УДК 338.984

МУЛЬТИАГЕНТНЫЙ МЕТОД ПОСТРОЕНИЯ СМЕННО-СУТОЧНЫХ ЗАДАНИЙ ДЛЯ ЗАДАЧИ ПЛАНИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ РЕСУРСОВ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ

***А. Н. Лада*[а,б]**, *руководитель проекта*

***И. В. Майоров*[б]**, *аналитик*

[а]*ООО «Научно-производственная компания «Интеллектуальные Транспортные Системы», Самара, РФ*

[б]*Институт проблем управления сложными системами РАН, Россия, г. Самара*

Постановка проблемы: Задача согласованного управления производственными ресурсами предприятий, производящих электротехническую продукцию – комплексная проблема, обладающая высоким уровнем сложности ввиду разнообразия типов используемых ресурсов, зависимости производственных процессов от множества факторов и условий. Традиционные методы планирования для решения этой проблемы оказываются недостаточно эффективными. **Цель исследования:** на основе мультиагентного подхода разработать метод оперативного планирования производства электротехнического оборудования. **Результаты:** разработан мультиагентный метод построения сменно-суточных заданий для планирования производственных ресурсов предприятия, производящего электротехническую продукцию, на основе онтологии предметной области, заданных критериев, предпочтений и ограничений. Заказы состоят из связанных операций, описываемых технологическими картами. В итерационном процессе обмена сообщениями агенты планировщика улучшают текущие значения критериев равномерности загрузки и минимизации времени выполнения для построения сменно-суточных заданий. Разработанный метод планирования производственных ресурсов позволяет строить расписания выполнения связанных операций в системе ресурсов по событиям реального времени. При выполнении пула заказов на предприятии ООО «ПК «Электрум» (г. Самара) была обеспечена равномерность загрузки оборудования и исполнителей, а также

снижено на 10% количество задержек выполнения заказов. **Практическая значимость:** система, разработанная на основе предлагаемого метода, может работать автономно или совместно с имеющейся системой складского учета материалов и готовой продукции. Подход не ограничен рамками описанной предметной области и применим в других отраслях, требующих решения аналогичных производственных задач. Ожидается получение экономического эффекта за счет снижения простоев производственных ресурсов и повышения показателей их эффективности.

Ключевые слова – предметная область, электротехническая продукция, мультиагентные методы, управление производственными ресурсами, онтология производственного предприятия, планирование в реальном времени.

Введение

Современные системы управления производственными процессами должны обеспечивать не только планирование материальных, трудовых, финансовых ресурсов, но также и учитывать комплексный характер взаимодействия различных подразделений и взаимное согласование планов с учетом окружающей обстановки [1-4]. Внешние события, заключающиеся в приходе новых заказов, изменения требований и характеристик уже запланированных, пересмотр сроков поставок материалов, а также разница, возникающая при фактическом выполнении, приводят к необходимости перерасчета существующих и утвержденных планов. В связи с этим, традиционные методы планирования, использующие многочисленные методы дискретной оптимизации, теории расписаний и эвристики [5-10], не вполне подходят к современным задачам, для которых необходим постоянный пересчет планов по внешним и внутренним событиям, поскольку на практике приходится прибегать к упрощениям в постановках задач, не все ограничения и факторы могут быть учтены и т.п. В таких случаях более соответствует реальности мультиагентный подход, с помощью которого создаются системы производственного планирования, управления проектами, транспортной логистики и во многих других областях [11-19].

Постановка задачи начального планирования производственных ресурсов

Пусть имеем набор заказов на производство изделий O_n, $n = 1, s$ и набор производственных ресурсов (станки и другое оборудование) R_j, $j = 1, m$. Каждый заказ характеризуется технологической картой, с описанием всех деталей D^i_k, $k = 1, p$, которые также могут состоять из других деталей (возникает многоуровневая вложенность). Каждая деталь D^i_k, описывается материалами M^{ik}_z, $z = 1, q$, из которых она изготавливается, и упорядоченным набором технологических операций TO^{ik}_j, $j = 1, m$, которые требуется произвести с материалом и/или другой деталью на ресурсе R_j за известное время обработки детали TD^{ik}_j. В общем виде технологическая карта описывается следующей структурой:

