

На правах рукописи

ПОЛЯКОВСКИЙ Сергей Юрьевич

**АГЕНТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЙ ПОДХОД
К МИНИМИЗАЦИИ ПОТЕРЬ
ПРИ УПРАВЛЕНИИ РАСКРОЕМ ЛИСТОВОГО МАТЕРИАЛА**

**(В ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩЕЙ И МЕБЕЛЬНОЙ
ПРОМЫШЛЕННОСТИ)**

**05.13.01 – Системный анализ, управление
и обработка информации (в промышленности)**

**АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Уфа - 2010

Работа выполнена на кафедре вычислительной математики и кибернетики
ГОУ ВПО «Уфимский государственный авиационный технический университет»

Научный руководитель	д-р техн. наук, проф. Валеева Аида Фаритовна
Официальные оппоненты	д-р техн. наук, проф. Михеева Татьяна Ивановна проф. каф. организации и управления перевозками на транспорте Самарского гос. аэрокосм. ун-та канд. техн. наук. Сиразетдинов Тимур Маратович заведующий лабораторией ООО "Уфимский Научно-Технический Центр"
Ведущая организация	Институт проблем управления сложными системами РАН, г. Самара

Защита диссертации состоится « 2 » июля 2010 г. в 12:30 часов
на заседании диссертационного совета Д-212.288.03
при Уфимском государственном авиационном техническом университете
по адресу: 450000, Уфа-центр, ул. К.Маркса, 12

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке университета

Автореферат разослан « 31 » мая 2010 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
д-р техн. наук, проф.



В. В. Миронов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Актуальность темы исследования. В последние годы деревообрабатывающая и мебельная промышленность претерпели фундаментальное изменение. Если ранее бизнес нуждался в росте мощностей для производства большего количества серийных изделий, то в настоящее время на российском и зарубежном рынке преобладает тенденция персонализации продукции и производства «под заказ». Всеобщая глобализация, увеличение спроса и рост промышленного производства привели к усилению конкуренции среди производителей. Определяющими факторами успеха в производстве «под заказ» являются: сокращение времени изготовления продукции, качество продукции, конкуренция в цене, рациональное использование материала и производственных ресурсов, увеличение продуктивности и уменьшение материально-производственных запасов.

Для стабильного положения на рынке производители вынуждены учитывать новые тенденции, применяя новые технологии и специальное программное обеспечение. Это дает возможность значительно повысить эффективность и гибкость производства, гарантируя производителям высокую прибыль и привлечение новых клиентов.

Сегодня потребность производителей в технологиях управления и оптимизации производства активно удовлетворяется компаниями-разработчиками, но часто предлагаемые методы решения задач являются либо узко специализированными, либо слишком общими. В первом случае – узкая специализация мешает их использованию для решения класса задач раскроя при различных производственных ограничениях. Во втором случае – общие методы применяются для нескольких задач, но при этом предлагаемое решение может иметь низкое качество. Поэтому возрастает необходимость в разработке новых методов, поддерживающих внедрение эффективных проблемно-ориентированных алгоритмов и гибкую адаптацию для задач раскроя с учетом различных условий производства.

В диссертационной работе проводятся исследования в этом направлении, и решается задача рационального раскроя листового материала с целью достижения минимума опережения и запаздывания при производстве заготовок на стадии предварительного распила в деревообрабатывающей и мебельной промышленности. Как известно, задачи раскроя относятся к классу NP-трудных задач комбинаторной оптимизации. Это означает, что детерминированный метод полиномиальной сложности для их решения не известен, и оптимальный результат в общем случае может быть получен только за экспоненциальное время. Поскольку на практике задачи раскроя нередко имеют большую размерность, а результат должен быть получен за приемлемое время, то актуальной является проблема разработки эффективных приближенных методов решения.

Целью диссертационной работы является разработка и применение методов системного анализа для повышения эффективности управления раскроем листового материала в условиях неопределенности при производстве заготовок на предприятиях мебельной и деревообрабатывающей промышленности.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие **задачи:**

1. Провести системный анализ проблемной области и сформулировать постановку задачи раскроя листового материала с учетом опережения-запаздывания производства заготовок. Провести анализ существующих методов и алгоритмов ее решения, их недостатков и необходимости разработки и применения новых методов и алгоритмов.

2. Разработать математическую модель для задачи раскроя листового материала с учетом опережения-запаздывания производства заготовок. Выбрать формальные критерии и оценки эффективности ее решения.

3. Разработать методы и алгоритмы решения задачи раскроя листового материала с учетом опережения-запаздывания производства заготовок.

4. Разработать программное обеспечение на основе предложенных методов и алгоритмов для решения задачи раскроя листового материала с учетом опережения-запаздывания производства заготовок.

5. Исследовать эффективность предложенных методов и алгоритмов с помощью численного эксперимента. Выработать рекомендации по их применению в реальном производстве.

Методы исследований. В работе использовались методы общей теории систем и системного анализа, методы теории управления и методология системного моделирования, принципы функционально-декомпозиционного представления и аппарат агентно-ориентированного моделирования, теория сложности решения задач. Для анализа эффективности методов применялись численные эксперименты и методы их обработки.

На защиту выносятся:

1. Математическая модель задачи раскроя листового материала с учетом опережения-запаздывания производства заготовок.

2. Методика повышения эффективности управления раскроем листового материала в условиях неопределенности.

3. Агентно-ориентированная концепция решения задачи раскроя листового материала с учетом опережения-запаздывания производства заготовок, основанная на агентно-ориентированном подходе.

4. Математическое обеспечение для решения динамической задачи раскроя листового материала с учетом опережения-запаздывания производства заготовок на основе предложенной концепции.

5. Программное обеспечение на основе предложенных методов и алгоритмов для решения задачи раскроя листового материала с учетом опережения-запаздывания производства заготовок.

6. Результаты анализа численных экспериментов и рекомендации по применению предложенных методов и алгоритмов в реальном производстве.

Научная новизна результатов диссертационного исследования:

1. Математическая модель задачи раскроя листового материала с учетом опережения-запаздывания производства заготовок, в которой в отличие от известных работ учитываются дополнительный критерий опережения-запаздывания и возможность использования параллельных режущих машин.

2. Концепция решения задачи раскроя листового материала с учетом опережения-запаздывания производства заготовок, новизна которой обусловлена применением агентно-ориентированного подхода с целью повышения эффективности управления раскроем листового материала в условиях неопределенности.

