МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ ВЕРТИКАЛЬНО ИНТЕГРИРОВАННЫХ СИСТЕМ

Павел Северилов

Винницкий национальный технический университет
Хмельницкое шоссе, 95, Винница, 21021, Украина, тел.: (0432) 26-49-09,
E-Mail: valeriy@svitonline.com

Аннотация

Для современных производственных систем характерна нестабильность структур – слияния, разделения, смена собственников. В частности, для теории и практики необходимы адекватные реалиям модели вертикально интегрированных систем. Примеры вертикальной интеграции – металлургия (от добычи руды до выпуска конечной продукции), интеграция производства, поставок и розничной торговли. Вертикальная интеграция не всегда выгодна и зависит от оптимальности распределения инвестиций на развитие отдельных элементов вертикально интегрированной системы. Разработаны модели обобщённых функций "эффект – затраты" для показателей "производственная мощность", " запаздывание", "надёжность". Модифицирован метод оптимального агрегирования, позволяющий получить обобщённые функции для эквивалентной оптимальной одноэлементной системы. В итоге получен "инструмент для оценки эффективности интеграции для конкретных задач.

Постановка проблемы

Одним из необходимых условий эффективного развития производства есть интеграция отдельных технологических звеньев современных технических систем. Причины:

- существенные колебания и неопределенность потребностей в продуктах во времени и пространстве;
- быстрое изменение моделей изделий и технологий производства;
- жесткая глобальная конкуренция, осложняющая работу производственных и логистических систем.

Эти причины обусловливают параметрическую и структурную динамичность современных производственных систем. Структурная динамичность означает, что установление и разрыв связей между производственными элементами происходит настолько часто, что его нельзя игнорировать в стратегическом планировании. Неизвестно, является ли такая динамичность благом или результатом распада структур индустриальной экономики без возникновения новых рационально управляемых структур.

Пока можно наблюдать только один стихийный и "естественный" способ обеспечения стабильности и эффективности производственных систем - образование стальных, алюминиевых, банковских, программных империй. Естественно в таких условиях не выносить окончательных суждений относительно желательности или нежелательности, управляемости или неуправляемости современных производственных систем на основе безупречной логики аналитиков, фундаментальных моделей типа недавно отменённой "кривой Филипса", а разработать имитационные модели, отображающие естественные механизмы социо- технико-экономических систем и просто исследовать виртуальную реальность. Эмпирические данные позволяют предположить, что в определённых условиях для производственных элементов выгодна вертикальная интеграция, в иных условиях предпочтительнее специализация на одной технологической стадии с максимальным расширением объёмов производства на этой стадии.

Долгосрочное планирование требует разработки методов прогнозирования и выбора эффективных управлений. В современных условиях это возможно только на базе создания системы рабочих моделей и моделирования. **Центральная проблема** разработки моделей современных производственных систем – создание методов нечувствительных к "реалиям" - существенным нестационарностям, нелинейностям, неопределенностям и высокой размерности объектов моделирования. Математические пакеты, не "ускоряют вычисления", а изменяют парадигму моделирования – концепцию модели и технологию ее разработки.

Постановка задачи

На содержательном уровне ставится задача создания "конструктора", состоящего из библиотеки модулей – моделей производственных элементов и средств, позволяющих собирать из модулей модели конкретных вертикально интегрированных систем. В теоретическом плане ставится задача оптимизации распределения ресурсов между элементами вертикально интегрированной системы. Это задача нелинейного программирования, обычно целочисленная, с неаддитивной целевой функцией. Эффективные вычислительные методы нелинейного программирования не работают в случае негладких и невыпуклых целевых функций и функций ограничений.

Метод оптимального агрегирования [4,5] позволяет заменить систему **параллельно** работающих производственных элементов одним эквивалентным оптимальным элементом. Для задачи с аддитивным критерием выполняется принцип оптимальности Беллмана, и это позволяет заменить задачу нахождения экстремума функции многих переменных последовательностью задач одномерной оптимизации. База метода – поиск экстремума функции одной переменной **"неинтеллектуальным"** методом прямого перебора. Это обеспечивает нечувствительность метода к виду целевых функций.

С определёнными ограничениями этот метод может быть применён для задачи с мультипликативным критерием. Интерпретацией такого критерия может быть вероятность выполнения задачи, качество выполнения, пропускная способность. Логарифмирование мультипликативного критерия позволяет получить оптимизационную задачу с аддитивным критерием.