$[O_n]$
  $\{[D^n_1]$
    $[M^{n,1}_1]$
    $[M^{n,1}_q]$
    $\{[D^{n,1}_1]$
      $[M^{n,1,1}_1]$
      $[M^{n,1,1}_q]$
      $\{[D^{n,1,1,,,}_p]\}$
      $[TO^{n,1,1}_1]$ $[R_1]$ $[TD^{n,1,1}_1]$
      $[TO^{n,1,1}_m]$ $[R_m]$ $[TD^{n,1,1}_m]\}$
    $\{[D^{n,1}_p]\}$
    $[TO^{n,1}_1]$ $[R_1]$ $[TD^{n,1}_1]$
    $[TO^{n,1}_m]$ $[R_m]$ $[TD^{n,1}_m]\}$
  $\{[D^n_p]\}$

Для каждого ресурса R_j, задано ежесуточное временное окно $[TRs_j; TRf_j]$ доступности этого ресурса для работы (рабочая смена станка), с учетом режима труда и отдыха рабочих, которые на них работают. Одна и та же деталь не может обрабатываться на нескольких ресурсах одновременно, т.е. пока она обрабатывается на одном ресурсе, второй будет свободен и может быть использован для обработки другой детали. Требуется составить сменно-суточный план работы для каждого ресурса R_j по производству всех заказов O_i, согласно их технологическим картам, с минимальным простоем ресурсов R_j. При планировании, кроме производственных мощностей (оснастки, комплектующих и материалов), требуется учет календарей доступности исполнителей в подразделениях, их квалификации и специализации. Предприятию в целом необходимо поддерживать равномерность загрузки оборудования,

подразделений и исполнителей, не допуская простоев. В отличие от существующих MES систем, вся информация об оборудовании, исполнителях, календарях, структурах ресурсов хранится в базе знаний на основе онтологии производства [20]. Таким образом, необходимо сквозное многокритериальное планирование заказов на ресурсах в вертикальных и горизонтальных структурах по входящим внешним и внутренним событиям.

Метод решения задачи построения начального плана

Для решения задачи построения первоначального расписания предлагается использовать «жадный» итерационный метод, где детали всех заказов распределяются по производственным ресурсам последовательно согласно следующему алгоритму: заказы O_i обрабатываются последовательно от 1 до *s*. Из всех деталей D^i_k *i*-го заказа вначале выбираются те, что лежат на самом низком уровне технологической карты, затем уровнем выше и так далее, до самого верхнего уровня. Детали, лежащие на одном уровне, обрабатываются последовательно, согласно их порядковому номеру в уровне, с учетом последовательного выполнения технологических операций TO^{ik}_j на ресурсах R_j. При планировании операций каждой детали проверяется наличие необходимых материалов M^{ik}_z, требующихся для производства детали, в случае их недостатка деталь пропускается. Анализируются свободные места в расписании нужного ресурса с учетом окна доступности его текущей смены работы [TRs_j; TRf_j] и в первую очередь заполняются свободные места, образовавшиеся за счет планирования предыдущих операций, начиная с самой ранней. Если длительность свободного места не достаточна для выполнения операции, то анализируется следующее свободное место. В худшем случае, если не удалось встроиться ни в одно доступное свободное место, операция встает в самый конец плана. Если с учетом ее постановки происходит выход за пределы окна работы текущей смены ресурса [TRs_j; TRf_j], она становится первой на следующей доступной смене данного ресурса. Все детали последующих заказов обрабатываются аналогичным образом. Алгоритм повторяется до тех пор, пока все операции деталей всех заказов не будут распределены по всем ресурсам с учетом их смен работы.

Пример решения задачи построения начального плана

Для решения задачи построения начального плана рассмотрим пример планирования двух заказов O_1 и O_2 на изготовление узла фиксации трансформатора для трансформаторной подстанции КТПН-УХЛ1 и рычага включения к ней. Технологическая карта для данных заказов имеет вид:

