

МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМИ РЕСУРСАМИ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ НА ОСНОВЕ МНОГОАГЕНТНОГО ПОДХОДА

Д. А. РИЗВАНОВ • Е. С. ЧЕРНЫШЕВ

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы управления производственными ресурсами машиностроительного предприятия. Для решения поставленной задачи разработаны и описаны: концепция поддержки принятия решений; модель интеллектуальной поддержки принятия управленческих решений при календарном планировании производства с учетом слабоформализуемой информации и применением межучасткового аутсорсинга; методы планирования и рационального использования производственных мощностей с проверкой полученных результатов; информационная модель данных; алгоритмическое обеспечение, позволяющее реализовать предложенные методы, включающее в себя алгоритмы работы и взаимодействия интеллектуальных агентов; программное обеспечение системы поддержки принятия решений. Приведена эффективность применения разработанных методов, алгоритмов и программного обеспечения.

Ключевые слова: машиностроительное предприятие; интеллектуальные технологии; календарное планирование производственных процессов; многоагентный подход; многоагентная система; поддержка принятия решений; управление ресурсами.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в условиях развития современной авиационной промышленности растут объемы производства авиадвигателестроительных предприятий. Это связано с увеличением объемов изготовления новой продукции, поддержкой ранее изготовленной продукции (выполнение ремонта), а также выполнением научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ перспективных изделий. Рост номенклатуры деталей и сборочных единиц (ДСЕ) и необходимость ее изготовления в установленные сроки в условиях ограниченности ресурсов (как человеческих, так и материальных: оборудование, инструмент, оснащение) требует частого перепланирования. Причинами этому служат как «команды сверху» о срочной необходимости изготовления ДСЕ, так и «форс-мажорные» ситуации, связанные с наличием или доступностью ресурсов: невыход работников на работу, поломка оборудования, инструмента, устранение последствий некачественной работы на ранних этапах. В связи с этим растет и нагрузка на плановые службы предприятия, производственных цехов и участков, что требует применения специализированных программных средств для календарного планирования.

Одними из важнейших показателей экономической эффективности предприятия являются, в том числе: выработка на 1 человека, выработка на 1 кв. м производственной площади, а для инновационной деятельности предприятия — эффективность инвестиций, т. е. время окупаемости вложенных инвестиций. Для повышения получаемой выработки необходимы эффективное календарное планирование, а также совершенствование технического потенциала предприятия – модернизация и наращивание производственных мощностей. Эффективность инвестиций зависит от грамотного планирования производственных мощностей при создании новых производств и техническом перевооружении существующих.

Основная задача планирования производственных мощностей заключается в правильном подборе модельного и количественного состава технологического оборудования. Поэтому, учитывая большую номенклатуру производимого в мире оборудования и наличия у него разнообразного набора функционала, а также требования технологии изготовления продукции, данный процесс «в ручном режиме» является очень трудоемким и неточным. Применение специализированного программного средства позволит автоматизировать процесс планирования производственных мощностей, снизить вероятность ошибки при решении задачи, что, в свою очередь, сократит объемы необходимых инвестиций при реализации проектов и повысит эффективность их вложения.

Анализ существующих методов и алгоритмов в области управления производственными ресурсами показал, что они используют в основном численные характеристики ресурсов и задач и практически не задействуют слабо формализуемую информацию об индивидуальных свойствах ресурсов и задач одного вида. Поэтому применение интеллектуальных технологий для решения задачи поддержки принятия решений при управлении производственными ресурсами в машиностроительном предприятии является актуальной задачей.

СТЕПЕНЬ ПРОРАБОТАННОСТИ ТЕМЫ И ОБСУЖДЕНИЕ РЕШАЕМОЙ ЗАДАЧИ

Различные аспекты проблем управления ресурсами освещены в работах отечественных и зарубежных ученых [1–16]: в области изучения современных методов поддержки принятия решений с использованием инженерии знаний и интеллектуальных технологий — Н. И. Юсупова и др.; в области проблем разработки систем управления для сложных технических объектов, интеллектуального управления производственными, а также социально-экономическими и организационными системами — В. А. Виттих и др.; в области разработки интеллектуальных систем управления ресурсами с использованием многоагентных технологий — П. О. Скобелев; в области задач управления ресурсами на основе сетей потребностей и возможностей и вопросов взаимодействия агентов — В. А. Виттих, П. О. Скобелев; в области задач разработки моделей многоагентной самоорганизации при управлении сложными системами — В. И. Городецкий [1, 2, 5, 6].

Объектом исследования в работе является процесс управления производственными ресурсами на машиностроительном предприятии в условиях динамического изменения внешней и внутренней среды. Предмет исследования — модели, методы и инструментальные средства поддержки принятия решений при формировании календарного плана производства, а также планировании производственных ресурсов машиностроительного предприятия в условиях динамического изменения внешней и внутренней среды. Целью работы является повышение эффективности интеллектуальной поддержки принятия решений на основе разработки методов и алгоритмов для управления производственными ресурсами при производстве высокотехнологичных изделий на машиностроительном предприятии с учетом человеческого фактора при наличии слабоформализуемой информации.

Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

1. Провести анализ предметной области и существующих методов поддержки принятия решений при управлении ресурсами машиностроительного предприятия и разработать концепцию поддержки принятия решений при управлении производственными ресурсами машиностроительного предприятия, позволяющую повысить эффективность принимаемых управленческих решений.

2. Разработать модели и методы решения задач для реализации поддержки принятия управленческих решений при управлении производственными ресурсами машиностроительного предприятия:

- модель интеллектуальной поддержки принятия управленческих решений при календарном планировании производства, обеспечивающую учет слабоформализуемой информации и с применением межчасткового аутсорсинга;

- методы планирования и рационального использования производственных мощностей с учетом ограниченности финансовых ресурсов;
- модель интеллектуальной поддержки принятия управленческих решений при планировании модельного и количественного состава технологического оборудования, обеспечивающую проверку полученных результатов;
- информационную модель базы данных для хранения информации о предметной области, в том числе выделенной слабоформализуемой информации.

3. Разработать алгоритмическое обеспечение системы поддержки принятия решений при управлении ресурсами машиностроительного предприятия, позволяющее реализовать предложенные методы, включающее в себя алгоритмы работы и взаимодействия интеллектуальных агентов.

4. Разработать программное обеспечение системы поддержки принятия решений для решения задач управления организационной системой при планировании производственных мощностей и календарном планировании производственных процессов на основе предложенных методов и алгоритмов, выполнить анализ эффективности применения предложенных методов, алгоритмов и системы поддержки принятия решений в целом.

АНАЛИЗ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ И СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ПРОИЗВОДСТВОМ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Анализ проблем календарного планирования производства (КПП) показал, что при составлении календарного плана следует учитывать множество факторов, в том числе постоянно изменяющуюся внешнюю среду, многообразие имеющихся ресурсов, а также специфические особенности предметной области, которые зачастую являются слабоформализуемыми, но оказывающие существенное влияние на процесс управления производством, качество принимаемых решений при планировании и, соответственно, результаты. Повышение эффективности разрабатываемого календарного плана может обеспечиваться за счет учета свойств, присущих ресурсам — их уникальности или взаимозаменяемости, взаимоисключаемости или взаимодополняемости.

Представлен обзор и сравнительный анализ возможностей некоторых существующих систем оперативно-календарного планирования. Анализ показал, что существующие в настоящее время программные разработки и большинство разработанных методов ориентированы только на числовые данные и не позволяют в полной мере учесть слабоформализуемую информацию предметной области, а также индивидуальные особенности, присущие ресурсам одного вида, что является существенным фактором при решении данного класса задач.

Приведен анализ процессов в области планирования производственных мощностей (ППМ), рассмотрены его основные проблемы и задачи, выделены основные этапы планирования, влияющие на итоговую величину инвестиций проектов. Анализ показал, что применяемые в настоящее время методы определения необходимых производственных мощностей, основанные на станкоемкости и негибком производственном плане, неэффективны и способствуют формированию избыточных производственных мощностей, что влечет за собой необходимость дополнительных инвестиций.

Одним из эффективных инструментов расчета производственных мощностей является система имитационного моделирования Tecnomatix Plant Simulation, формирующая, в том числе, сменно-суточное задание для производства. Но данная система имеет ряд недостатков, которые не позволяют использовать данную систему в качестве повседневного инструмента календарного планирования: сложность использования программного обеспечения (ПО) при создании и корректировке модели, а также в управлении при переборе вариантов исполнения плана; длительность расчетов. Кроме того, основной функцией системы является подтверждение достаточности заданного состава технологического оборудования, а не его расчета.

ФОРМАЛЬНАЯ ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ПЛАНИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ РЕСУРСАМИ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Сформулирована задача КПП с использованием системы поддержки принятия решения (СППР).

Определены методы ускорения изготовления деталей для обеспечения покомплектного изготовления деталей и сборочных единиц (ДСЕ) и обеспечения ими смежных цехов: более точное планирование и, как следствие, сокращение времени ожидания необходимого ресурса и межоперационных простоев; подбор таких исполнителей и других ресурсов, которые снижали бы длительность выполнения операции; изменение размера партий обработки ДСЕ для снижения продолжительности их временных простоев для выполнения дооперационной наладки и послеоперационной переналадки; применение производственного аутсорсинга — межучастковой кооперации, при которой часть деталей (разово или на постоянной основе) передается на другой участок цеха для обеспечения синхронного выполнения плана.

Основные проблемы ППМ машиностроительного предприятия заключаются в ограниченности финансовых ресурсов, выделяемых на реконструкцию и техническое перевооружение существующего (либо создание нового) производства, а также в скорейшей окупаемости вложенных инвестиций.

Процесс ППМ заключается в определении количественного и модельного состава технологического оборудования, необходимого для выполнения заданной номенклатуры в заданном объеме и в заданный промежуток времени.

В процессе ППМ имеет место несколько проблем: неоднородность по составу и количеству производимой продукции программы производства от года к году; большая трудоемкость ручного выполнения расчетов; ограниченность финансовых ресурсов.