На рис. 1 представлена схема агрегирования системы с вертикальной интеграцией. Эта схема отражает результаты конкретного расчёта. На этой схеме *f1, f2, f3, f4* – обобщённые производственные функции (ПФ) элементов производственной системы, *f2o* – оператор оптимального агрегирования, который берёт пару ПФ и возвращает набор: оптимальную ПФ системы и вектор-функцию оптимального распределения ресурса (затрат) по элементам вертикально интегрированной системы (см. рис. 1). п оптимума Р.Белмана). В целом метод почти нечувствительный к размерности задачи и вида функций. Система с последовательно работающими элементами сложнее системы с параллельно работающими элементами.

Для поставленной задачи – комплексной оценки всех последствий интеграции или дезинтеграции системы необходима детализация модели, представленной на рис. 1. На рис. 2 представлена детализованная схема элемента вертикально интегрированной системы.

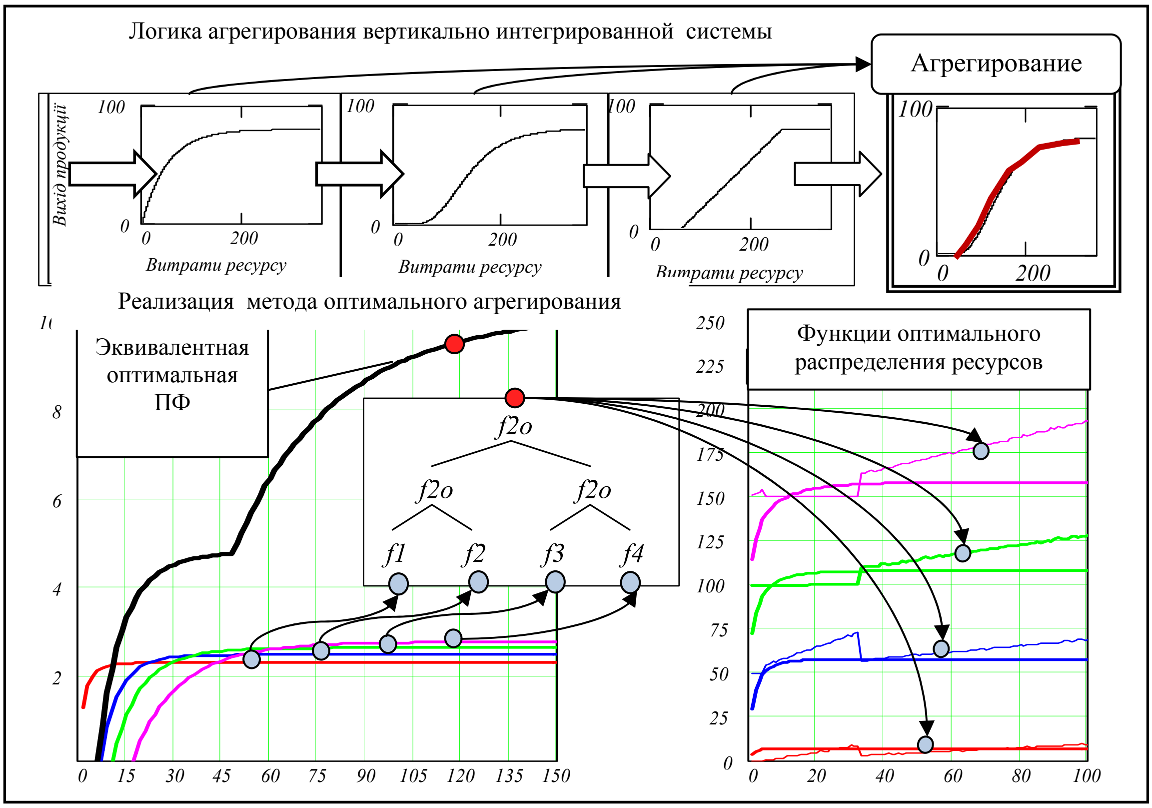

Рис.1. Оптимальное агрегирование вертикально интегрированной системы

Схема на рис. 2 позволяет увидеть ключевые характеристики элемента:

- модели зависимости транзакционных затрат от степени интеграции;

- модели зависимости маркетинговых затрат от степени и нтеграции и масштаба интегрированной системы;

- модели затрат на создание запасов сырья и комплектующих и на создание запасов готовой продукции.