3. Методы и алгоритмы для решения задачи раскроя листового материала с учетом опережения-запаздывания производства заготовок на основе предложенной концепции. Их новизна определяется новизной задачи раскроя, для получения допустимого решения которой требуется решить серию специальных подзадач:

- 3.1. Задача выделения критических областей оперативно-календарного плана;
- 3.2. Задача определения множества прямоугольных листов, необходимого для размещения заготовок критической области;
- 3.3. Задача построения карт раскроя, минимизирующих локальное взвешенное опережение-запаздывание;
- 3.4. Задача распределения карт раскроя по параллельным режущим машинам для их обработки.

Практическую ценность имеют следующие полученные результаты:

1. Методика повышения эффективности управления раскроем листового материала в условиях неопределенности, позволяющая снизить потери материала и время простоя в производстве, сократить издержки, связанные с внутренней транспортировкой и хранением, а также понизить последствия сбоев на производстве в случае непредвиденных ситуаций и повысить гибкость производства заготовок.

2. Рабочий прототип программного обеспечения на основе предложенной агентно-ориентированной модели для повышения эффективности управления предварительным раскроем листового материала на заготовки в мебельной промышленности.

Внедрение результатов работы в виде методики повышения эффективности управления раскроем листового материала при производстве заготовок и рабочего прототипа программного обеспечения для оптимизации стадии предварительного распила осуществлено в ООО «ДИП» («Двери и пиломатериалы»), г. Ростов-на-Дону.

Апробация работы. Основные материалы диссертационной работы докладывались и обсуждались на следующих научно-технических конференциях: 7-й международный симпозиум по информатике и информационным технологиям CSIT' 2005 (Россия, Уфа – 2005); 3-я международная конференция по раскрою и упаковке 3rd ESICUP Meeting 2006 (Португалия, Порто – 2006); 20-я международная конференция по промышленным, инженерным и другим приложениям в области прикладных интеллектуальных систем (Япония, Киото – 2007); 22-я европейская конференция по исследованию операций EURO XXII (Чехия, Прага – 2007); Международная конференция Германского общества по исследованию операций Operations Research 2007 (Германия, Саарбрюккен – 2007); 9-й международный симпозиум по информатике и информационным

технологиям CSIT' 2007 (Россия, Уфа – 2007); 5-я международная конференция по раскрою и упаковке 5th ESICUP Meeting 2008 (Италия, Л'Аквилла – 2008); 23-я европейская конференция по исследованию операций EURO XXIII (Германия, Бонн – 2009).

Публикации. Основные результаты по теме диссертации опубликованы в 13 статьях, в том числе 3 – в рецензируемых журналах из списка ВАК, 1 – свидетельство о регистрации программы для ЭВМ.

Автор благодарит доктора техн. наук, профессора кафедры математики УГАТУ Мухачеву Элиту Александровну за консультации по вопросам в области задач раскроя и упаковки.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 4 глав, выводов и списка литературы. Работа изложена на 152 страницах машинописного текста, кроме того, содержит 42 рисунка и 2 таблицы. Библиографический список включает 151 наименование и занимает 14 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении кратко обоснована актуальность выбора темы, сформулированы цели и задачи исследования, методологический аппарат диссертации, определены научная значимость и практическая ценность полученных результатов.

Первая глава «Анализ современных методов минимизации потерь при управлении раскромом листового материала» посвящена комплексному исследованию проблемы сокращения потерь при производстве заготовок на стадии предварительного раскроя материала в деревообрабатывающей и мебельной промышленности и существующих методов ее решения, а также вопросам организации, планирования и управления производством «под заказ».

В ходе исследования проблемной области установлено, что в настоящее время для указанных отраслей промышленности актуальна тенденция персонализации продукции и производства «под заказ», которая имеет следующие особенности: разнородные заказы при низких объемах, короткие сроки изготовления продукции, неопределенный состав и время поступления заказов, неопределенность необходимого объема материальных запасов, ограничение на перепроизводство разнородной и неукomплектованной продукции. Эти особенности определяют необходимость поиска баланса между разнообразными и часто конфликтующими целями.

Существующий анализ программных средств оптимизации стадии раскроя показывает их заниженную востребованность на практике по ряду причин: приближенное описание условий реального производства; сложность стадии раскроя конкретного производства; субъективность оценки эффективности плана раскроя; неустойчивость плана к изменению входной информации; слишком узкая, либо слишком широкая специализация используемых методов. Проблемы, которые возникают в настоящее время при использовании программных средств, подтверждают необходимость разработки новых методов оптимизации. Такие методы призваны гарантировать быстрое получение приемлемого решения, обеспечивать внедрение эффективных проблемно-ориентированных алгоритмов и предоставлять возможность гибкой адаптации

для решения задач повышения эффективности управления раскроем с учетом различных условий производства.

Сформулирована постановка задачи раскроя листового материала с учетом опережения-запаздывания производства заготовок на стадии предварительного раскроя, которая определяет ее место в общем процессе производства мебели. На стадии раскроя производится предварительный распил листового материала на прямоугольные заготовки (согласно составленным картам раскроя), которые затем в установленный плановый срок поступают на стадию дополнительной обработки (цех фигурного распила и обработки с помощью станков с ЧПУ) или напрямую – на стадию сборки и конечной обработки изделия. Заготовки, произведенные раньше или позже срока, требуют дополнительных затрат времени и ресурсов или вызывают задержку на следующих стадиях производства. Поэтому подходящим решением рассматриваемой проблемы является поиск и поддержка оптимального плана раскроя заготовок, который бы минимизировал потери материала при его исполнении точно в срок (в такт последующим стадиям производства).

Описание проблемы и представленный обзор связанных с ней теоретических задач позволяют сделать вывод о ее взаимосвязи с двумя NP-трудными задачами комбинаторной оптимизации: задачей двумерной упаковки в разнородные листы и задачей минимизации взвешенного опережения-запаздывания при составлении расписания на параллельных машинах.

