

УДК 004.896

DOI 10.22213/2410-9304-2018-4-130-137

ПРИМЕНЕНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ УПРАВЛЕНИЯ РЕСУРСАМИ ПРИ КАЛЕНДАРНОМ ПЛАНИРОВАНИИ ПРОИЗВОДСТВА *

Д. А. Ризванов, кандидат экономических наук, доцент,
Уфимский государственный авиационный технический университет, Уфа, Россия
Н. И. Юсупова, доктор технических наук, профессор,
Уфимский государственный авиационный технический университет, Уфа, Россия

В настоящей статье рассматриваются вопросы применения интеллектуальных технологий для решения задачи управления ресурсами при календарном планировании производства. В силу отсутствия или недостаточного учета специфических особенностей предметной области задача управления ресурсами является актуальной. Представлена математическая модель задачи управления ресурсами при календарном планировании производства. В качестве решения задачи предлагается использовать интеграцию интеллектуальных технологий – многоагентного и онтологического подходов. Выделены основные агенты: «деталь», «операция», «ресурс». Разработанная онтологическая модель позволяет хранить основные сущности предметной области, представить слабо формализуемые семантические ограничения предметной области и служит основой информационного обеспечения системы поддержки принятия решений (СППР). В составе алгоритмического обеспечения СППР разработаны алгоритмы поведения и взаимодействия основных агентов, выделенных в предметной области. Программное обеспечение прототипа СППР для управления ресурсами при календарном планировании производства реализовано на базе многоагентной платформы JADE. Показаны фрагменты выходных форм работы прототипа, которые представляют собой календарный план изготовления деталей. Имеется возможность отображения этого плана как в разрезе деталей, так и в разрезе имеющихся ресурсов. Приведены результаты оценки эффективности решения задачи календарного планирования производства по показателям, отражающим суммарное время выполнения плана работ, а также непроизводственные простои, связанные с изготовлением деталей.

Ключевые слова: календарное планирование, управление ресурсами, интеллектуальные технологии, многоагентная система, поддержка принятия решений.

Введение

Эффективная работа предприятия зависит, прежде всего, от качественного календарного планирования производства, распределения ресурсов, равномерной загрузки производственных мощностей изготавливаемыми деталями. Построение сетевых графиков движения деталей вручную при больших объемах практически невозможно либо очень трудоемко, и результаты зачастую неточны.

В настоящее время на рынке программных средств, предназначенных для решения задач управления ресурсами на производстве, существуют MRP-, ERP- и MES-системы [1–8], среди которых наиболее известные разработаны компаниями SAP, Oracle, Baan, PeopleSoft, JD Edwards и др. Представленные программные средства позволяют решать широкий спектр задач, связанных с управлением ресурсами. Построение планов происходит оперативно, информация о загруженности оборудования и графики изготовления продукции отслеживаются. Однако задачи управления ресурсами и координации изготовления продукции полностью не решены. Например, при составлении календарного плана, распределении работ по персоналу,

станкам и оборудованию не учитываются индивидуальные характеристики работников и оборудования. Например, все работники, обладающие одной и той же профессией и квалификацией, рассматриваются как одинаковые исполнители. На практике люди работают с разной скоростью, качеством, могут иметь свои предпочтения. В конечном итоге это оказывает существенное влияние на формируемый план и в дальнейшем на его исполнение. Одинаковое по характеристикам оборудование также может различаться и иметь различное предназначение в зависимости от характера и интенсивности его работы, месторасположения и ряда других факторов. Перечисленные факторы вносят дополнительные корректировки в характеристики оборудования, связанные с габаритами и массой обрабатываемых деталей, качеством их обработки и т. д.

Проведенный анализ отечественных разработок в области IT-систем для календарного производства [9–12] позволяет выделить разработку «Smart Factory» фирмы «Разумные решения» как одно из гибких решений среди множества систем данного класса. Тем не менее отсутствие или недостаточный учет ряда специфических особенностей предметной области, связанных

с учетом предпочтений рабочих, их квалификации и мастерства, износа оборудования, делает задачу календарного планирования актуальной.

Постановка задачи календарного планирования производства

Рассмотрим задачу календарного планирования производственного участка цеха. Перед началом календарного периода участку задается номенклатурный план изготовления деталей. Технология изготовления каждой детали представляет собой последовательность выполнения определенных технологических операций. На участке имеются различные ресурсы (персонал, инструмент, оборудование), необходимые для изготовления детали. Ресурсы подразделяются по категориям: фрезеровщики, токари, фрезерные станки, токарные станки и т. д. Один ресурс может относиться к нескольким категориям, например, токарь может выполнять работу фрезеровщика. Для выполнения технологической операции необходимы ресурсы различных категорий. Например, для выполнения фрезерной операции необходимы фрезеровщик (категория «Фрезеровщики»), фрезерный станок (категория «Фрезерные станки»), *фреза_1* и *фреза_2* (категория «Фрезерный инструмент»).