Предполагаем, что степень интеграции не влияет на технологии производства.

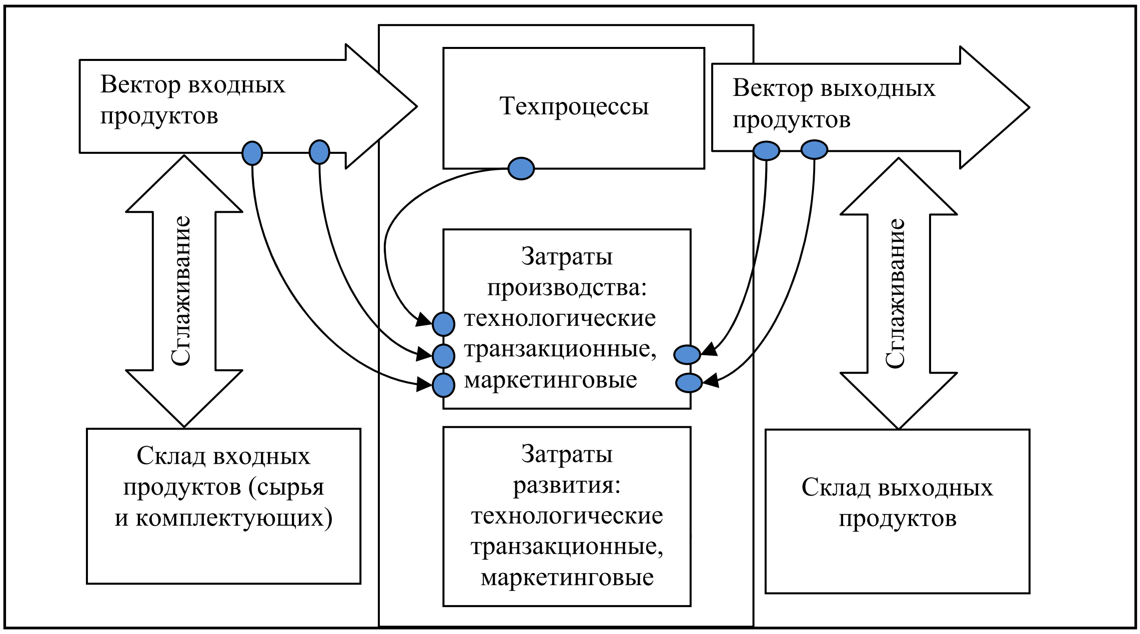

Рис.2. Схема элемента вертикально интегрированной системы

Решение задачи оптимизации системы "производство - поставки"

Независимо от глубины связей между элементами технологической цепочки элемент должен иметь связи с транспортными и логистическими системами. Возникает сложная задача оптимизации системы "производство – поставки". Эта задача была поставлена и исследована Беллманом [1]. Для наших целей желательно найти простой приближённый метод оптимизации.

Если учитывать стоимость хранения запасов, то получим вариационную задачу минимизации интеграла вида:

$$J(x) = \int_0^T \left[F(x(t) - r(t)) + G\left(\frac{d}{dt}x(t)\right) + H\left[\int_0^t (x(s) - r(s))\, ds\right]\right] dt .$$

Функция H(.) дает зависимость расходов на хранение в единицу времени текущего объема запасов. Интеграл $\int_0^t (x(s) - r(s))\, ds$ определяет количество не реализованного продукта на момент времени t.

Введенные функции имеют такую интерпретацию: *F(.)* - штраф за расходы лишнего, относительно нужного выпуска, труда и ресурсов, то есть штраф за омертвление капитала, *G(.)* - это фактически инвестиционные расходы на расширение производства, *H(.)* это расходы на хранение запасов на складе.

Методика вычисления оптимального управления

Числовое решение задач такого класса найти относительно несложно, - если "угадать" вид функции Беллмана. Рассмотрим общую методику решения таких задач методом динамического в программирования Беллмана. Дискретизируем задачу, будем рассматривать N- шаговый процесс, на каждом шаге которого нужно найти оптимальное управление x_k. В целом нужно найти минимум критерия - функции N переменных, которые удовлетворяют ограничению $x(t) \geq r(t)$:

$$J(x) = \sum_{k=1}^{N} \left(F\left(x_k - r_k\right) + G\left(x_k - x_{k-1}\right)\right),$$

где начальное состояние задается $x_0 = c$.