Современные методы решения указанных задач оптимизации представлены в работах отечественных и зарубежных ученых (Л. В. Канторовича, Э. А. Мухачевой, И. В. Романовского, А. Ф. Валеевой, Т. М. Сиразетдинова, J. O. Berkey и P. Y. Wang, A. Lodi, S. Martello и D. Vigo, S. P. Fekete и J. Schepers, D. Pisinger, A. Clautiaux, E. Hopper и C. H. Turton, K. R. Baker и G. D. Scudder, J. J. Kanet, L. A. Wolsey, D. Biskup и T. C. Cheng и других) и позволяют получать хорошие решения. Однако известные методы решают задачи рационального раскроя и составления расписания отдельно друг от друга, а известные математические постановки покрывают лишь часть описанной практической проблемы. В реальных условиях, как правило, требуется комплексное рассмотрение проблемы и ее решение как задачи многокритериальной оптимизации. Этот главный недостаток существующих методов обосновывает необходимость разработки и применения новых методов и алгоритмов.

Во второй главе «Постановка задачи раскроя листового материала с учетом опережения-запаздывания производства заготовок и методы ее решения» предложена математическая модель динамической задачи гильотинного раскроя листового материала с учетом опережения-запаздывания производства заготовок (ЛТ-2ВР). В отличие от известных работ, предлагаемая модель полностью описывает рассматриваемую проблему как задачу двухкритериальной оптимизации.

Пусть задано:

- множество параллельных гильотинных режущих машин $k \in Q = \{1, \dots, q\}$;
- множество прямоугольных заготовок $i \in I = \{1, \dots, n\}$, имеющих длину l_i и ширину w_i , ($l_i, w_i \in N$);

- множество прямоугольных листов $j \in B = \{1, \dots, m\}$, имеющих длину L_j и ширину W_j , ($L_i, W_i \in N$);
- множество карт раскроя $s \in R = \{1, \dots, m'\}$, $m' \leq m$, формируемых во времени на основании листа $j \in B$.

Каждая заготовка i определяется следующими характеристиками:

- фиксированная ориентация;
- индивидуальный детерминированный срок изготовления d_i ;
- штраф по опережению α_i за единицу времени;
- штраф по запаздыванию β_i за единицу времени.

Множества заготовок I и листов B являются динамическими и изменяются во времени. Множество листов B может быть разделено на два непересекающихся подмножества: $B^* \subseteq B$ – множество форматных листов материала¹, и $\bar{B}^* = B \setminus B^*$ – множество деловых остатков².

Каждая карта раскроя s имеет индивидуальное время обработки p_{sk} на машине $k \in Q$, где p_{sk} определяется функцией $\varphi_k(param_s)$ ³, зависящей от параметров s .

Первый критерий оптимизации требует разместить все заготовки на множестве листов параллельно границам листа таким образом, чтобы минимизировать общие потери форматных листов материала – $\min \sum_{j \in B^*} l_j w_j$, соблюдая следующие условия:

- *Условие непересечения заготовок с границами листа и взаимного непересечения заготовок* (С. Chen, 1991; Н. Onodera, 1995).

Пусть заданы следующие бинарные переменные:

$h_{ij}=1$, если заготовка i располагается левее заготовки j , $h_{ij} \in \{0, 1\}$;

$b_{ij}=1$, если заготовка i располагается ниже заготовки j , $b_{ij} \in \{0, 1\}$;

$u_{is}=1$, если заготовка i назначена листу s , $u_{is} \in \{0, 1\}$.

Пара переменных (x_i, y_i) соответствует координате левого нижнего угла заготовки i , $x_i, y_i \in Z^+$.

Тогда должна выполняться следующая система неравенств:

$$h_{ij} + h_{ji} + b_{ij} + b_{ji} + (1 - u_{is}) + (1 - u_{js}) \geq 1, \quad \forall i, j \in I, \quad i < j, \quad s \in B; \quad (1)$$

$$x_i - x_j + Lh_{ij} \leq L - l_i, \quad \forall i, j \in I; \quad (2)$$

$$y_i - y_j + Wb_{ij} \leq W - w_i, \quad \forall i, j \in I; \quad (3)$$

$$x_i \leq L_s - l_i + (1 - u_{is})L, \quad \forall i \in I, \quad s \in B; \quad (4)$$

$$y_i \leq W_s - w_i + (1 - u_{is})W, \quad \forall i \in I, \quad s \in B; \quad (5)$$

$$\sum_{s \in B} u_{is} = 1, \quad \forall i \in I, \quad (6)$$

¹ На практике соответствуют стандартным форматным листам материала и заказываются у производителя материалов.

² На практике соответствуют достаточно крупным отходам производства, оставшимся после распила листов от предыдущих заказов.

³ На практике функция, определяющая время обработки карты раскроя (раскроя листа), может зависеть от таких технологических операций как установка материала на режущую машину, настройка машины, прифуговка, производство реза, поворот и сдвиг материала.

где $L = \max_{s \in B} \{L_s\}$ и $W = \max_{s \in B} \{W_s\}$ – максимальная длина и ширина листа соответственно; условие (1) описывает непересечение двух заготовок друг с другом; условия (2) и (3) описывают попарное относительное расположение двух заготовок по горизонтали и вертикали соответственно; условия (4) и (5) описывают непересечение заготовки с вертикальными и горизонтальными границами листа соответственно; условие (6) подразумевает назначение заготовки одному из листов.

• *Условие гильотинности разделения прямоугольных областей листа (Т. М. Сиразетдинов, 2004).*

Для любой прямоугольной области $p \subseteq s$, $s \in R$ с размерами $(l, w) : (l \neq l_i) \vee (w \neq w_i)$, $\forall i \in p$ (рис. 1), выполняется условие разделения на две прямоугольные области $p' \sim (l', w')$ и $p'' \sim (l'', w'')$:

$$\begin{aligned} & ((l' + l'' = l) \wedge (w' = w'' = w)) \vee ((l' = l'' = l) \wedge (w' + w'' = w)), \\ & \begin{cases} \text{если } i \in p', \text{ то } i \notin p'' \\ \text{если } i \in p'', \text{ то } i \notin p' \end{cases} \end{aligned}$$

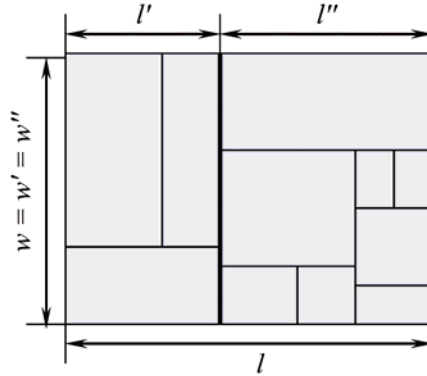


Рисунок 1 – Условие гильотинности разделения прямоугольных областей листа

Второй критерий оптимизации. Расписание режущей машины называется допустимым, если временные интервалы обработки карт раскроя на ней попарно не пересекаются и не выходят за границу начального момента времени.