Предложена комплексная методика планирования и рационального использования производственных мощностей на основе многоагентного подхода (МАП) для минимизации финансовых ресурсов, состоящая из нескольких этапов:

1. «Сглаживание производственной программы». Выполняется заблаговременное изготовление в предыдущие годы части производственного плана для снижения пиков трудоемкости и, соответственно, количества технологического оборудования.

2. Частичное перераспределение загрузки между однотипным оборудованием.

3. Формирование графика закупки оборудования с учетом его ввода и освоения к такому сроку, когда он необходим в выполнении производственной программы.

Разработана концепция интеллектуальной ППР (ИППР) при управлении производственными ресурсами машиностроительного предприятия (рисунок 1) [9].

Объектом управления в данном исследовании является процесс формирования производственных ресурсов предприятия, в рамках управления которым на нижнем уровне осуществляется ППМ и КПП.

Ниже перечислены основные блоки процесса ИППР, реализуемого на верхнем уровне управления, с указанием основных применяемых технологий и элементов ИППР:

- «Формирование исходных данных»: интеграция СППР со всеми необходимыми информационными системами (ИС) предприятия; обработка слабоформализуемой информации в виде человеческого, технического и технологического факторов, внесение информации во внутреннюю базу данных (БД) СППР.

- «Планирование производственных мощностей»: МАП; методы рационализации производственных мощностей («сглаживание» производственной программы, перенос нагрузки, график закупки); контроль достаточности запланированных производственных мощностей в многоагентной системе календарного планирования производства (МСКПП).

- «Календарное планирование производства» (распределение ресурсов): МАП; учет слабоформализуемой информации; межучастковый аутсорсинг [7, 15].

- «Мониторинг состояния производственных ресурсов»: автоматизированный сбор фактических данных движения ДСЕ; формирование и предоставление лицу, принимающему решения (ЛПР), аналитической информации для принятия решений: факт выполнения плана, объемы и достаточность запланированных мощностей.

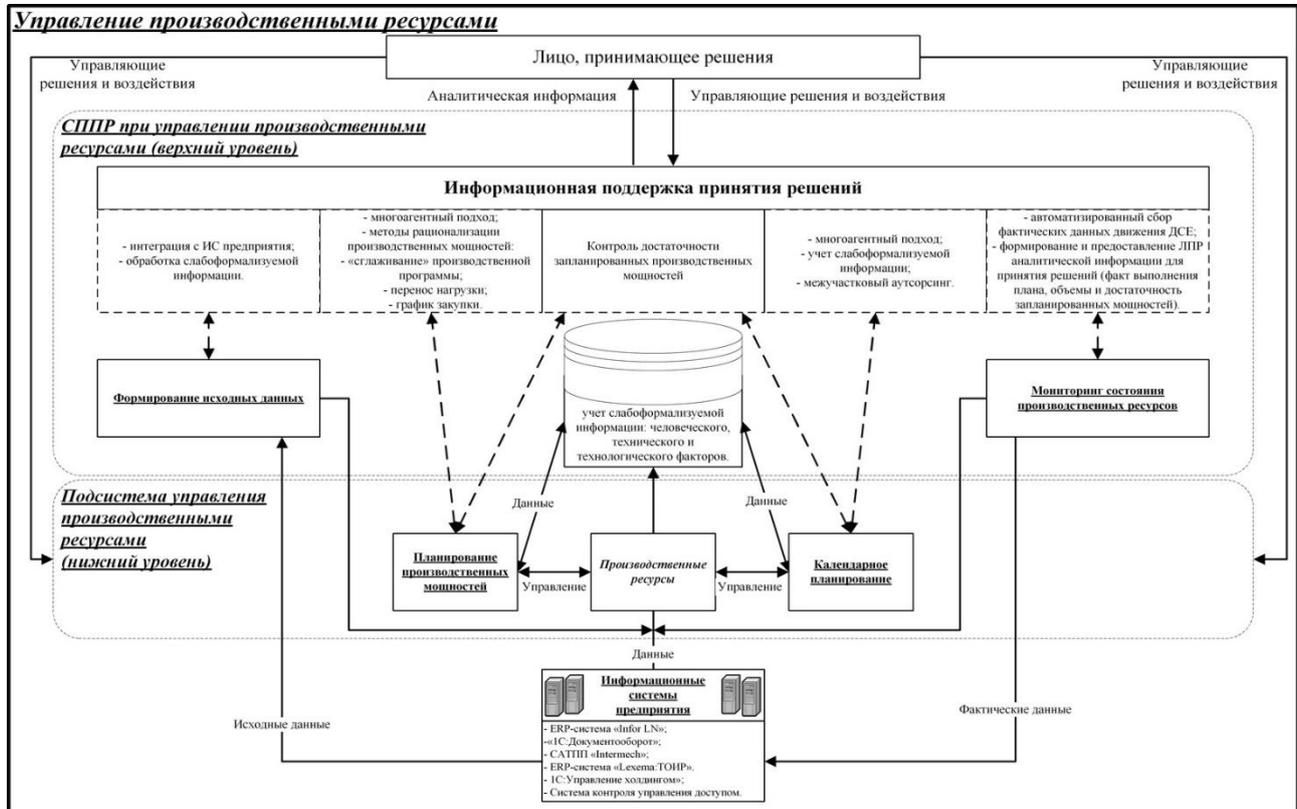


Рис. 1 Концепция ИППР при управлении производственными ресурсами

Предложена математическая модель для сокращения времени изготовления продукции:

$$\max_i \left(T_{i1m_1}^B + \sum_{j=1}^{E_i} \left(\frac{(C_i(L_{ij} + L_{ij}^{PCh}) + L_{ij}^{PBefore} + L_{ij}^{PAfter})}{f(MX, S, i, j)} + L_{ij}^{PW} \right) \right) - \min_i (T_{i1m_1}^B) \rightarrow \min,$$