[O_1] Узел фиксации трансформатора КТПН-УХЛ1
{[D^1_1] Швеллер 001
[$M^{1,1}_1$] Лист 4,0 ГОСТ 1050-13 1,5 кг
{[$D^{1,1}_1$] Швеллер 001-01
[$M^{1,1,1}_1$] Лист 4,0 ГОСТ 1050-13 1 кг
[$TO^{1,1,1}_1$] Раскрой металла [R_1] Лазерный комплекс [$TD^{1,1,1}_1$] 60 сек
[$TO^{1,1,1}_2$] Гибка [R_2] Пресс гидравлический листогиб [$TD^{1,1,1}_2$] 60 сек
[$TO^{1,1}_1$] Раскрой металла [R_1] Лазерный комплекс [$TD^{1,1}_1$] 80 сек
[$TO^{1,1}_2$] Гибка [R_2] Пресс гидравлический листогиб [$TD^{1,1}_2$] 60 сек}}
{[D^1_2] Швеллер 012-129
[$M^{1,2}_1$] Лист 3,0 ГОСТ 1050-13 2,5 кг
[$TO^{1,2}_3$] Резка [R_3] Ленточнопильный станок [$TD^{1,2}_3$] 120 сек}
[O_2] Рычаг включения трансформатора КТПН-УХЛ1
{[D^2_1] Фланец 019
[$M^{2,1}_1$] Лист 6,0 ГОСТ 14637-89 0,2 кг
[$TO^{2,1}_1$] Раскрой металла [R_1] Лазерный комплекс [$TD^{2,1}_1$] 50 сек
[$TO^{2,1}_2$] Гибка [R_2] Пресс гидравлический листогиб [$TD^{2,1}_2$] 70 сек}
{[D^2_2] Втулка 005-01
[$M^{2,2}_1$] Труба 30х6 ГОСТ 8734-75 0,2 кг
[$TO^{2,2}_3$] Резка [R_3] Ленточнопильный станок [$TD^{2,2}_3$] 160 сек}

Для простоты будем полагать, что все производственные ресурсы (в нашем примере их 3) доступны для работы круглосуточно (временные окна [TRs_j; TRf_j] не ограничены), а также есть в наличии и в нужном количестве все производственные материалы, требуемые в технологических картах.

Распределение обработки деталей по станкам начинается с самого глубокого уровня технологической карты, в нашем примере это деталь ***Швеллер 001-01,*** она раскраивается на лазерном комплексе за 60сек, после чего переходит на пресс гидравлический листогиб, где гнется также 60 сек. Далее переходим на уровень выше и планируем родительскую деталь ***Швеллер 001,*** она в свою очередь, раскраивается и гнётся, но только после предыдущей дочерней детали, поставим ее в план выполнения по станкам, и запланируем последнюю деталь

Швеллер 012-129. Она обрабатывается на другом отдельном ресурсе и никак не зависит от предыдущих двух деталей, поэтому поставим ее в план первой, полученное расписание представим диаграммой загрузки ресурсов (Рис. 1).