Пусть заданы следующие бинарные переменные:

$a_{sv} = 1$, если обработка карты раскроя s предшествует обработке карты раскроя v , $a_{sv} \in \{0, 1\}$;

$f_{sk} = 1$, если карта раскроя s назначена для выполнения на машине k , $f_{sk} \in \{0, 1\}$;

t_s соответствует моменту начала обработки карты раскроя s , $t_s \in Z^+$.

Тогда должна выполняться следующая система неравенств:

$$a_{sv} + a_{vs} + (1 - f_{sk}) + (1 - f_{vk}) \geq 1, \quad \forall s, v \in R, \quad s < v, \quad k \in Q; \quad (7)$$

$$t_s - t_v + T a_{sv} \leq T - \sum_{k \in Q} p_{sk} f_{ik}, \quad \forall s, v \in R; \quad (8)$$

$$t_s \geq 0, \quad \forall s \in R; \quad (9)$$

$$\sum_{k \in Q} f_{sk} = 1, \quad \forall s \in R, \quad (10)$$

где $T = \max_{i \in I} \{d_i\} + \sum_{s \in R} \max_{k \in Q} \{p_{sk}\}$ – максимально возможное время обработки всех карт

раскроя на параллельных машинах; условие (7) описывает попарное непересечение временных интервалов обработки карт раскроя, назначенных одной машине; условие (8) описывает попарное взаимное расположение во времени интервалов обработки карт раскроя; условие (9) ограничивает выход момента начала обработки за границу начального момента времени для каждой из карт раскроя; условие (10) подразумевает назначение карты раскроя одной из режущих машин.

Требуется найти допустимое расписание, минимизирующее сумму взвешенного опережения и запаздывания по всем картам раскроя:

$$\min \sum_{s=1}^{m'} \sum_{i \in G_s} (\alpha_i E_i + \beta_i T_i),$$

где G_s соответствует множеству заготовок, входящих в карту раскроя s . $E_i = \max\{0, d_i - c_s\}$ является опережением, а $T_i = \max\{0, c_s - d_i\}$ – запаздыванием изготовления заготовки i соответственно. Момент времени c_s соответствует моменту окончания обработки карты раскроя s , запланированной на машине $k \in Q$: $f_{sk}=1$. Этот момент вычисляется как сумма момента начала обработки карты раскроя t_s и времени его выполнения p_{sk} на машине k , для которой $f_{sk}=1$, т.е. $c_s = t_s + p_{sk}$. Заготовка i считается выполненной раньше срока, если $c_s \leq d_i$, и выполненной позже срока в противном случае.

В результате анализа установлено, что традиционные методы решения задач многокритериальной оптимизации малоэффективны и трудно применимы в динамической среде, в частности: требуют знания большей части информации перед началом процесса решения; чувствительны к изменениям входной информации (что влияет на качество и допустимость решения); требуемое алгоритмом время может препятствовать своевременному принятию решения в непредвиденных ситуациях. Кроме того, на практике остро стоит необходимость решения задачи планирования и управления раскроем в условиях неопределенности, вызванной неполнотой и недостоверностью информации по причине динамической природы задачи и несогласованной работы персонала на разных этапах производства.

В качестве альтернативы существующим методам исследования операций при моделировании объектов и решении сложных задач оптимизации предложена агентно-ориентированная система (АО-система), основанная на концепции распределенного искусственного интеллекта. Модель агентно-ориентированной системы рассматривает элементы сформулированной задачи раскроя (заготовки, листы материала и режущие машины) в качестве интеллектуальных агентов системы. В таблице 1 представлено соотношение между типами используемых интеллектуальных агентов. Каждый из агентов определяется индивидуальными параметрами, правилами принятия решения и целями. Взаимодействие агентов под управлением агентно-ориентированной системы, как глобального агента, приводит к построению допустимого решения задачи. Для решения рассматриваемой задачи раскроя в динамических условиях разработана модель функционирования системы в реальном времени.

Процесс построения решения АО-системой состоит из нескольких этапов, соответствующих последовательности операций на стадии предварительного раскроя в производственной практике (рис. 2), и основан на идее декомпозиции рассматриваемой динамической задачи ЛТ-2ВР на серию статических подзадач двумерной упаковки в разнородные листы. Решение каждой выделенной подзадачи вносится обратно в общее решение динамической задачи раскроя ЛТ-2ВР на последних этапах построения решения.

Таблица 1. Соотношение между типами используемых интеллектуальных агентов

	В-агент (лист материала, карта раскроя)	I-агент (заготовка)	M-агент (режущая машина)
Коммуникация	взаимодействие с I-агентами	взаимодействие с В-агентами	взаимодействие с В-агентами
Назначение	формирования карты раскроя	присоединение к карте раскроя	1. Расчет времени изготовления карты раскроя. 2. Хранение информации о назначенных картах раскроя.
Конкуренция	с др. В-агентами за лучших I-агентов	с др. I-агентами за лучших В-агентов	—
Цель	максимальная эффективность карты раскроя	минимизация негативного влияния на опережение-запаздывание карты раскроя	—
Целевой параметр	коэффициент раскроя	приращение значения опережения-запаздывания карты раскроя	—

Предлагаемая агентно-ориентированная концепция решения задачи учитывает существующие недостатки традиционных методов решения задач многокритериальной оптимизации и подразумевает ряд преимуществ: возможность решения динамических задач и достижения показателей гибкости, устойчивости и робастности в процессе планирования и управления раскроем.

В третьей главе «Агентно-ориентированная система для решения задачи минимизации потерь при управлении раскроем листового материала» подробно рассмотрены этапы процесса построения решения. Концепция предлагаемой агентно-ориентированной системы предполагает решение серии специальных подзадач для получения допустимого решения динамической задачи раскроя листового материала с учетом опережения-запаздывания производства заготовок. С этой целью разработаны новые методы и алгоритмы, которые последовательно применяются агентно-ориентированной системой в процессе построения решения. Общая идея и схема последовательности решения выделенных подзадач приведена на рисунке 3.