где $T_{i1m_1}^B$ — момент начала изготовления (выполнение первой операции) детали i -м набором ресурсов для первой операции m_1 ; C_i — размер партии ДСЕ $_i$ при обработке; L_{ij}^{PCh} — длительность процесса переустановки ДСЕ при изготовлении партии; L_{ij} — нормативное время выполнения операции j ДСЕ $_i$; $L_{ij}^{PBefore}$ — длительность простоя детали до начала операции j для изготовления ДСЕ $_i$, связанная с дооперационной наладкой, настройкой; L_{ij}^{PAfter} — длительность простоя ДСЕ после окончания операции j для изготовления ДСЕ $_i$, связанная с послеоперационной переналадкой; L_{ij}^{PW} — длительность простоя, не связанного с дооперационной и послеоперационной переналадкой, перенастройкой (длительность ожидания ресурса); $f(MX, S, i, j)$ — функция, учитывающая производительность используемых ресурсов, задействованных в выполнении операции j для изготовления ДСЕ $_i$ [14].

Схема взаимодействия агентов «Ресурс», «ДСЕ» и «Операция» в методе учета слабоформализуемой информации представлена на рисунке 2.

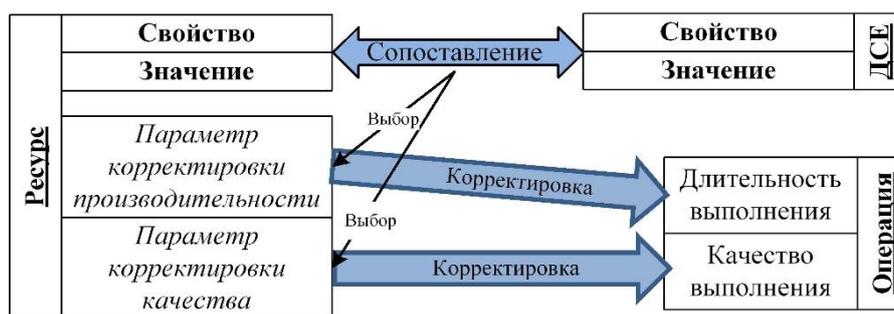


Рис. 2 Схема взаимодействия агентов «Ресурс», «ДСЕ» и «Операция» в методе учета слабоформализуемой информации

Свойства ДСЕ задаются парами «свойство–значение». Аналогичными парами у ресурсов задаются отношения к свойствам ДСЕ. Для каждой пары у ресурсов задают параметры корректировки производительности и качества (минимум один, при отсутствии влияния — отсутствуют). Информация носит частично опытный, частично субъективный характер.

Представлены и описаны следующие модели и методы ИППР в процессе управления производственными ресурсами: модель ИППР при КПП, учитывающая слабоформализуемую информацию, которая оказывает влияние на длительность выполняемой работы, а также между-частковый аутсорсинг; математическая модель задачи КПП, ориентированная на сокращение длительности выполнения производственного плана; метод учета слабоформализуемой информации, основанный на наличии у ДСЕ различных свойств, а у ресурсов отношений к этим свойствам; метод планирования и рационального использования производственных мощностей, учитывающий весь цикл планирования от производственной программы до поставки оборудования; модель ИППР при ППМ, основанная на методе планирования и рационального использования производственных мощностей и использующая МСКПП для проверки полученных результатов; информационная модель БД для хранения информации о предметной области и выделенной слабоформализуемой информации.

РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОГО И АЛГОРИТМИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ППР

Разработаны диаграммы классов, отражающие основные связи и свойства выделенных объектов.

В процессе КПП выделены три основные сущности: «деталь» — объект, который изготавливают; «операция» — действия, выполняемые для изготовления детали или выполнения одного этапа из цикла обработки; «ресурс» — оборудование, инструмент, персонал и все другое, что необходимо для выполнения какой-либо технологической операции изготовления детали [3, 8].

Задача ППМ содержит следующие основные сущности: «расчет» — объект, интегрирующий всю информацию о расчете производственных мощностей и исходных данных; «программа» — объект, содержащий информацию о базовом и оптимизированном планах; «объем» — объект «сглаживания производственной программы», формирующий базу для расчета необходимого оборудования; «деталь» — объект, детализирующий заданные объемы производства до трудоемкости и станкоемкости; «станок» — объект закупки и основной объект расчета инвестиций [9, 10, 12, 13].

На основе структур данных КПП и ППМ разработана информационная модель единой БД для хранения данных исследуемых предметных областей, которая содержит 116 полей, в том числе 28 уникальных ключей таблиц [11].

Представлена схема интеграции СППР с существующими ИС предприятия [4].

