процессов функционирования обрабатывающе-транспортных систем позволили получить эффект 40% по критерию времени простоев.

6. Литература

1. Долгов, А.П. Теория запасов и логистический менеджмент: методология системной интеграции и принятия эффективных решений, Санкт-Петербург, изд-во СПбГУЭФ, 2004, 272 с. (Долгов А.П.)
2. Норенков И.П. Системы автоматизированного проектирования. Москва, Высшая школа, 1986. (Норенков И.П. и др.)
3. Рыжиков, Ю.И. Теория очередей и управление запасами. издательский дом «Питер», 2001, 384 с. (Рыжиков Ю.И.)
4. Шрайбфедер, Джон. Эффективное управление запасами. Москва, «Альпина Бизнес Букс», 2006, 304 с. (Шрайбфедер Джон)
5. Якимович, С.Б. Рейсовая нагрузка лесозаготовительных машин. – Лесной вестник, 6, 2006, с.92-97. (Якимович С.Б., М.А. Терерина)
6. Buckley, James J. Fuzzy Probabilities. 2005, 164 p. (Buckley James J.)
7. Chern, Maw-Sheng. A comparison among various inventory shortage models for deteriorating items on the basis of maximizing profit. – Asia-Pacific Journal of Operational Research, 22, 2005, p.121-134. (Chern Maw-Sheng, Ya-Lan Chan, Jinn-Tsair Teng)
8. Nielsen, Christina. An analytical study of the Q(s,S) policy applied to the joint replenishment problem. – European Journal of Operational Research, 163, 2005, p.721-732. (Nielsen Christina, Christian Larsen)
9. Rodriguesa, Luis. Piecewise-linear H controller synthesis with applications to inventory control of switched production systems. – Automatica, 42, 2006, p.1245-1254. (Rodriguesa Luis, El-Kebir Boukasb)
10. Sallesa, J.L.F. An impulse control problem of a production model with interruptions to follow stochastic demand. – European Journal of Operational Research, 132, 2001, p.123-145. (Sallesa J.L.F., J.B.R. do Val)
11. Vinson, David R. A new measure of process output controllability. – Journal of Process Control, 10, 2000, p.185-194. (Vinson David R., Christos Georgakis)