Календарное планирование производственного участка цеха заключается в распределении имеющихся ресурсов для выполнения производственного задания изготовления деталей. Результатом является сформированный календарный план изготовления деталей, включающий в себя информацию о том, какая технологическая операция в какое время, каким рабочим и на каком станке будет выполняться.

Рассмотрим пример формирования календарного плана изготовления двух деталей [13, 14], технологические процессы которых представлены в таблице.

Предположим, что ресурсы, перечисленные в таблице, имеются в одном экземпляре для каждой категории. Время начала изготовления деталей 8:00.

Операция_1 детали_1 требует ресурсы *токарь* и *токарный_станок* и длится с 8:00 до 9:30. Поскольку эти ресурсы имеются в единственном экземпляре, то возможность начать работу с *деталью_2* и выполнять появится только в 9:30, поскольку необходимые ресурсы для *операции_1* до этого момента будут заняты. Аналогичным образом формируется план изготовления деталей, представленный на рис. 1, а.

Технологический процесс изготовления деталей

Деталь	№ п/п	Операция	Длительность, ч	Необходимые ресурсы
1	1	Токарная	1,5	Токарь, токарный станок
1	2	Слесарная	1,0	Слесарь
1	3	Фрезерная	3,5	Фрезеровщик, фрезерный станок
1	4	Токарная	1,0	Токарь, токарный станок
1	5	Шлифовальная	2,5	Шлифовщик, шлифовальный станок
2	1	Токарная	1,0	Токарь, токарный станок
2	2	Слесарная	1,0	Слесарь
2	3	Сверлильная	1,0	Сверловщик
2	4	Токарная	1,5	Токарь, токарный станок
2	5	Шлифовальная	2,0 часа	Шлифовщик, шлифовальный станок

	8 : 00	9 : 00	10 : 00	11 : 00	12 : 00
Деталь 1		Токарная		Слесарная	Фрезер
Деталь 2			Токарная		Слесарная

а

	8 : 00	9 : 00	10 : 00	11 : 00	12 : 00
Деталь 1			Токарная	Слесарная	Фрезер
Деталь 2	Токарная	Слесарная			

б

Рис. 1. Фрагмент плана изготовления деталей 1 и 2 с учетом порядка запуска деталей в производство: а – вариант 1 – изготовление начинается с детали_1; б – вариант 2 – изготовление начинается с детали_2

Межоперационные простои детали, связанные с отсутствием необходимых ресурсов, на графике выделены заштрихованной областью. В эти периоды изготовление детали прерывается до освобождения требуемых ресурсов.

Согласно таблице для выполнения первых двух операций *детали_2* требуется 2 часа. Поскольку деталь была вынуждена ожидать освобождения ресурсов, фактически на выполнение этих двух операций ушло 4 часа.

Если в календарном плане изменить порядок запуска деталей в производство, то длительность изготовления деталей может измениться.

Длительность выполнения первых двух операций для первого плана (рис. 1, *а*) составляет 4 часа, а для второго (рис. 1, *б*) – 3,5 часа.

Приведенный пример наглядно демонстрирует влияние порядка запуска деталей в производство на формирование календарного плана и его длительность. Рассмотренные временные накладные, связанные с занятостью ресурсов, возникают уже в ситуации с двумя деталями. В реальном производстве номенклатурный план участка измеряется сотнями деталей, что естественно создает дополнительные трудности в планировании.

Математическая модель задачи управления ресурсами при календарном планировании производства

Рассмотрим математическую модель задачи управления ресурсами при календарном планировании производства, подробно рассмотренную в [15].

Требуется минимизировать общую длительность изготовления всех деталей

$$\max_i \left(T_{i1m_i}^B + \sum_{j=1}^{E_i} \left(\frac{(L_{ij} + L_{ij}^{PBefore} + L_{ij}^{PAfter})}{f(MX, S, i, j)} + L_{ij}^{PW} \right) \right) - \min_i (T_{i1m_i}^B) \rightarrow \min,$$

где T_{ijm}^B – момент начала выполнения множества ресурсов m операции j для изготовления детали i ; E_i – количество операций, необходимых для изготовления детали i ; L_{ij} – нормативное время выполнения операции j детали i ; $L_{ij}^{PBefore}$ – длительность простоя детали до начала операции j для изготовления детали i , связанная с дооперационной наладкой, настройкой; L_{ij}^{PAfter} – длительность простоя детали после окончания операции j для изготовления детали i , связанная с послеоперационной переналадкой.

$f(MX, S, i, j)$ – функция, учитывающая производительность используемых ресурсов для выполнения операции j при изготовлении детали i ; MX – матрица назначения ресурсов; S – матрица производительности ресурсов; $L_{ijR_j}^{PW}$ – длительность простоя, связанного с ожиданием необходимых ресурсов для выполнения операции j детали i .