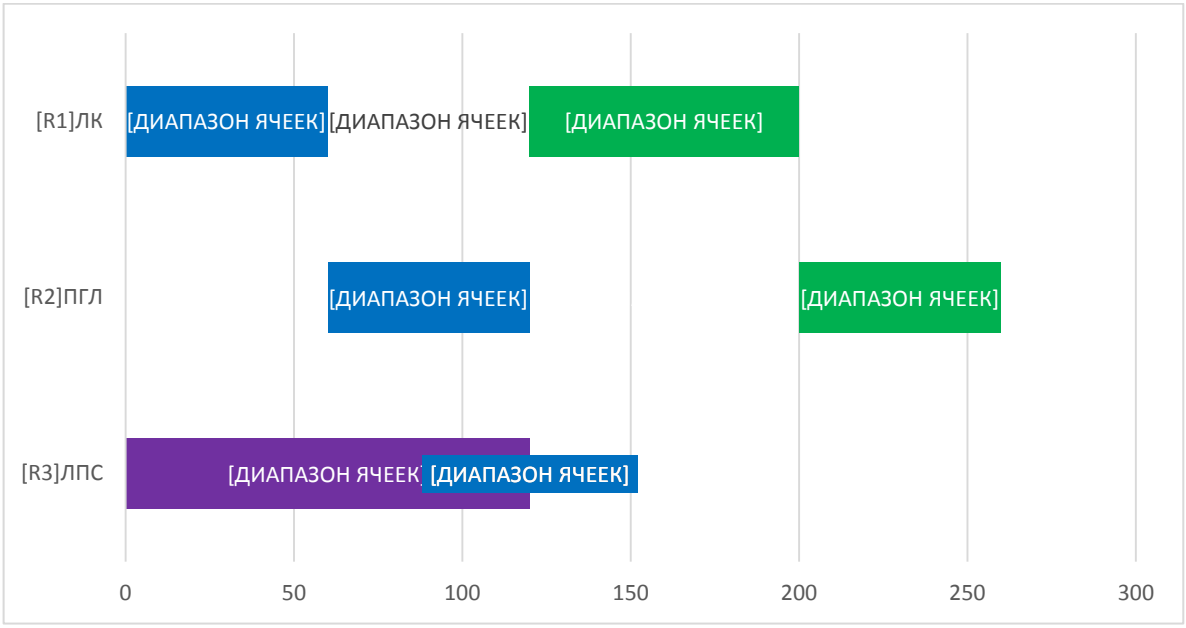

Рис. 1. Диаграмма первоначального распределения операций по ресурсам

Fig. 1. The diagram of the initial operations on resources allocation

Перейдем к планированию заказа O_2, который мы получили одновременно с первым, мы должны максимально использовать свободные области в уже имеющемся расписании, построенном после планирования первого заказа. Заказ O_2 состоит из двух деталей, которые изготавливаются на одном уровне, поэтому порядок их обработки не важен. Начинаем с детали ***Фланец 019***, она раскраивается на лазерном комплексе за 50 сек, ищем первое свободное место на ресурсе R_1, есть свободное место после обработки детали ***Швеллер 001-01*** продолжительностью 60 сек, времени хватает, поэтому ставим деталь в эту область. Далее ***Фланец 019*** требуется обработать на R_2 за время 70 сек, ищем первое свободное место на ресурсе R_2, после момента окончания обработки на R_1. Пустой участок в самом начале длиною 60 сек, нам не подходит, идем дальше находим место после детали ***Швеллер 001-01*** длиной 80 сек, ставим ***Фланец 019*** туда. Обрабатываем последнюю деталь ***Втулка 005-01***, она обрабатывается только на R_3 за время 160 сек, находим ближайшее свободное место нужной длины после ***Швеллер 012-129*** и ставим деталь туда. Новое расписание загрузки ресурсов показано на Рис. 2.

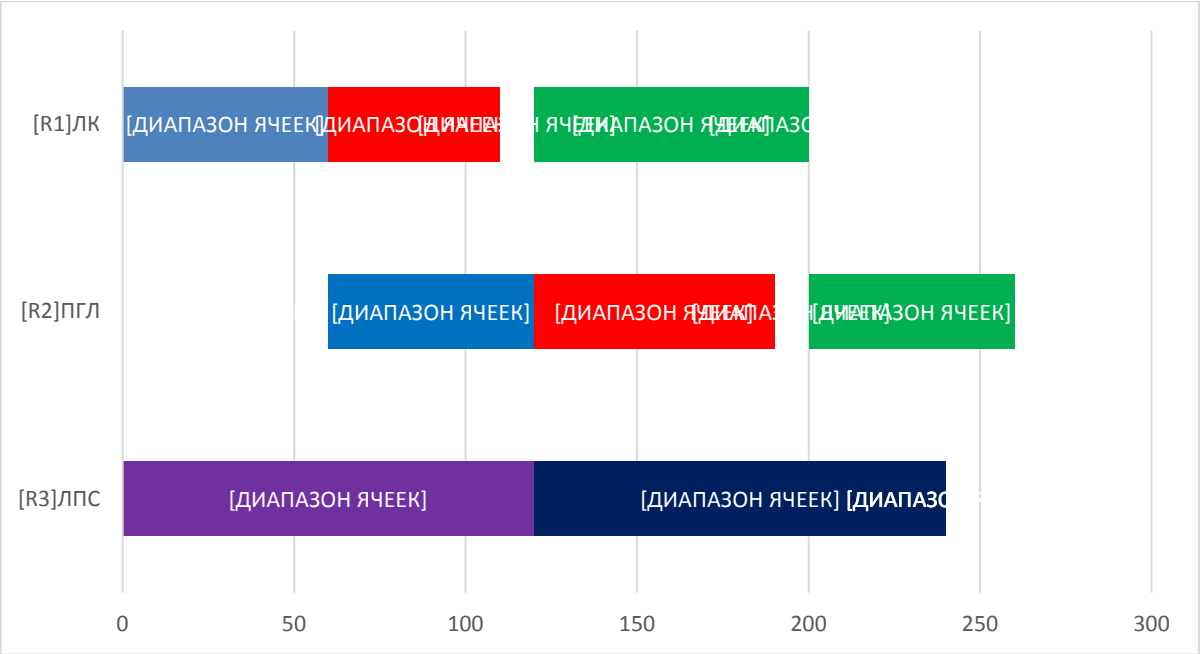

Рис. 2. Диаграмма планирования заказа O_2.