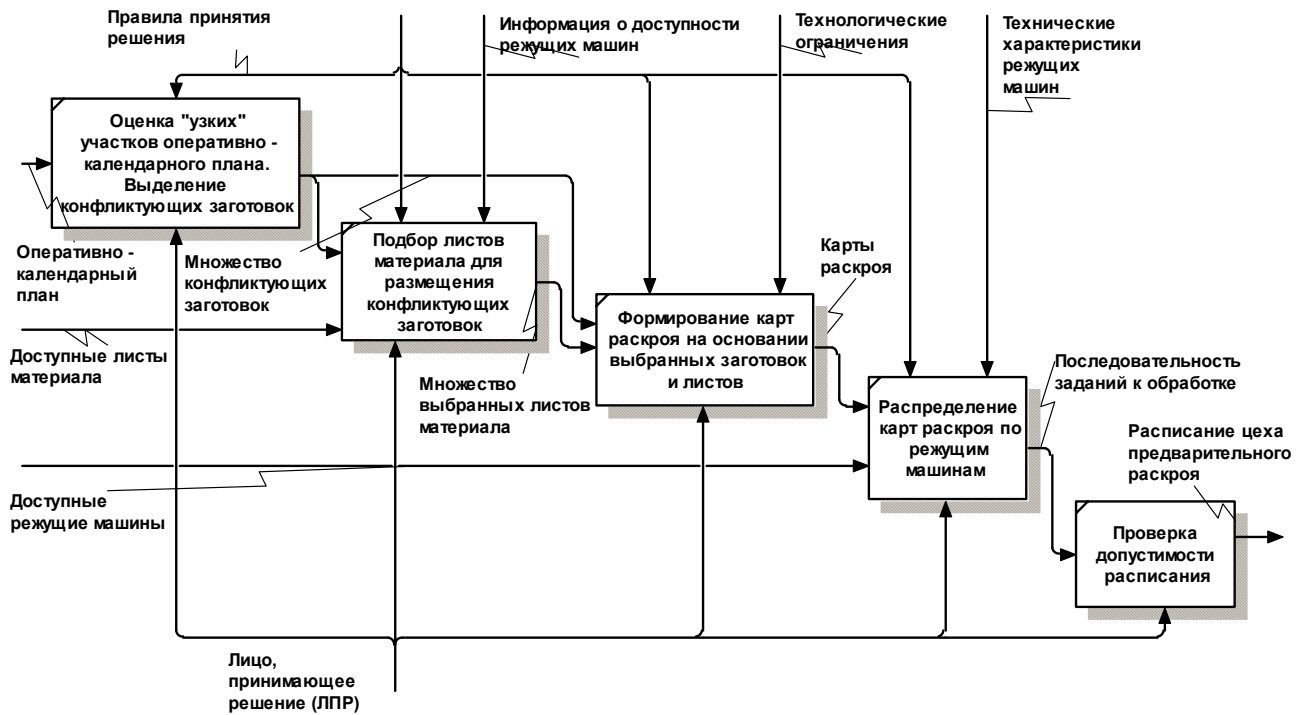


Рисунок 2 – Функциональная модель процесса построения решения

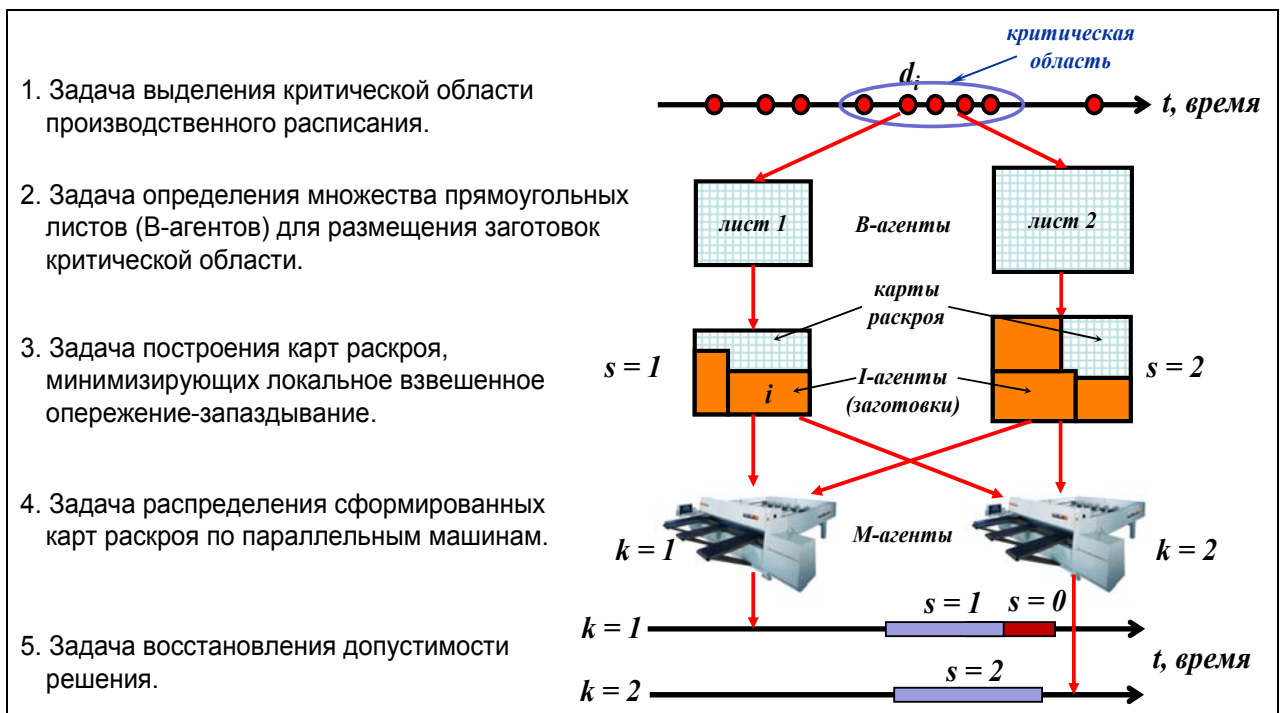


Рисунок 3 – Последовательность построения решения агентно-ориентированной системой

Для решения задачи выделения критической области производственного расписания предложено использовать алгоритм разностного пикового группирования (R. Yager и D. Filev, 1984), основанный на функции Гаусса. Применение этого алгоритма позволяет идентифицировать интервалы временной оси с высокой плотностью распределения плановых сроков изготовления заготовок. В конечном счете, соответствующие таким интервалам критические области

оперативно-календарного плана указывают на заготовки, которые требуют приоритетного размещения на листах с целью снижения опережения-запаздывания при их производстве.