При соблюдении следующих ограничений:

1. Количество используемых ресурсов при выполнении операции j для изготовления детали i должно совпадать с количеством требуемых для этой операции ресурсов.

2. Квалификация используемого ресурса должна быть не ниже требуемой при выполнении операции для детали согласно технологии.

3. В процессе производства один ресурс не может быть задействован одновременно более чем в одной операции.

Применение интеллектуальных технологий для задачи управления ресурсами при календарном планировании производства

Рассматриваемая задача относится к задачам дискретной оптимизации (в частности, к задачам теории расписаний или календарного планирования). Для классических постановок задач дискретной оптимизации разработано достаточное количество методов (симплекс-метод и др.).

Реальные задачи данного класса имеют NP-сложность и большую размерность. Данное обстоятельство не позволяет получить аналитического решения, поэтому приходится искать приближенные методы, позволяющие получить рациональное решение, или использовать методы искусственного интеллекта.

Интеллектуальные технологии позволяют реализовать моделирование реального объекта в компьютерной среде без жесткой математической модели (в частности, многоагентный подход). Этот вид моделирования позволяет эффективно исследовать реальный объект в компьютерной среде. Такое моделирование также представляет ценность наряду с теми решениями, которые позволяют получить математика. В данной работе делается акцент на использование интеллектуальных технологий при моделировании в компьютерной среде тех процессов, которые либо не получается решить математической постановкой, поскольку не все ограничения удается формализовать, либо математическое решение имеет ограниченное действие.

В соответствии с разработанной методологией поддержки принятия решений при управле-

нии ресурсами в сложных системах [16] для задачи календарного планирования производства в качестве ресурсов будут выступать рабочие, станки, оборудование, инструмент и т. д., а в качестве потребителей ресурсов – деталь, операция.

Глобальная цель потребителей ресурсов и ресурсов – минимизация времени изготовления всех деталей с учетом имеющихся ресурсов. Локальные цели ресурсов – максимизация дохода, повышение квалификации и т. д. Локальные цели потребителей ресурсов – изготовление в первую половину месяца.

В соответствии с предложенными методологическими основами решение поставленной задачи предлагается с использованием много-агентного подхода. Онтологические модели, позволяющие представить слабо формализуемые семантические ограничения предметной области, реализованы в базе знаний и служат основой информационного обеспечения задачи календарного планирования производства. Фрагмент онтологической модели с участием основных сущностей задачи управления ресурсами при календарном планировании производства представлен на рис. 2 [17].

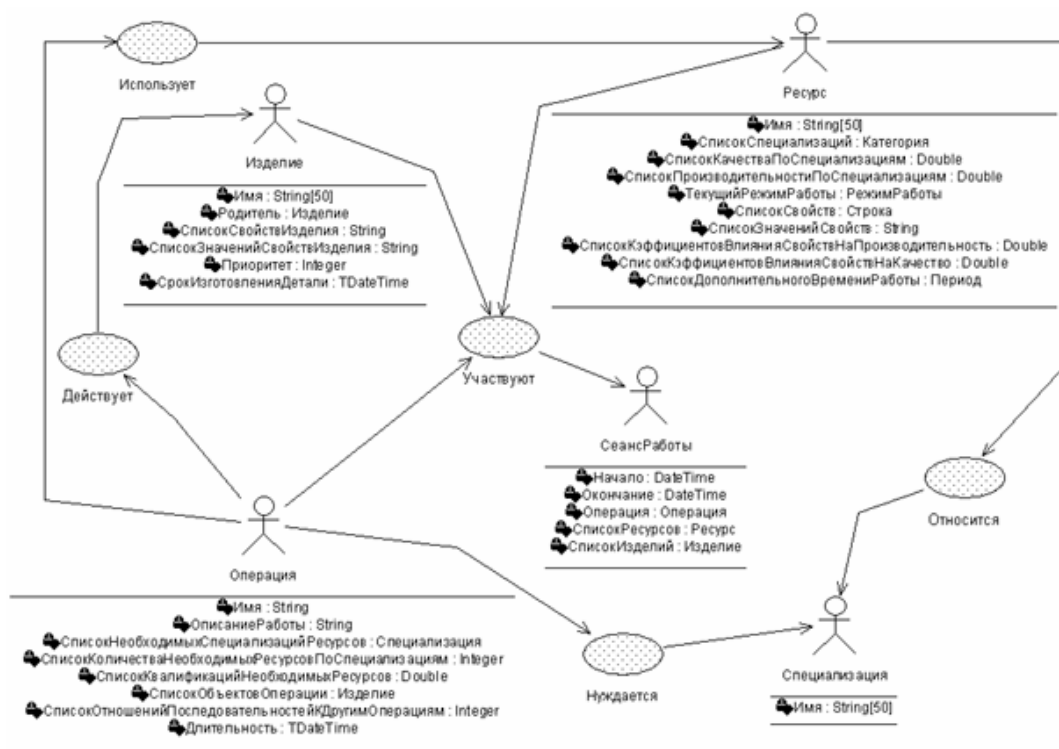


Рис. 2. Фрагмент онтологической модели для задачи управления ресурсами при календарном планировании производства