Fig. 2. The diagram of scheduling order O_2.

Динамическое перепланирования по фактическим событиям

Задача построения динамического плана по фактическим событиям в реальном времени является более сложной, чем статическая задача построения начального плана. В такой задаче подразумевается, что ее условия могут произвольно динамически меняться с течением времени, могут быть добавлены новые заказы, отменены или частично изменены уже известные заказы, стать недоступными ресурсы, но чаще всего могут возникать задержки при выполнении уже существующего плана, что требует его адаптивной перестройки.

Разрабатываемый нами подход основан на сопоставлении заказам и ресурсам программных агентов с их локальными и зачастую противоположными интересами, способных реагировать на изменения состава заказов и ресурсов, выявлять конфликты в расписании, принимать решения и взаимодействовать между собой для разрешения конфликтов и поиска компромиссов путём переговоров (взаимных уступок) [17,19,20]. Это позволяет находить согласованные решения и поддерживать баланс интересов агентов и всей системы, в общем случае представляющий многокритериальную целевую функцию. С каждым ресурсом R_j связан агент ресурса, с каждой деталью D^i_k — агент детали. Агенты могут отправлять и получать сообщения и принимать

решения согласно своей логике и текущей ситуации, которая определяется состоянием каждого агента. Текущие состояния агентов изменяются в моменты поступления заказов и фиксации внешних фактических событий.

При поступлении нового заказа создаются агенты деталей согласно технологической карте этого заказа. Они рассылают запрос на свое размещение на агентах ресурсов, которые, в свою очередь, анализируют свое текущее состояние, наличие свободных окон, оценивают свою загрузку, предлагают свободные места для размещения агентам деталей. Агент детали стремится запланировать себя на нужных ресурсах как можно раньше. Агент ресурса R_j, в свою очередь, стремится быть постоянно загруженным и минимизировать образующиеся простои внутри рабочей смены $[TRs_j; TRf_j]$, которые рассчитываются по формуле:

$$Dtime^j = TRf^j - TRs^j - \sum_{k=1}^{p} TD_k^j,$$

где $k=(1, ..., p)$ – индексы размещенных деталей заказов на ресурсе R_j, $TD^j{}_k$ – продолжительность обработки этих деталей. Глобальная целевая функция планирования F определяется как суммарное время простоя всех ресурсов:

$$F = \{P \to max, \sum_{j=1}^{m} Dtime^j \to min\},$$

где P – общее число запланированных деталей на всех ресурсах. При улучшении глобальной целевой функции (F – число распределенных деталей и суммарное время простоя ресурсов) текущий вариант распределения деталей по ресурсам принимается в качестве рабочей версии плана, после чего агенты не размещенных и плохо размещенных деталей пробуют улучшить свое положение на ресурсах за счет переговоров с другими деталями с просьбой о «подвижках». Если в результате этих переговоров глобальная целевая функция улучшилась, новая версия плана принимается в качестве рабочей и процесс повторяется до тех пор, пока не перестанут поступать новые фактические события или новые переговоры не будут приводить к глобальному улучшению.

Пример динамического перепланирования по фактическим событиям

Рассмотрим построенный в пункте 3 начальный план и предположим, что теперь мы будем каким-то образом (например, с помощью терминалов рабочих) фиксировать фактические события о завершении обработки каждой детали на

каждом ресурсе, после чего последующий план нужно будет адаптивно перестраивать. Для простоты будем отсчитывать время от 0.

Пусть в момент времени T_{70} наступило событие завершения изготовления детали ***Швеллер 001-01*** на ресурсе R_1 (ожидалось, что изготовление завершится в T_{60}). В результате реакции на данное событие все расписание на ресурсе R_1 сдвигается на 10 сек вправо. Поскольку деталь ***Швеллер 001-01*** обрабатывается также на ресурсе R_2 после R_1, расписание на R_2 также сдвинется вправо на 10 сек. С учетом всех изменений расписание примет вид, показанный на Рис 3.