Для решения задачи определения множества листов материала для размещения заготовок критической области предложен алгоритм, который разбивает множество заготовок на подмножества по правилу ближайшего соседа. Затем алгоритм определяет листы для размещения заготовок каждого подмножества на основе решения задачи о допустимости упаковки с помощью нахождения нижней границы Fekete и Schepers. Предлагаемый алгоритм направлен на сокращение делового остатка на производстве – прямоугольных отходов от предыдущего раскроя материала.

Для решения задачи построения карт раскроя, минимизирующих локальное взвешенное опережение-запаздывание предложен метод, основанный на взаимодействии интеллектуальных агентов системы. В-агенты выполняют процесс формирования карты раскроя, направленный на размещение заготовок согласно эвристическому алгоритму EGBL (улучшенный гильотинный нижний-левый) с целью увеличения коэффициента раскроя листа. I-агенты применяют процесс присоединения к карте раскроя, направленный на поиск такой карты раскроя, присоединение к которой окажет наименьшее негативное влияние на взвешенное опережение и запаздывание входящих в нее заготовок.

Для решения задачи распределения сформированных карт раскроя по параллельным режущим машинам предложен метод, который сначала производит расчет стоимости обработки для каждой пары вида (карта раскроя, режущая машина) и определяет матрицу стоимостей, а затем запускает алгоритм Куна для нахождения оптимального паросочетания (распределения), гарантирующего минимальное значение общей стоимости обработки карт раскроя.

Для обработки срочных заготовок в условиях реального времени в агентно-ориентированной системе предусмотрена возможность быстрого принятия решения. С этой целью разработан дополнительный метод, основанный на взаимодействии агентов с применением процесса дополнения существующих карт раскроя срочными заготовками.

Четвертая глава «Численные эксперименты» посвящена исследованию эффективности предложенной АО-системы при решении задачи раскроя листового материала с учетом опережения-запаздывания производства заготовок и зависимости качества получаемого решения от входных данных и управляющих параметров.

Численный эксперимент основан на сравнительном анализе результатов АО-системы с нижней границей, известным оптимумом и с двумя простыми эвристическими алгоритмами. Он проведен на различных наборах тестовых примеров и для этого разработаны алгоритмы генерации задач с известным и неизвестным оптимумом, которые приближают характеристики элементов задачи раскроя к реальным условиям производства мебели.

В качестве формальных критериев и оценок эффективности получаемого решения при различных управляющих параметрах в работе рассматриваются:

- 1) Эффективность использования материала: коэффициент раскроя или количество затраченных листов.
- 2) Значение взвешенного опережения-запаздывания.
- 3) Уровень делового остатка.
- 4) Количество заготовок, произведенных точно в срок.
- 5) Общее количество сформированных карт раскроя.
- 6) Общее время раскроя,

где 1 и 2 являются основными критериями, а 3–6 – дополнительными.

Продолжительность обработки p_{sk} карты раскроя s машиной k определялась в ходе эксперимента функцией φ_k , которая зависит от параметров карты раскроя и технических характеристик машины. В рамках численного эксперимента использовалась функция следующего вида:

$$\varphi_k(t_{k_уcm.}, l_s, v_k, n_s, t_{k_нов.}, t_{k_дов.}) = t_{k_уcm.} + (l_s/v_k) + n_s \times (t_{k_нов.} + t_{k_дов.}),$$

где $t_{k_уcm.}$ – время установки листа на режущую машину k ; l_s – общая длина пути реза карты раскроя s ; v_k – скорость раскроя машиной k ; n_s – количество необходимых поворотов материала при раскрое карты s ; $t_{k_нов.}$ – время поворота материала на машине k ; $t_{k_дов.}$ – время доводки материала до линии реза на машине k .

Первая серия экспериментов проведена на наборе тестовых примеров с неизвестным оптимумом с целью исследования влияния количества режущих машин q на эффективность решения. Сравнительный анализ результатов эксперимента, проведенный на основе значений нижних границ Fekete и Schepers (рис. 4, а), показывает:

- В динамических условиях АО-система имеет низкую эффективность использования материала ($O(AO_динам)$), как при большом, так и малом количестве режущих машин q . Максимальная эффективность использования материала достигается при $q=5$.
- В статических условиях изменение числа машин q не влияет на эффективность использования материала ($O(AO_стат)$).
- АО-система имеет высокую эффективность при формировании карт раскроя.

Кроме того, увеличение количества режущих машин q оказывает следующее влияние на различные критерии эффективности:

- понижает значение взвешенного опережения-запаздывания (рис. 4, б);
- увеличивает число заготовок, произведенных точно в срок;
- увеличивает общее количество сформированных карт раскроя;
- увеличивает общее время раскроя.

Вторая серия экспериментов проведена на наборе примеров с известным оптимумом с целью исследования зависимости эффективности использования материала от количества типоразмеров листов. Анализ полученных результатов показывает (рис. 4, в), что увеличение числа используемых типов листов материала оказывает следующее влияние:

- повышает эффективность использования материала ($PC(AO_динам)$) в динамических условиях;
- понижает эффективность использования материала ($PC(AO_стат)$) в статических условиях.

Третья серия экспериментов проведена на наборе примеров различной размерности и с известным оптимумом с целью исследования влияния управляющих параметров функции Гаусса на эффективность решения АО-системы. Установлено, что управляющие параметры напрямую влияют на размер критической области.

Для примеров большой размерности, имитирующих плотную загрузку режущей машины, установлено следующее:

- решение АО-системы высокоэффективно с точки зрения использования материала (рис. 4, з) и уровня делового остатка только при среднем размере критической области (~ 30–120 мин.);
- решение АО-системы высокоэффективно с точки зрения опережения-запаздывания (рис. 4, д) только при среднем размере критической области (~ 40–80 мин.);
- общая продолжительность выполнения раскроя и количество карт раскроя снижается с увеличением размера критической области;
- количество заготовок, произведенных точно в срок, сокращается с увеличением размера критической области.