В составе алгоритмического обеспечения на базе обобщенного алгоритма распределения ресурсов с использованием многоагентных технологий и семантических ограничений предметной области, описанного в [18], разработаны алгоритмы поведения основных агентов, выделенных в системе: «деталь», «операция», «ресурс». Кроме этого, в качестве агента-менеджера отдельно выделен агент-расписание, в задачи которого входит запуск процесса и сбор сводной информации.

Для программной реализации прототипа СППР для управления ресурсами при календарном планировании производства в виде многоагентной системы на базе агентной платформы JADE были созданы соответствующие

классы агентов и поведений, представленные на рис. 3.

В рамках реализованного прототипа СППР выделены и реализованы 7 видов поведения агентов:

1. Поиск ресурсов для выполнения операции.
2. Управление последовательностью операций над деталью в соответствии с технологией изготовления.
3. Инициализация и запуск.
4. Управление деталями в соответствии с планом изготовления.
5. Обработка запросов на предоставление графика рабочего времени от операций.
6. Обработка запросов на предложение захвата от операций.

7. Обработка запросов на предоставление графика рабочего времени от агента расписания.

Прототип СППР реализован на языке программирования Java в среде разработки NetBeans IDE 8.0.2 с использованием Java Agent Development Framework.

Результатом работы разработанного прототипа является календарный план изготовления деталей, который отображается как в разрезе деталей, так и в разрезе имеющихся ресурсов (см. рис. 4 и 5 соответственно).

Для оценки эффективности поддержки принятия решений при управлении ресурсами для задачи календарного планирования производства были проведены два типа экспериментов в зависимости от выбранного показателя эффективности:

- суммарное время выполнения плана работ;
- непроизводительные простои, связанные с изготовлением деталей.

Первый показатель отражает общее время, необходимое для изготовления запланированных деталей. Второй показатель используется для того, чтобы как можно быстрее обеспечить выпуск готовых деталей, уменьшив, соответ-

ственно, непроизводительные простои, связанные с ожиданием высвобождения занятых необходимых ресурсов.

Целью экспериментов являлось показать наличие положительного эффекта выбранных показателей при формировании месячного календарного плана изготовления деталей по сравнению с существующими планами, формируемыми в настоящее время вручную.

Результаты экспериментов приведены на рис. 6 и 7. Значение показателя эффективности для исходного плана было принято за единицу.

В состав общего целевого критерия, позволяющего оценить качество всего плана в целом, были выбраны параметры плана, соответствующие выбранным показателям эффективности.

В ходе экспериментальных расчетов получены следующие результаты:

- снижение общего времени выполнения плана в среднем составило от 1,2 до 2 раз в зависимости от конкретного набора исходных данных по сравнению с текущим планированием;
- снижение непроизводительных простоев в среднем на 10–30 % по сравнению с текущим планированием.