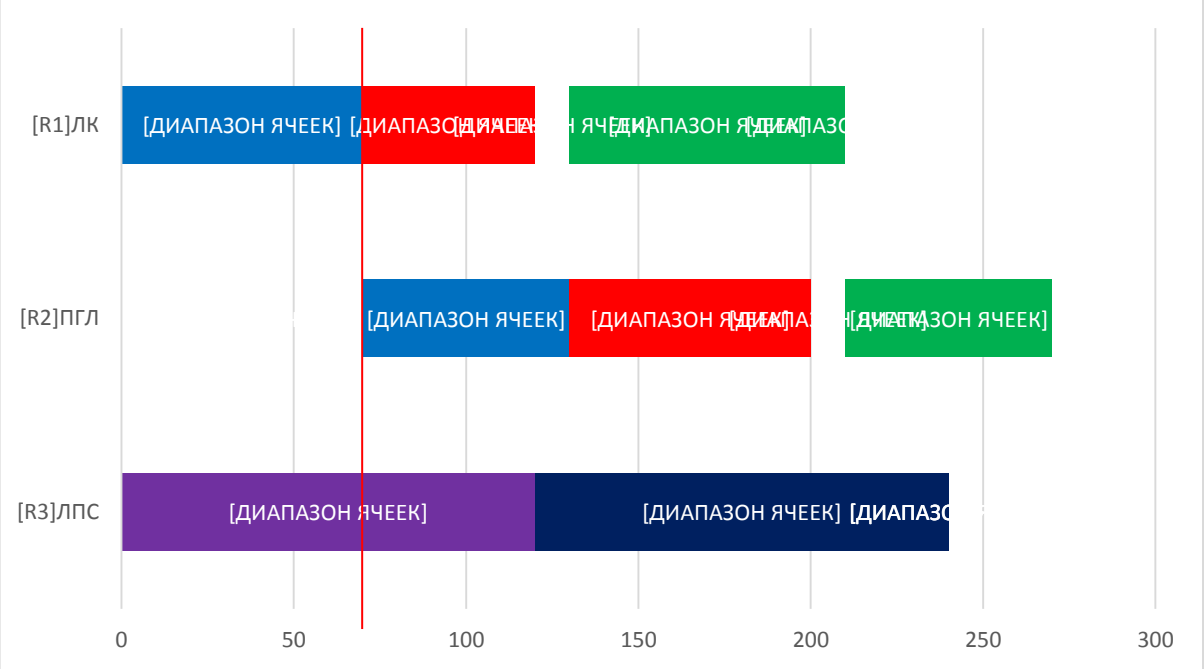

Рис. 3. Реакция системы планирования на событие завершения изготовления T_{70}

Fig. 3. The diagram of scheduling system reaction for the completion event of T_{70}

Пусть в момент времени T_{100} наступило событие завершения изготовления детали ***Фланец 019*** на ресурсе R_1 и ***Швеллер 001-01*** на ресурсе R_2. В результате более раннего завершения этих операций, можно начать последующие операции раньше. Новая версия плана приведена на Рис.4.