Принимая во внимание использование большого числа однотипных классов, реализация программного обеспечения для решения поставленной задачи более эффективна с использованием многоагентных (мультиагентных) технологий. Разработаны архитектуры многоагентной системы и ее агентов (рисунок 3).

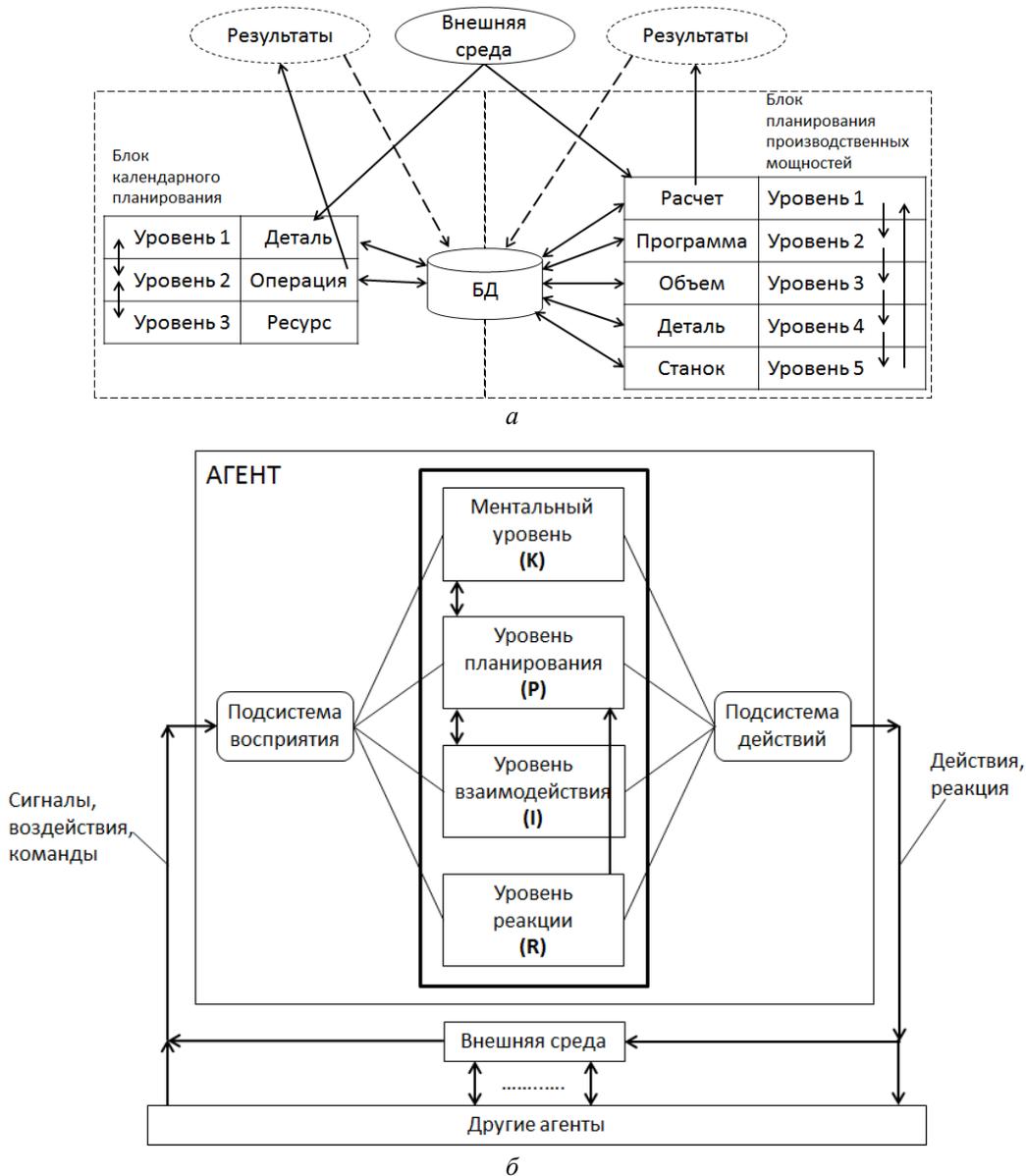


Рис. 3 Архитектура многоагентной системы (а) и агентов (б)

На основе предложенных методов рационального использования производственных мощностей, структуры данных и информационной модели БД разработаны алгоритмы поведения агентов для реализации СППР.

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ И ОЦЕНКА ЕГО ЭФФЕКТИВНОСТИ

В целях получения количественной сравнительной оценки между применением МАП и обычного последовательного в части скорости работы был проведен эксперимент, где были выданы задания с различными технологиями обработки деталей. В ходе эксперимента имити-

ровалась работа агентов «операция» по подбору необходимых ресурсов. Проведенный эксперимент подтвердил целесообразность применения МАП (с точки зрения ускорения процесса распределения ресурсов) для решения поставленной задачи.

Для реализации СППР были выбраны следующие платформы: «1С:Предприятие» – управление и хранение данных ПО для КПП и ППМ, разработки интерфейса; «Embarcadero CodeGear RAD Studio» – вычислительная многопоточная (многоагентная) часть СППР, а также инструментарий для сбора и передачи информации, в том числе с «1С:Предприятие».