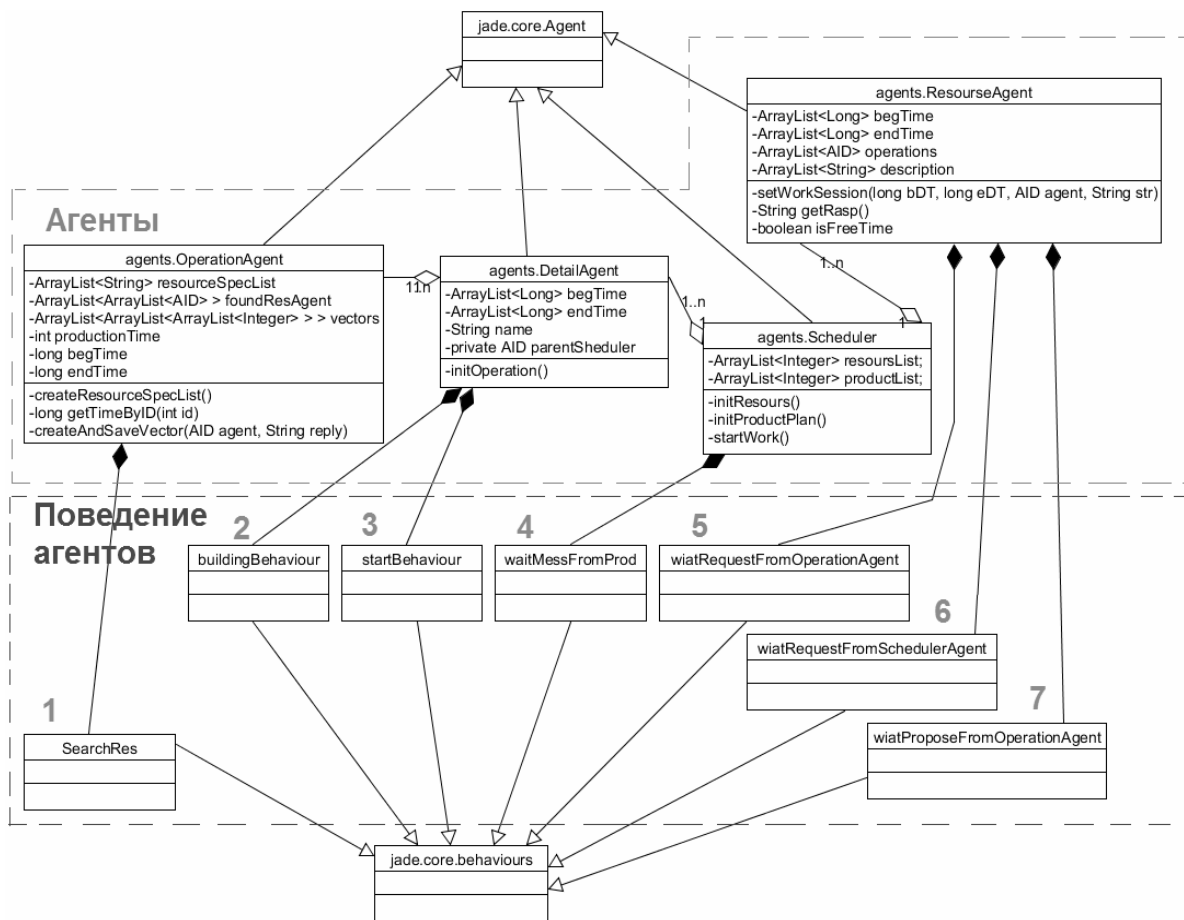


Рис. 3. Диаграмма классов агентов и их поведений для задачи управления ресурсами при календарном планировании производства

```

Деталь: Деталь_2 Номер задания: 4
08:00 - 08:50 : Токарная операция. Ресурсы: Токарь_1 Токарный_станок_1
08:50 - 09:20 : Слесарная операция. Ресурсы: Слесарь_2 Слесарный_станок_2
09:20 - 10:20 : Сверлильная операция. Ресурсы: Сверловщик_1 Сверлильный_станок_2
10:20 - 11:50 : Токарная операция. Ресурсы: Токарь_1 Токарный_станок_1
11:50 - 12:20 : Шлифовальная операция. Ресурсы: Шлифовщик_2 Шлифовальный_станок_1
-----
Деталь: Деталь_2 Номер задания: 2
08:00 - 08:50 : Токарная операция. Ресурсы: Токарь_2 Токарный_станок_2
08:50 - 09:20 : Слесарная операция. Ресурсы: Слесарь_1 Слесарный_станок_1
09:20 - 10:20 : Сверлильная операция. Ресурсы: Сверловщик_2 Сверлильный_станок
10:20 - 11:50 : Токарная операция. Ресурсы: Токарь_2 Токарный_станок_2
11:50 - 12:20 : Шлифовальная операция. Ресурсы: Шлифовщик_1 Шлифовальный_станок_2
-----
Деталь: Деталь_1 Номер задания: 1
08:50 - 10:20 : Токарная операция. Ресурсы: Токарный_станок_1 Токарь_1
10:20 - 11:20 : Слесарная операция. Ресурсы: Слесарь_2 Слесарный_станок_2
11:20 - 12:00 : Фрезерная операция. Ресурсы: Фрезеровщик_2 Фрезерный_станок_1
12:00 - 13:00 : Токарная операция. Ресурсы: Токарь_1 Токарный_станок_1
13:00 - 13:30 : Шлифовальная операция. Ресурсы: Шлифовщик_2 Шлифовальный_станок_1
-----
Деталь: Деталь_1 Номер задания: 3
08:50 - 10:20 : Токарная операция. Ресурсы: Токарный_станок_2 Токарь_2
10:20 - 11:20 : Слесарная операция. Ресурсы: Слесарь_1 Слесарный_станок_1
11:20 - 12:00 : Фрезерная операция. Ресурсы: Фрезеровщик_1 Фрезерный_станок_2
12:00 - 13:00 : Токарная операция. Ресурсы: Токарь_2 Токарный_станок_2
13:00 - 13:30 : Шлифовальная операция. Ресурсы: Шлифовщик_1 Шлифовальный_станок_2
-----
Общая длительность изготовления всех деталей: 5 часов 30 мин.