Рассмотрим общую задачу минимизации величины

$$J_{K.}(x) = \sum_{k=K}^{N} \left(F\left(x_k - r_k\right) + G\left(x_k - x_{k-1}\right)\right), \qquad x_{K-1} = C$$

по всем последовательностям (x_k) таким, что $x_k \geq r_k$.

Введем функцию Беллмана, тогда основное рекуррентное уравнение принимает вид

$$f(C)_K = min\left(F\left(x_k - r_k\right) + G\left(x_k - x_{k-1}\right) + f(C)_{K+1}\right),\ K = 1,2..N-1,$$

причем

$$f(C)_N = min\left(F\left(x_N - r_N\right) + G\left(x_N - x_{N-1}\right) + f(C)_{K+1}\right),\ x_N \geq r_N.$$

Несложно организовать вычисление оптимального управления x_k, которое дает минимум критерию. Исследуем сначала поведение системы с регулированием на основе "здравого смысла": не допускать уровня запасов меньше гарантированного минимума, ввести параметр "сглаживание" и изменять его так, чтобы минимизировать расходы в условиях спроса со случайной компонентой, линейным и сезонным трендами [5-7].

Для решения сложной задачи оптимизации, следует разбить процесс на последовательность достаточно простых шагов. Сначала нужно собрать реальную статистику (это не только долгий и расходный, но и непродуктивный путь, из-за конфиденциальности практически всей информации), наработать виртуальную статистику и виртуальный опыт на моделях систем такого класса.

Для моделирования и оптимизации задачи сглаживания разработана программа моделирования интегрирован-ной системы "производство - поставки".

Определим содержательно цены и штрафы.

Цена хранения на складе - это расходы на хранение единицы измерения продукции в течение единицы времени. Сюда входят потери от "усушки", "права выпаса" и морального старения.

Цена фондов - это расходы на создание фондов для производства единицы измерения продукции за единицу времени. Не учитываем пока амортизацию и расходы на конверсию лишних фондов.

Цена регулирования производства – это расходы на переналадке и реорганизации производства без изменения фондов. Конкретно это изменение длительности рабочего дня или недели, переброска персонала с других участков.

Программа моделирования позволяет вести исследование влияния компонентов затрат и параметров сглаживания на показатели системы – суммарные затраты на удовлетворение спроса. На рис. 4 приведен пример процесса для случая случайного спроса с периодическим и линейным трендами.

Входы: цена хранения запасов на складе $czap \equiv 0.10;$

цена создания фондов $cinv \equiv 1;$

цена регулирования производства $ckol \equiv 24;$

Параметры сглаживания (определяются в модуле оптимизации) $Ine \equiv 24$. $Sgl \equiv 0.05$

Выходы: Затраты на создание запасов $VsZap = 1115$

Затраты на создание фондов $VsInv = 1191.3$

Затраты на регулирование выпуска $VsKol = 916$

Суммарные затраты (критерий) $\boxed{kriteria = 3222}$

Рис.3. Интерфейс программы моделирования интегрированной системы "производство – поставки"