Приведено описание разработанной СППР, приведены примеры загрузки данных из ИС предприятия, трансляции информации. Выходная информация выгружается в формате «Excel».

Выполнение контрольных замеров времени использования МСКПП в производственном подразделении авиадвигателестроительного предприятия показало, что без учета разовых первичных загрузок данных длительность процесса КПП составляет 1 час 13 мин. За счет повышения точности планирования производственный план цеха (9 участков) выполнен с меньшим количеством сверхурочных/выходных часов (более чем на 10%), чем в предыдущий месяц при равных запланированных объемах. Также применение МСКПП повышает прозрачность планирования трудоемкости, позволяя ЛПП видеть ее завышение в технологии изготовления ДСЕ, что позволяет МСКПП способствовать снижению цикла изготовления продукции в целом.

На рисунке 4 представлен график снижения стоимости инвестиционного проекта при применении многоагентной системы ППМ (МСППМ).

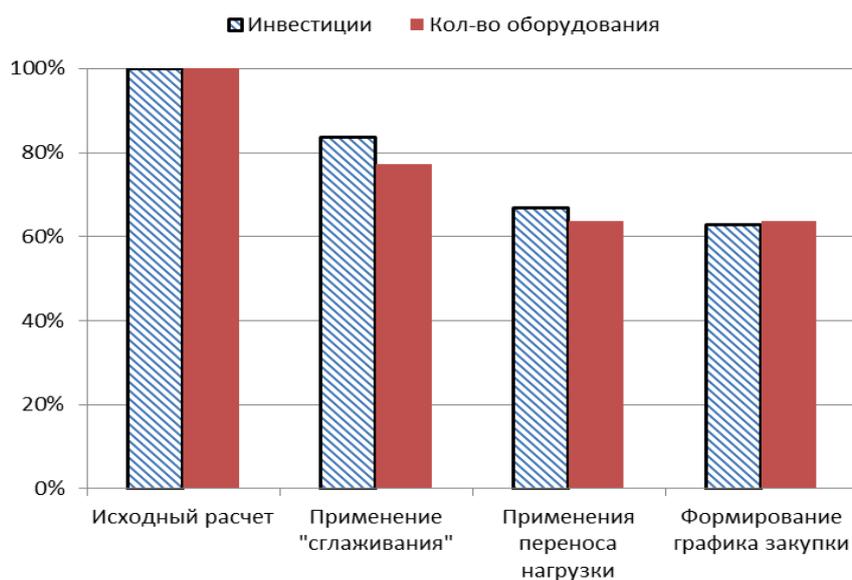


Рис. 4 График снижения инвестиций/затрат (слева) и количества оборудования (справа)

Для оценки эффективности применения МСППМ расчет необходимого количества технологического оборудования и инвестиций выполнен классическим способом, а также с использованием МСППМ на основе одинаковых исходных данных. Применение МСППМ с реализованными предложенными методами и алгоритмами в задаче расчета модельного и количественного состава технологического оборудования для создаваемого нового производства по изготовлению «деталей сложной формы» в авиадвигателестроительном предприятии показала возможность сокращения необходимых инвестиций более чем на 30% [16].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, достигнута цель исследования – разработаны методы и алгоритмы для повышения эффективности интеллектуальной поддержки принятия решений в процессах планирования и управления ресурсами машиностроительного предприятия при условиях изменяющейся внешней среды и с учетом человеческого фактора при наличии слабоформализуемой информации.

В ходе проведенного исследования получены следующие результаты:

1. Разработана концепция поддержки принятия управленческих решений при управлении производственными ресурсами машиностроительного предприятия, позволяющая повысить эффективность принимаемых решений и учитывающая слабоформализуемую информацию в виде человеческого, технологического и технических факторов.

2. Разработаны следующие модели и методы решения задач для реализации поддержки принятия решений при управлении производственными ресурсами машиностроительного предприятия:

- модель интеллектуальной поддержки принятия управленческих решений при календарном планировании в массовом многономенклатурном производстве с применением многоагентного подхода, учитывающая слабоформализуемую информацию, а также межучастковый аутсорсинг, что позволяет сократить время выполнения производственного плана;
- метод планирования и рационального использования производственных мощностей, позволяющий повысить эффективность капиталовложений при техническом перевооружении предприятия;
- модель интеллектуальной поддержки принятия управленческих решений при планировании производственных мощностей, использующая многоагентную систему календарного планирования для проверки полученных результатов и позволяющая строить обоснованный план ввода производственных мощностей;
- информационная модель базы данных для хранения информации о предметной области, учитывающая выделенную слабоформализуемую информацию.

3. Разработано алгоритмическое обеспечение системы поддержки принятия решений на основе предложенных методов. Предложенные алгоритмы работы и взаимодействия интеллектуальных агентов позволили разработать прототипы системы поддержки принятия решений календарного планирования производственных процессов и планирования производственных мощностей.