```

Рис. 4. Фрагмент календарного плана по деталям

```

РЕСУРСЫ:
Токарь_2
08:00 - 08:50 : Токарная операция (Токарь_2 Токарный_станок_2 )
08:50 - 09:40 : Токарная операция (Токарь_2 Токарный_станок_2 )
11:10 - 12:40 : Токарная операция (Токарь_2 Токарный_станок_2 )
12:40 - 14:10 : Токарная операция (Токарь_2 Токарный_станок_2 )
-----
Токарь_1
08:00 - 09:30 : Токарная операция (Токарь_1 Токарный_станок_1 )
09:30 - 11:00 : Токарная операция (Токарь_1 Токарный_станок_1 )
11:10 - 12:10 : Токарная операция (Токарь_1 Токарный_станок_1 )
12:40 - 13:40 : Токарная операция (Токарный_станок_1 Токарь_1 )
-----
Токарный_станок_1
08:00 - 09:30 : Токарная операция (Токарь_1 Токарный_станок_1 )
09:30 - 11:00 : Токарная операция (Токарь_1 Токарный_станок_1 )
11:10 - 12:10 : Токарная операция (Токарь_1 Токарный_станок_1 )
12:40 - 13:40 : Токарная операция (Токарный_станок_1 Токарь_1 )
-----
Токарный_станок_2
08:00 - 08:50 : Токарная операция (Токарь_2 Токарный_станок_2 )
08:50 - 09:40 : Токарная операция (Токарь_2 Токарный_станок_2 )
11:10 - 12:40 : Токарная операция (Токарь_2 Токарный_станок_2 )
12:40 - 14:10 : Токарная операция (Токарь_2 Токарный_станок_2 )
-----

```

Рис. 5. Фрагмент календарного плана в разрезе имеющихся ресурсов

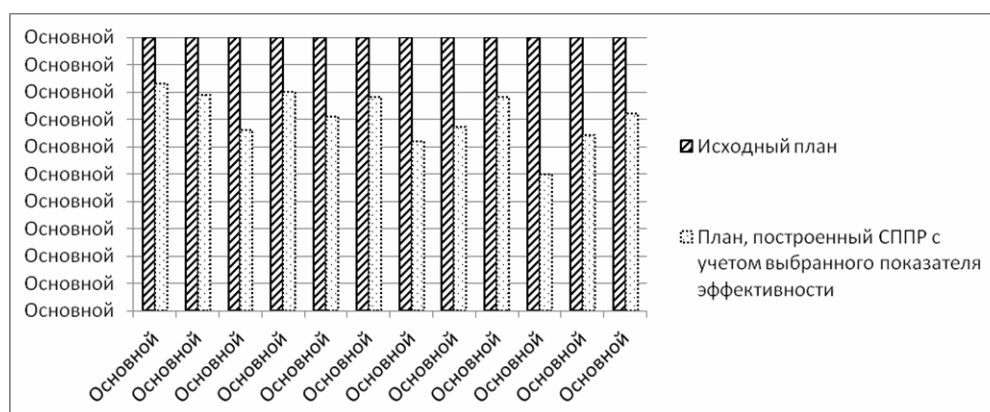


Рис. 6. Результаты оценки эффективности решения задачи календарного планирования по показателю суммарное время выполнения плана работ

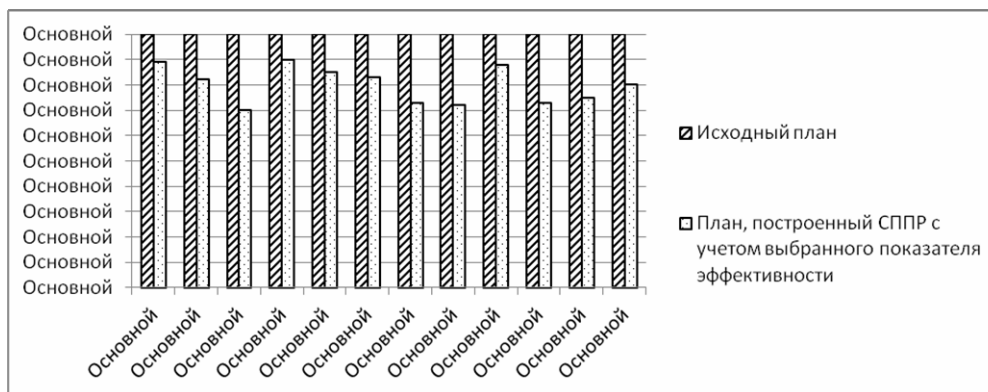


Рис. 7. Результаты оценки эффективности решения задачи календарного планирования по показателю непроизводительные простои, связанные с изготовлением деталей

Заключение

Рассмотрено применение интеллектуальных технологий (многоагентного подхода и онтологических моделей) для управления ресурсами в задаче календарного планирования производства. Представлена постановка задачи календарного планирования производства. Для учета семантических ограничений предметной области разработана онтологическая модель, которая положена в основу информационного обеспечения СППР. Приведена диаграмма классов разработанного прототипа СППР, включающая основные сущности предметной области: деталь, операция, ресурс. Разработанные модели и алгоритмы апробированы, результаты апробации позволяют судить о работоспособности и эффективности предлагаемых алгоритмов.