Для примеров средней размерности, имитирующих среднюю загрузку режущей машины, установлено следующее:

- решение АО-системы высокоэффективно с точки зрения использования материала только при среднем размере критической области (~ 40–120 мин.);
- значение взвешенного опережения-запаздывания (рис. 4, е) возрастает с увеличением размера критической области (неэффективно при размере более 80 мин.).

Четвертая серия экспериментов проведена на основе данных реального производства. Сравнение результатов решения, полученных АО-системой, с результатами двух эвристических алгоритмов построения плана раскроя («раскрой при поступлении заказа» и «раскрой по востребованию заготовки») позволяет сделать выводы, что при различных комбинациях управляющих параметров АО-система дает следующие преимущества:

- Увеличение эффективности использования материала на ~30%;
- Снижение опережения-запаздывания при выполнении плана раскроя на ~60%;
- Снижение уровня делового остатка на ~25%;
- Сокращение количества карт раскроя на ~75%;
- Сокращение продолжительности раскроя на ~35%;
- Возможность производства заготовок точно-в-срок.

В конечном итоге в зависимости от комбинации управляющих параметров АО-система способна предоставить:

- либо решение с более эффективным использованием материала, меньшим количеством карт раскроя и меньшей продолжительностью их обработки;
- либо решение с меньшим значением опережения-запаздывания и большим количеством заготовок, произведенных точно-в-срок.

Анализ результатов эксперимента позволяет сделать вывод, что планы раскроя, получаемые АО-системой, в общем случае являются намного более эффективными, чем планы раскроя простых эвристических алгоритмов. В свою очередь, заложенные в математический аппарат АО-системы управляющие параметры позволяют легко находить эффективные решения относительно различных критериев оптимизации.

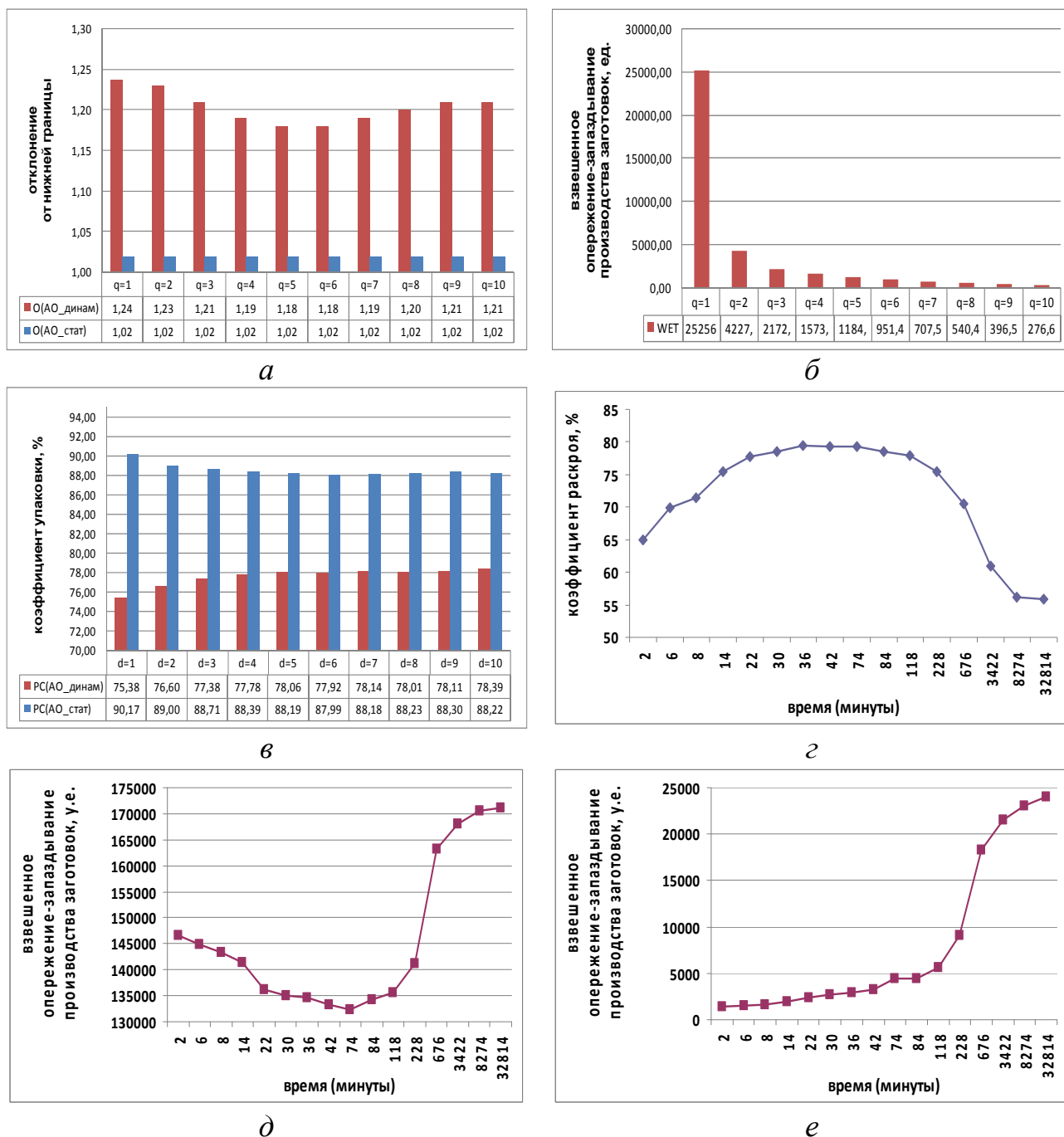


Рисунок 4. Результаты численного эксперимента

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

В рамках диссертационной работы разработаны методы системного анализа с целью повышения эффективности управления раскроем листового материала в условиях неопределенности при производстве заготовок на предпри-

ятиях мебельной и деревообрабатывающей промышленности. В процессе исследования и решения поставленной задачи получены следующие результаты.

1. Проведен системный анализ стадии предварительного раскроя материала на предприятиях мебельной и деревообрабатывающей промышленности. Сформулирована постановка задачи раскроя листового материала с учетом опережения-запаздывания производства заготовок. Проведен анализ существующих методов, алгоритмов и программных средств для ее решения и их недостатков. Представлено обоснование необходимости разработки новых методов и алгоритмов, выработаны требования к их эффективности.