4. Разработано программное обеспечение системы поддержки принятия решений для решения задач управления организационной системой при планировании производственных мощностей и календарном планировании производственных процессов на основе многоагентного подхода, а также предложенных моделей, алгоритмов, методов, позволяющее формировать допустимые календарные планы производства, выполнять планирование производственных мощностей предприятия с учетом их рационального использования. Проведенные экспериментальные исследования эффективности поддержки принятия решений при управлении ресурсами на реальных примерах подтвердили работоспособность предложенных методов и алгоритмов: например, для задачи управления ресурсами при календарном планировании производства длительность выполнения всего запланированного объема работ была сокращена более чем на 10% в сравнении с аналогичными прошлыми периодами, для задачи планирования производственных ресурсов применение СППР показало возможность сокращения объема необходимых инвестиций более чем на 30% (более 850 млн. руб.) от объема необходимых инвестиций, получаемого при расчете традиционным способом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Виттих В. А., Скобелев П. О. Мультиагентные модели взаимодействия для построения сетей потребностей и возможностей в открытых системах // Автоматика и телемеханика. 2003. № 1. С. 162–169. [[Vittikh V. A., Skobelev P. O. "Multi-agent interaction models for building networks of needs and opportunities in open systems". Automation and Telemechanics, 2003, no. 1, pp. 162-169. (In Russian).]]
2. Виттих В. А., Скобелев П. О. Метод сопряженных взаимодействий для управления распределением ресурсов в реальном масштабе времени // Автотметрия. 2009. Т. 45, № 2. С. 78–87. [[Vittikh V. A., Skobelev P. O. "The method of conjugate interactions for managing the distribution of resources in real time". Avtometriya, 2009, Vol. 45, no. 2, pp. 78-87. (In Russian).]]
3. Чернышев Е. С., Ризванов Д. А. Математическое и информационное обеспечение для управления ресурсами при календарном планировании производственных процессов // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 6. [[Chernyshev E. S., Rizvanov D. A. "Mathematical and information support for resource management in scheduling production processes". Modern Problems of Science and Education, 2013, no. 6. (In Russian).]]
4. Ризванов Д. А., Чернышев Е. С. Управление ресурсами при календарном планировании производства и интеграция с информационными системами предприятия // Фундаментальные исследования. 2014. № 12, ч. 11. С. 2315–2319. [[Rizvanov D. A., Chernyshev E. S. "Resource management in production scheduling and integration with enterprise information systems". Fundamental Research, 2014, no. 12, part 11, pp. 2315-2319. (In Russian).]]
5. Городецкий В. И., Бухвалов О. Л., Скобелев П. О., Майоров И. В. Современное состояние и перспективы индустриальных применений многоагентных систем // Управление большими системами: сборник трудов. 2017. № 66. С. 94–157. [[Gorodetsky V. I., Bukhvalov O. L., Skobelev P. O., Mayorov I. V. "Modern state and prospects of industrial applications of multi-agent systems". In: Management of Large Systems, 2017, no. 66, pp. 94-157. (In Russian).]]
6. Скобелев П. О., Лахин О. И., Майоров И. В., Симонова Е. В. Адаптивное мультиагентное планирование производственных ресурсов на основе онтологии // Информационно-управляющие системы. 2018. № 6. С. 105–117. [[Skobelev P. O., Lakhin O. I., Maiorov I. V., Simonova E. V. "Adaptive multi-agent planning of production resources based on ontology". Information and Control Systems, 2018, no. 6, pp. 105-117. (In Russian).]]
7. Ризванов Д. А., Чернышев Е. С. Модели и алгоритмы обработки данных при аутсорсинге ресурсов в задаче календарного планирования производства // Труды VIII Всероссийской научной конференции «Информационные технологии интеллектуальной поддержки принятия решений» (с приглашением зарубежных ученых) (6–9 октября 2020, Уфа, Россия). 2020, Т. 1. С. 117–124. [[Rizvanov D. A., Chernyshev E. S. "Models and algorithms for data processing in resource outsourcing in the problem of production scheduling". In: Proceedings of the VIII All-Russian Scientific Conference "Information Technologies for Intelligent Decision Support" (with the invitation of foreign scientists) (October 6–9, 2020, Ufa, Russia), 2020, Vol. 1, pp. 117-124. (In Russian).]]
8. Ризванов Д. А., Чернышев Е. С. Информационное и алгоритмическое обеспечение планирования производственных мощностей // Интеллектуальные системы в производстве. 2020. Т. 18, № 4. С. 117–125. [[Rizvanov D. A., Chernyshev E. S. "Information and algorithmic support for planning production capacities". Intelligent Systems in Production, 2020, Vol. 18, no. 4, pp. 117-125. (In Russian).]]
9. Ризванов Д. А., Чернышев Е. С., Ризванов К. А. Планирование производственных мощностей предприятия с применением многоагентного подхода // Современные наукоемкие технологии. 2020. № 5. С. 91–95. [[Rizvanov D. A., Chernyshev E. S., Rizvanov K. A. "Planning of production capacities of an enterprise using a multi-agent approach". Modern Science-Intensive Technologies, 2020, no. 5, pp. 91-95. (In Russian).]]
10. Ризванов Д. А., Чернышев Е. С. Методы оптимизации планируемых производственных мощностей предприятия с применением многоагентного подхода // Современные наукоемкие технологии. 2020. № 8. С. 69–74. [[Rizvanov D. A., Chernyshev E. S. "Methods for optimizing the planned production capacities of an enterprise using a multi-agent approach". Sovremennye Naukoemkie Tekhnologii, 2020, no. 8, pp. 69-74. (In Russian).]]
11. Ризванов Д. А., Чернышев Е. С. Информационное и алгоритмическое обеспечение планирования производственных мощностей // Интеллектуальные системы в производстве. 2020. Т. 18, № 4. С. 117–125. [[Rizvanov D. A., Chernyshev E. S. "Information and algorithmic support for planning production capacities". Intelligent Systems in Production, 2020, Vol. 18, no. 4, pp. 117-125. (In Russian).]]
12. Чернышев Е. С. Алгоритмическое обеспечение поддержки принятия решений при планировании производственных мощностей предприятия с использованием многоагентного подхода // Современные наукоемкие технологии. 2021. № 3. С. 88–95. [[Chernyshev E. S. "Algorithmic support for decision-making when planning the production capacities of an enterprise using a multi-agent approach". Modern Science-Intensive Technologies, 2021, no. 3, pp. 88-95. (In Russian).]]
13. Ризванов Д. А., Чернышев Е. С. Модель интеллектуальной поддержки принятия решений при управлении производственными ресурсами // Современные наукоемкие технологии. 2022. № 12 (часть 1). С. 46–51. [[Rizvanov D. A., Chernyshev E. S. "A model of intellectual support for decision-making in the management of production resources". Modern Science-Intensive Technologies, 2022, no. 12 (part 1), pp. 46-51. (In Russian).]]
14. Yussupova N., Rizvanov D. "Decision-making support in resource management in manufacturing scheduling". In: Proceedings of 18th IFAC Conference on Technology, Culture and International Stability (TECIS 2018), 2018, Vol. 51, Issue 30, pp. 544-547.
15. Rizvanov D., Chernyshev E. "Data processing models and algorithms for outsourcing of resources in the production scheduling task". In: Proceedings of the 8th Scientific Conference on Information Technologies for Intelligent Decision Making Support (ITIDS 2020), 2020, pp. 288-294.
16. Yusupova N., Rizvanov D., Chernyshev E. "Evaluation of the effectiveness of the multi-agent approach for capacity planning". In: 2020 International Conference on Electrotechnical Complexes and Systems (ICOECS). Ufa, 2020, pp. 307-312.