Библиографические ссылки

1. Huang T., Yasuda K. Comprehensive review of literature survey articles on ERP, Business Process Management Journal, 2016, Vol. 22, no. 1. Pp. 2-32.
2. Haddara M., Zach O. ERP systems in SMEs: An extended literature review, International Journal of Information Science. 2012. Vol. 2, no. 6. Pp. 106-116.
3. Гаифуллин Б. Н., Обухов И. А. Автоматизированные системы управления предприятиями стандарта ERP/MRPII. М. : Богород. печатник, 2000. 103 с.
4. Симонова Л. А., Руднев М. П. Интегрированное информационное обеспечение процесса управления технологическими маршрутами в рамках ERP-системы. М. : Академия, 2005. 284 с.
5. О'Лири Д. ERP-системы. Современное планирование и управление ресурсами предприятия. М. : Вершина, 2004. 272 с.
6. Фирсов М. В. Концепция создания ERP-систем. М. : ТЕИС, 2004. 93 с.
7. Фролов Е. Б., Загидуллин Р. Р. MES-системы. MES-системы как они есть, или Эволюция систем планирования производства. Ч. I. Ч. II. URL: <http://erpnews.ru/doc2592.html>, <http://erpnews.ru/doc2593.html> (дата обращения: 03.08.2018).

8. Загидуллин Р. Р. Управление машиностроительным производством с помощью систем MES, APS, ERP. Старый Оскол : ТНТ, 2011. 372 с.

9. Характеристика и функции MES-системы ФОБОС. URL: <http://www.fobos-mes.ru/fobos-system/MES-system-characteristic-and-functions.html> (дата обращения: 03.08.2018).

10. Гольфстрим. В фокусе – производство. Производственное планирование. URL: <http://gulfstream-mrp.ru/functions/planning/> (дата обращения: 03.08.2018).

11. MES-система для машиностроения PolyPlan. URL: <http://www.fobos-mes.ru/sistema-polyplan/mes-sistema-dlya-mashinostroeniya-polyplan.html> (дата обращения: 03.08.2018).

12. Скобелев П. О. Интеллектуальные системы управления ресурсами в реальном времени: принципы разработки, опыт промышленных внедрений и перспективы развития // Приложение к журналу «Информационные технологии». 2013. № 1. С. 1–32.

13. Kovacs G., Yussupova N., Rizvanov D. Resource management simulation using multi-agent approach and semantic constraints. Pollack Periodica, vol. 12, no. 1, 2017. Pp. 45–58.

14. 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. URL: <http://www.science-education.ru/113-11301> (дата обращения: 03.08.2018).

15. Kovacs G., Yussupova N., Rizvanov D. Resource management simulation using multi-agent approach and semantic constraints. Pollack Periodica, vol. 12, no. 1, 2017. Pp. 45–58.

16. Ризванов Д. А., Юсупова Н. И. Основы поддержки принятия решений при управлении ресурсами в сложных системах с применением интеллектуальных технологий // Современные наукоемкие технологии. 2017. № 1. С. 69–73.

17. 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. URL:

<http://www.science-education.ru/113-11301> (дата обращения: 03.08.2018).

18. Ризванов Д. А., Юсупова Н. И. Основы поддержки принятия решений при управлении ресурсами в сложных системах с применением интеллектуальных технологий // Современные наукоемкие технологии. 2017. № 1. С. 69–73.

References

1. Huang T., Yasuda K. Comprehensive review of literature survey articles on ERP, Business Process Management Journal. 2016. Vol. 22, no. 1. Pp. 2-32.

2. Haddara M., Zach O. ERP systems in SMEs: An extended literature review, International Journal of Information Science. 2012. Vol. 2, no. 6. Pp. 106-116.

3. Gajfullin B.N., Obuhov I.A. *Avtomatizirovannye sistemy upravleniya predpriyatijami standarta ERP/MRP II* [Automated enterprise management systems standard ERP/MRP II]. Moscow, Bogorod. pechatnik Publ., 2000, 103 p. (in Russ.).

4. Simonova L.A., Rudnev M.P. *Integrirovannoe informacionnoe obespechenie processa upravleniya tehnologicheskimi marshrutami v ramkah ERP-sistemy* [Integrated information support of the process of technological routes management within the ERP system]. Moscow, Akademija Publ., 2005, 284 p. (in Russ.).

5. O'Leary D. *ERP-sistemy. Sovremennoe planirovanie i upravlenie resursami predpriyatiya* [ERP-systems. Modern planning and management of enterprise resources]. Moscow, Vershina Publ., 2004, 272 p. (in Russ.).