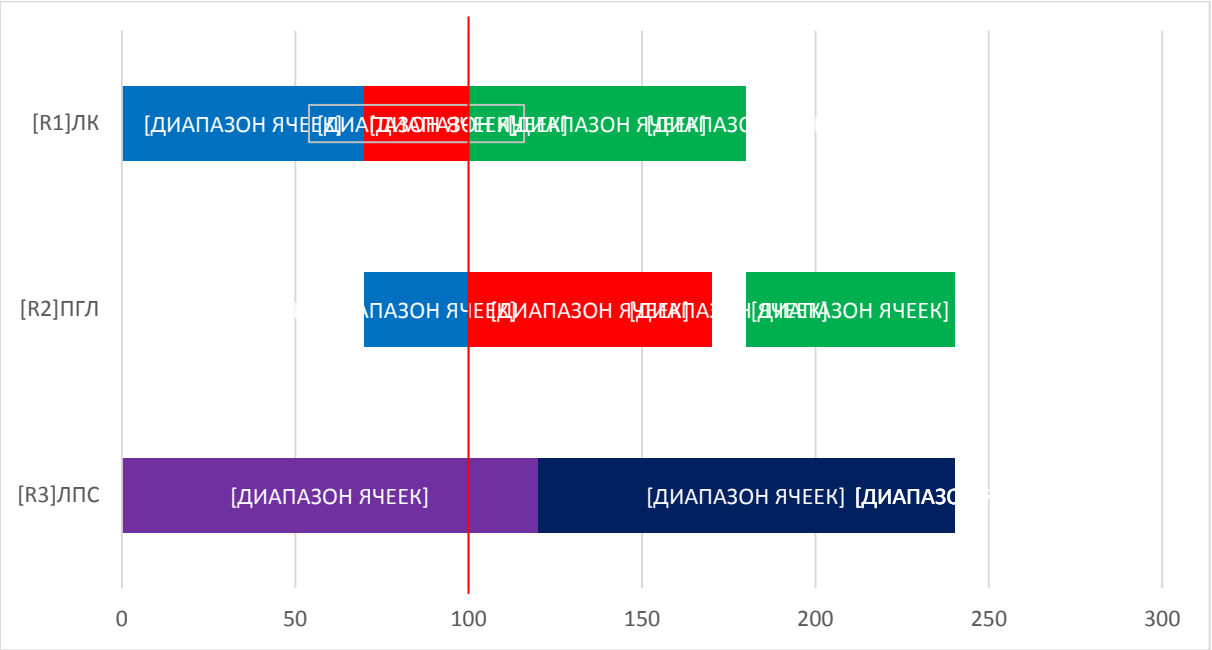

Рис. 4. Расписание после события перепланирования T_{100}

Fig. 4. The diagram of the schedule after the rescheduling event of T_{100}

Пусть в момент времени T_{180} наступило событие завершения изготовления детали ***Швеллер 001*** на ресурсе R_1 и детали ***Фланец 019*** на ресурсе R_2, но обработка детали ***Швеллер 012-129*** на ресурсе R_3 еще не завершена. В результате, перестроим расписание на всех трех ресурсах и получим новую версию плана, представленную на Рис. 5.