МЕТАДАННЫЕ / METADATA

Title: Decision-making support methods and algorithms in production resource management of machine-building enterprise based on a multi-agent approach.

Abstract: The article deals with the issues of managing the production capacity of a machine-building enterprise. To solve the problem, the following have been developed and described: the concept of decision-making support; a model of intellectual support for making managerial decisions in the scheduling of production, taking into account poorly formalized information and using inter-sectional outsourcing; methods of planning and rational use of production capacities with verification of the results obtained; information data model; algorithmic support that allows implementing the proposed methods, including algorithms for the operation and interaction of intelligent agents; decision-making support system software. The effectiveness of the application of the developed methods, algorithms and software is given.

Key words: machine-building enterprise; intelligent technologies; scheduling of production processes; multi-agent approach; multi-agent system; decision-making support; resource management.

Язык статьи / Language: русский / Russian.

Об авторах / About the authors:

РИЗВАНОВ Дмитрий Анварович

ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий», Россия.
Проф. каф. вычислительной математики и кибернетики.
Дипл. инженер-программист (Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т, 1995). Д-р техн. наук по упр. в соц. и экон. системах (там же, 2019). Иссл. в обл. управления сложными системами с использованием интеллектуальных технологий.
E-mail: ridmi@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2378-5587>
URL: https://elibrary.ru/author_profile.asp?authorid=156664

ЧЕРНЫШЕВ Евгений Сергеевич

ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий», Россия.
Ст. препод. каф. вычислительной математики и кибернетики.
Дипл. матем.-программист (Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т, 2007). Канд. техн. наук по упр. в организ. системах (там же, 2022). Иссл. в обл. управления сложными системами с использованием интеллектуальных технологий.
E-mail: chernyshevevgenij@rambler.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1996-913X>
URL: https://elibrary.ru/author_profile.asp?authorid=1175791

RIZVANOV Dmitrii Anvarovich

Ufa University of Science and Technology, Russia.
Prof., Dept. of Computational Mathematics and Cybernetics. Dipl. Eng.-Programmer (Ufa State Aviation Technical University, 1995). Dr. of Tech. Sci. in social and economic systems (Ufa State Aviation Technical University, 2019). Research in the field of complex systems management using intelligent technologies.
E-mail: ridmi@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2378-5587>
URL: https://elibrary.ru/author_profile.asp?authorid=156664

CHERNYSHEV Evgenii Sergeevich

Ufa University of Science and Technology, Russia.
Senior Lecturer, Dept. of Computational Mathematics and Cybernetics. Dipl. math.-programmer (Ufa State Aviation Technical University, 2007). Cand. of Tech. Sci. in organizational systems (Ufa State Aviation Technical University, 2022). Research in the field of complex systems management using intelligent technologies.
E-mail: chernyshevevgenij@rambler.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1996-913X>
URL: https://elibrary.ru/author_profile.asp?authorid=1175791