6. Firsov M.V. *Koncepcija sozdaniya ERP-sistem* [The concept of creating ERP-systems]. Moscow, TEIS Publ., 2004, 93 p. (in Russ.).

7. Frolov E.B., Zagidullin R.R. *MES-sistemy. MES-sistemy, kak oni est' ili jevoljucija sistem planirovanija proizvodstva. Chast' I, Chast' II* [MES systems. MES-systems as they are or the evolution of production planning systems. Part I, Part II] (in Russ.). Available at: <http://erpnews.ru/doc2592.html>, <http://erpnews.ru/doc2593.html>. (accessed 03.08.2018).

8. Zagidullin R.P. *Upravlenie mashinostroitel'nyh proizvodstvom s pomoshh'ju sistem MES, APS, ERP* [Management of engineering production using MES, APS, ERP systems]. Staryj Oskol, TNT Publ., 2011, 372 p. (in Russ.).

9. *Harakteristika i funkcii MES-sistemy FOBOS* [Characteristics and functions of the Phobos MES sys-

tem] (in Russ.). Available at: <http://www.fobos-mes.ru/fobos-system/MES-system-characteristic-and-functions.html> (accessed 03.08.2018).

10. *Gol'fstrim. V fokuse – proizvodstvo. Proizvodstvennoe planirovanie* [Gol'fstrim Production is in focus. Production Planning] (in Russ.). Available at: <http://gulfstream-mrp.ru/functions/planning/> (accessed 03.08.2018).

11. *MES-sistema dlja mashinostroenija PolyPlan* [MES-system for mechanical engineering PolyPlan] (in Russ.). Available at: <http://www.fobos-mes.ru/sistema-polyplan/mes-sistema-dlya-mashinostroeniya-polyplan.html> (accessed 03.08.2018).

12. Skobelev P.O. [Real-Time Intellectual Resource Management Systems: Principles of Development, Experience of Industrial Implementation and Development Prospects]. *Prilozhenie k zhurnalu Informacionnye tehnologii*, 2013, no. 1, pp. 1-32 (in Russ.).

13. Kovacs G., Yussupova N., Rizvanov D. Resource management simulation using multi-agent approach and semantic constraints. *Pollack Periodica*, vol. 12, no. 1, 2017. Pp. 45-58.

14. Chernyshev E.S., Rizvanov D.A. [Mathematical and information support for resource management in scheduling production processes]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovanija*, 2013, no. 6. (in Russ.). Available at: <http://www.science-education.ru/113-11301> (accessed: 25.12.2013).

15. Kovacs G., Yussupova N., Rizvanov D. Resource management simulation using multi-agent approach and semantic constraints. *Pollack Periodica*, vol. 12, no. 1, 2017. Pp. 45-58.

16. Rizvanov D.A., Jusupova N.I. [Basis of a decision support in the management of resources in complex systems with using intelligent technologies]. *Sovremennye naukoemkie tehnologii*, 2017, no. 1, pp. 69-73 (in Russ.).

17. Chernyshev E.S., Rizvanov D.A. [Mathematical and information support for resource management in scheduling production processes]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovanija*, 2013, no. 6. (in Russ.). Available at: <http://www.science-education.ru/113-11301> (accessed: 25.12.2013).

18. Rizvanov D.A., Jusupova N.I. [Basis of a decision support in the management of resources in complex systems with using intelligent technologies]. *Sovremennye naukoemkie tehnologii*, 2017, no. 1, pp. 69-73 (in Russ.).

Application of Intelligent Resource Management Technologies in the Production Scheduling

D. A. Rizvanov, PhD in Economics, Associate Professor, Ufa State Aviation Technical University, Ufa, Russia

N. I. Yussupova, DSc in Engineering, Professor, Ufa State Aviation Technical University, Ufa, Russia

The application of intelligent technologies for the resource management problem solving in manufacturing scheduling is considered in this paper. A mathematical model of resource management problem in manufacturing scheduling is presented. It is proposed to use the integration of multi-agent and ontological approaches to solve this problem. The main agents are emphasized as "part", "operation" and "resource". The developed ontological model allows for storing the basic entities of the subject domain. It is used to present ill-formalized semantic constraints of the subject domain and serves as the basis for dataware of the Decision Support System (DSS). The agents behavior and interaction algorithms were developed. The software of the DSS prototype for resource management in manufacturing scheduling was implemented on the basis of the multi-agent JADE platform. Fragments of output forms of the prototype operation are shown that represent the schedule of parts production. It is possible to show this schedule both for parts and available resources. Results of an efficiency estimation of DSS using for manufacturing scheduling are presented for parameters that characterize the total time of schedule execution and non-production idle-time related to production of parts.

Keywords: scheduling, resource management, intellectual technologies, multi-agent system, decision-making support.

Получено: 10.10.18