2. Разработана математическая модель для задачи раскроя листового материала с учетом опережения-запаздывания производства заготовок, которая в отличие от известных работ целостно описывает рассматриваемую проблему и представляет ее как задачу двухкритериальной оптимизации. Выработаны формальные критерии и оценки эффективности решения рассматриваемой задачи.

3. Проведен анализ существующих методов решения задач многокритериальной оптимизации, установлены их недостатки и обоснована необходимость разработки альтернативных методов для решения поставленной задачи. Разработана методика повышения эффективности управления раскроем листового материала в условиях неопределенности. Предложена агентно-ориентированная концепция решения задачи раскроя листового материала с учетом опережения-запаздывания производства заготовок и на ее основе разработано математическое обеспечение для решения поставленной задачи.

4. Разработан рабочий прототип программного обеспечения на основе предложенной агентно-ориентированной модели и математического обеспечения для решения задачи раскроя листового материала с учетом опережения-запаздывания производства заготовок.

5. Исследована эффективность предложенных методов и алгоритмов с помощью численного эксперимента. Анализ результатов эксперимента показал их эффективность, а также гибкость в управлении АО-системой при нахождении эффективных решений относительно различных критериев оптимизации.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОПУБЛИКОВАНЫ В РАБОТАХ

В рецензируемых журналах из списка ВАК

1. Задача двумерной контейнерной упаковки: нижние границы и численный эксперимент с алгоритмами локального поиска оптимума / Э. А. Мухачева, А. Ф. Валеева, А. С. Филиппова, С. Ю. Поляковский // Информационные технологии. 2006. № 4. С. 44–52.

2. Агентно-ориентированный подход для решения задач оптимизации рюкзачного типа / С. Ю. Поляковский, Р. М'Халлах // Лекционные материалы по компьютерным наукам: новые тенденции в приложениях искусственного интеллекта. 20-я Междунар. конф. IEA/AIE, Киото, 2007. Спрингер. Вып. 4570. С. 1098–1107. (Статья на англ. яз.).

3. Агентно-ориентированный подход для решения задачи двумерной гильотинной контейнерной упаковки / С. Ю. Поляковский, Р. М'Халлах // Ев-

ропейский журнал по исследованию операций. 2009. Т. 192. С. 767–781. (Статья на англ. яз.).

В других изданиях:

4. Классы нижних границ для задач контейнерной упаковки / С. Ю. Поляковский, А. Ф. Валеева // Компьютерные науки и информационные технологии CSIT' 2005: 7-я Междунар. конф. Уфа, 2005. Т. 3. С. 152–158. (Статья на англ. яз.).

5. Свид. о рег. программы для ЭВМ № 2006612022 /С. Ю. Поляковский, А. Ф. Валеева, Д. В. Попов. Программа решения задачи двумерного раскроя на основе метода юго-западного угла. Зарег. РосАПО, 14 июня 2006.

6. Метод юго-западного угла для решения задачи двумерной контейнерной упаковки / С. Ю. Поляковский, Э. А. Мухачева, А. Ф. Валеева // Матер. Междунар. конф. "3rd ESICUP Meeting". Порто, Португалия, 2006. <http://paginas.fe.up.pt/~esicup/>. (Статья на англ. яз.).

7. Решение задачи гильотинного раскроя методом юго-западного угла в условиях единичного производства / С. Ю. Поляковский // Сб. Уфимск. междунар. зимн. шк.-конф. по математике и физике для студентов, аспирантов и молодых ученых. Уфа: БГУ, 2006. С. 22–24.

8. Мультиагентный метод решения задачи двумерной гильотинной контейнерной упаковки / С. Ю. Поляковский // Компьютерные науки и информационные технологии CSIT' 2006: 8-я междунар. конф. Карлсруэ, Германия, 2006. Т. 2. С. 163–169. (Статья на англ. яз.).

9. Интеллектуальная система для решения динамической задачи гильотинной упаковки в разнородные листы / С. Ю. Поляковский, Р. М'Халлах // Материалы междунар. конф. "GOR Operations Research 2007". Саарбрюккен, Германия, 2007. С. 203–208. (Статья на англ. яз.).

10. Агентно-ориентированный подход для решения задачи двумерной гильотинной контейнерной упаковки / С. Ю. Поляковский, А. Ф. Валеева // Математическое программирование и приложения: сб. тезисов XIII Всерос. конф. Екатеринбург: УрО РАН, 2007. С. 183–184.

11. Агентно-ориентированная модель для решения оптимизационных задач рюкзачного типа / С. Ю. Поляковский, Р. М'Халлах // Компьютерные науки и информационные технологии CSIT' 2007: 9-я междунар. конф. Уфа, 2007. Т. 3. С. 45–50. (Статья на англ. яз.).

12. Улучшенная эвристика для решения задачи гильотинной упаковки в разнородные листы / С. Ю. Поляковский, А. Ф. Валеева, Р. М'Халлах // Компьютерные науки и информационные технологии CSIT' 2007 : 9-я междунар. конф. Уфа, 2007. Т. 2. С. 34–37. (Статья на англ. яз.).

13. Интеллектуальная система для решения динамической задачи гильотинной упаковки в разнородные листы / С. Ю. Поляковский, Р. М'Халлах // Матер. Европ. конф. по исслед. операций "EURO XXIII". Германия, Бонн, 2009. С. 567. (Статья на англ. яз.).

ПОЛЯКОВСКИЙ Сергей Юрьевич

**АГЕНТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЙ ПОДХОД
К МИНИМИЗАЦИИ ПОТЕРЬ ПРИ УПРАВЛЕНИИ
РАСКРОЕМ ЛИСТОВОГО МАТЕРИАЛА
(В ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩЕЙ И МЕБЕЛЬНОЙ
ПРОМЫШЛЕННОСТИ)**

05.13.01 – Системный анализ, управление
и обработка информации (в промышленности)

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано к печати 28.05.2010. Формат 60x84 1/16.
Бумага офсетная. Печать плоская. Гарнитура Times New Roman Суг.
Усл. печ. л. 1,0. Усл. кр.- отт. 1,0. Уч.- изд. л. 0,9.
Тираж 120 экз.

ГОУ ВПО Уфимский государственный авиационный технический университет
Центр оперативной полиграфии
450000, Уфа-центр, ул. К.Маркса,12