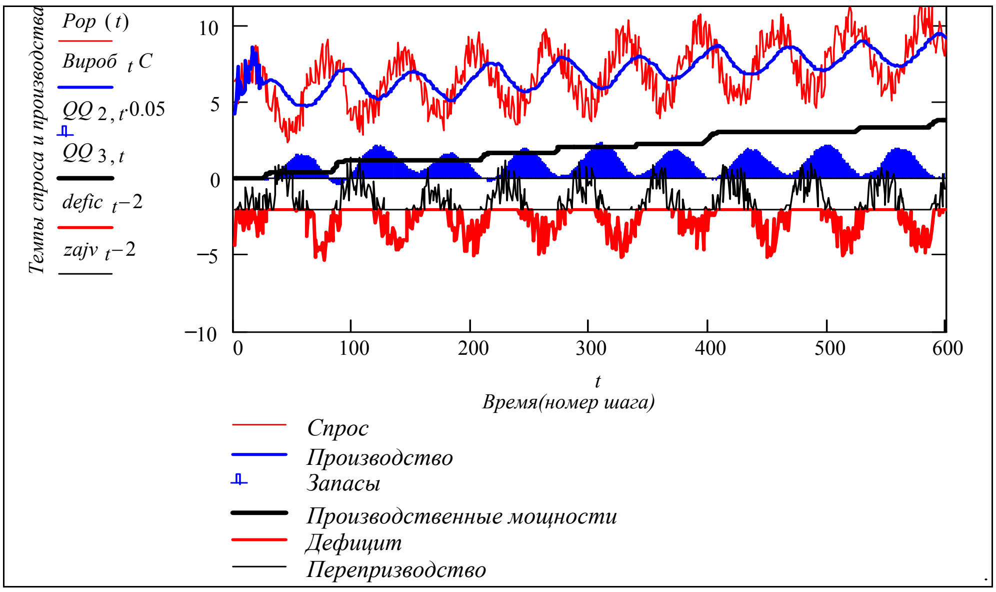

Рис.4. Результаты моделирования интегрированной системы "производство-поставки"

Решение задачи оптимизации распределения ресурса на производственные мощности

Была разработана система программ оптимизации распределения затрат на производственные мощности в элементах вертикально интегрированной системы - для дискретного (целочисленного) и непрерывного (в том числе на базе нечёткой логики) случаев распределения. Приводим базовую рабочую модель оптимизации.

Вводим новые переменные и производственные функции:

$$F4l(x, Av, wv, sv) := ln(F4l(x, Av, wv, sv))$$

и запишем выражение для критерия эквивалентной задачи – аддитивного.

$$Jml(R, \alpha) = \sum^{N} F4l(R \cdot \alpha_i, A_i, w_i, s_i)$$

Формулируем оптимизационную задачу: для каждого заданного R - ограничения по ресурсу для системы, найти такое распределение этого ресурса $(\alpha 1, \alpha 2, \alpha 3)$, $\alpha 1 + \alpha 2 + \alpha 3 = 1$, которое максимизирует значение критерия

Записываем прямую и сопряжённую оптимизационные задачи.

Прямая задача: найти распределение ресурса

$$(x1, x2, .. \, x_i \, .. , x_N),$$

который максимизирует критерий

$$F(x) = \prod^{N} fi(x_i, Vp_i)$$

при ограничении по ресурсу.

Сопряжённая задача: найти распределение ресурса $(x1, x2, .. \, x_i \, .. , x_N)$, который минимизирует критерий

$$G(x) = \sum^{N} x_i \quad \text{при ограничении} \quad F(x) = \prod^{N} fi(x_i, Vp_i) - Xtreb = 0 .$$

Интерпретация сопряжённой задачи - минимизация суммарных расходов на заданный выпуск продукции вертикально интегрированной системой.

Были проведены сравнительные исследования моделей и методов оптимизации систем с мультипликативным критерием. Цель исследований – выбор вычислительно эффективных моделей и программ. На рис. 5 приведен пример получения оптимальной ПФ для трёхуровневой системы с дискретными модулями оборудования [4].

Представлено три варианта **оптимальной ПФ** - с разными значениями стоимости модулей. Можно видеть, что эти ПФ близки между собой и сходятся к некоторой гладкой кривой. Можно показать, что для случая выпуклых ПФ элементов, оптимальная ПФ будет принадлежать к этому же классу функций.

На этом же графике приведена **вектор- функция оптимального распределения дискретного ресурса**. Следует обратить внимание на немонотонный характер компонентов этой вектор-функции: при определённом уровне ресурса количество модулей на одной стадии уменьшается, а на другой – увеличивается. Это математически корректный результат, но нерациональный с практической точки : при дальнейшем повышении уровня ресурса число модулей восстанавливается. Это недостаток модели оптимизации, которая не учитывает все компоненты затрат.

На рис. 6 представлены два варианта вектор – функции оптимального распределения ресурсов. По осям откладываются количества ресурса по соответствующим стадиям процесса. Один вариант рассчитан программой дискретной оптимизации, другой - программой, где ограничения целочисленности сделаны нечёткими. Видим насколько полезно для понимания системы совместное использование альтернативных моделей. Результат, полученный для нечёткой модели - прямая в фазовом пространстве, можно вывести аналитически: для выпуклых ПФ одного класса компоненты вектор-функции оптимального распределения ресурса - линейные функции от ограничения по ресурсу

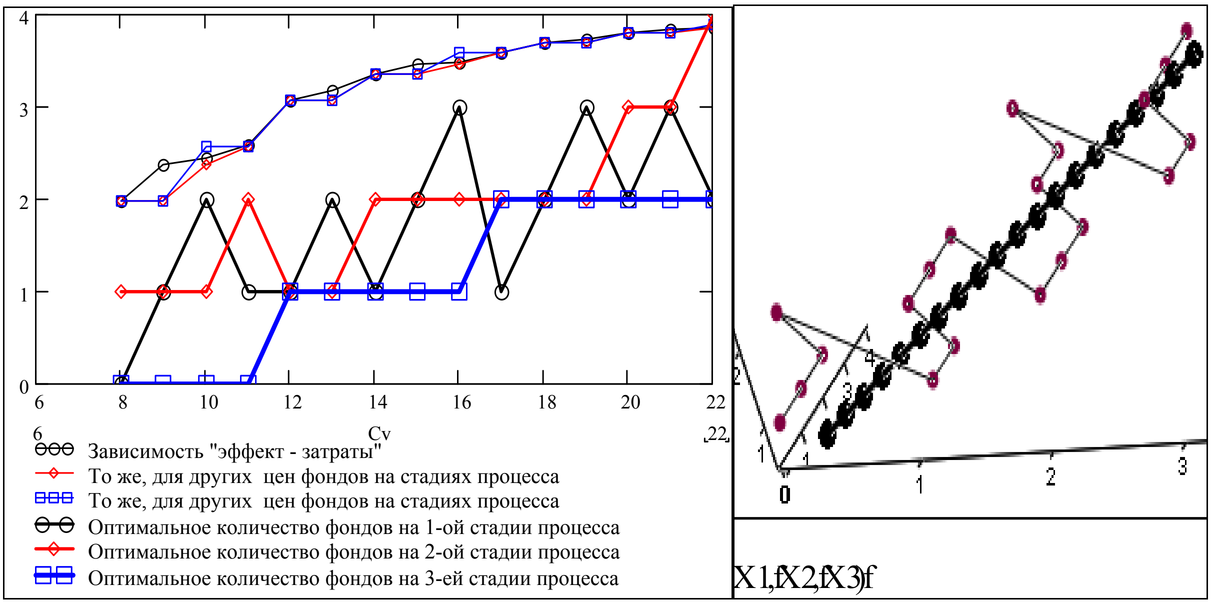

Рис. 5. Оптимальная производственная функция для системы с дисретными модулями

Заключение

Рассмотрены задачи оптимизации вертикально интегрированных производственных систем. Предложена базовая схема элемента для вертикально интегрированных систем, учитывающая зависимости транзакционных затрат от степени интеграции. Разработанные математические модели и программы позволяют создать систему для имитационного моделирования вертикально интегрированных систем на базе сборки модели системы из универсальных настраиваемых модулей. Структурно динамические и неустойчивые системы характерны для Интернета. Предложенные модели могут быть полезными в анализе и прогнозировании таких структур.

Литература:

[1] Беллман Р., Гликсберг И., Гросс О. Некоторые вопросы математической теории управления. — М.: Издат. иностр. литер., 1962. — 233 с.

[2] Мак-Дональд М. Стратегическое планирование маркетинга. — Москва-Харьков: «Питер», 2001. — 267 с.

[3] Боровская Т.Н., Северилов В.А., Колесник И.С. Детская экономика. Моделирование и оптимизация производственных систем // Компьютеры +Программы. — 2002. — №2. — С. 43 — 47.

[4] Боровська Т. М., Колесник І.С., Северілов В.А. Основи кібернетики та дослідження операцій. Навчальний посібник. - Вінниця: ВДТУ, 2002.- 242 с.

[5] С.П. Бадьора, П.В.Северілов , О.І. Гайдучок. Розподілена система управління запасами і виробництвом в умовах невизначеності. //Доп. МНК "Інтернет – освіта – наука – 2004. Т. 2", - Вінниця: Універсум-Вінниця, 2004 с. 525-531

[6] Т.М. Боровська, П.В. Северілов , А.С.Васюра. Оптимальна система управління запасами при невизначеності попиту. //Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія – 2006. – № 1(5) – С. 113-118

[7] Т.М. Боровська, П.В.Северілов Моделі для аналізу і оптимізації вертикально інтегрованих систем. // Матеріали V Міжнар. НПК "Економічна безпека сучасного підприємства".– Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008. – С. 104-115