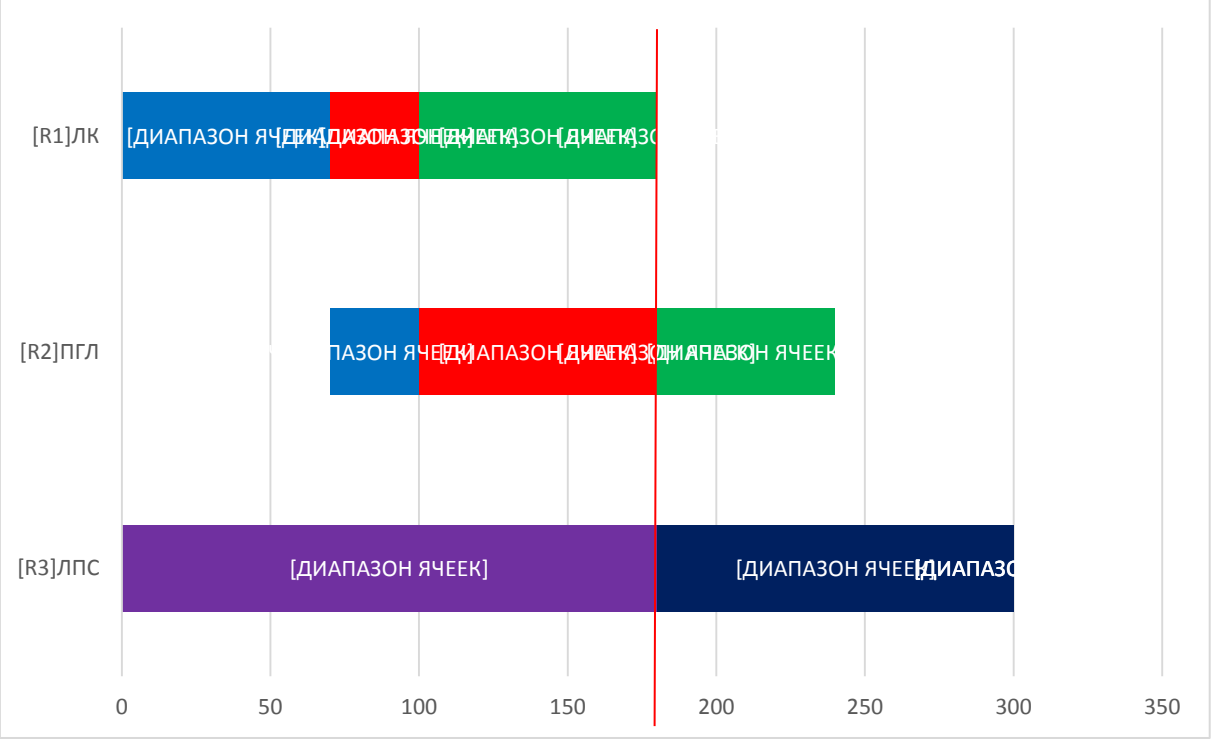

Рис. 5. Стабилизированный план после учета событий перепланирования

Fig. 5. The diagram of the stabilized schedule after considering all events

При сравнении версий плана, полученных после фазы начального планирования (в момент времени T_0) и по ходу его выполнения, можно сделать вывод, что операции распределены по ресурсам с обеспечением минимального простоя ресурсов по событиям реального времени

Заключение

Применение рассмотренного метода позволит создавать интеллектуальные системы управления процессами производства в реальном времени. Ожидается получение экономического эффекта за счет снижения простоев ресурсов, в результате адаптивной перестройки сменно-суточных расписаний.

Систему, разработанную на основе предложенного подхода, используют на Самарском предприятии ООО «ПК «Электрум», где в результате внедрения была обеспечена равномерность загрузки оборудования и исполнителей, а также снижено на 10% количество задержек выполнения производственных заказов. Ввиду отсутствия в предлагаемом подходе непосредственной зависимости от предметной области производства электротехнической продукции, описанный метод можно применять в других отраслях, где используются технологические операции, требующие решения аналогичных задач планирования.

Статья подготовлена на основе материалов научных исследований в рамках Госбюджетной темы ИПУСС РАН № АААА-А16-116040410059-7 «Разработка и исследование моделей, методов и алгоритмов построения планов сменно-суточных заданий при производстве продукции в условиях неопределенности и высокой динамики изменений производственной обстановки».

Литература

1. **Framinan J.M., Leisten R., García R.R.** Manufacturing scheduling systems: an integrated view on models, methods and tools. London: Springer, 2014, 400 p.
2. **Leung J. Y. T**. (ed.). Handbook of scheduling: algorithms, models, and performance analysis. CRC Press, 2004, 1216 p.

3. **Pinedo M., Zacharias C., Zhu N.** Scheduling in the service industries: An overview //Journal of Systems Science and Systems Engineering, 2015, vol. 24, №. 1. P. 1-48.
4. **Sule D. R.** Production planning and industrial scheduling: examples, case studies and applications. CRC press, 2007, 560 p.
5. **Pinedo M.** Scheduling. Theory, Algorithms, and Systems. Springer, 2016, 676 p.
6. **Chapman S. N.** The fundamentals of production planning and control. Prentice Hall, 2006, 272 p.
7. **Driessel R., Mönch L.** Variable neighborhood search approaches for scheduling jobs on parallel machines with sequence-dependent setup times, precedence constraints, and ready times // Computers & Industrial Engineering, 2011, vol. 61, №. 2. P. 336-345.
8. **Mehrabi M. G., Ulsoy A. G., Koren Y.** Reconfigurable manufacturing systems: key to future manufacturing // Journal of intelligent manufacturing. – 2000, vol. 11, №. 4. P. 403-419.
9. **Лазарев А. А., Гафаров Е. Р.** Теория расписаний // Задачи и алгоритмы. М.: Физический факультет МГУ, 2011, 222 с.
10. **Wooldridge M.** An introduction to multiagent systems. John Wiley & Sons, 2009, 484 p.
11. **Jennings N. R., Wooldridge M. J.** (ed.). Agent Technology: Foundations, Applications, and Markets. Springer Science & Business Media, 2012, 325 p.
12. **Meisels A.** Distributed Search by Constrained Agents: algorithms, performance, communication. Springer Science & Business Media, 2008, 216 p.
13. **Виттих В. А., Моисеева Т. В., Скобелев П. О.** Принятие решений на основе консенсуса с применением мультиагентных технологий // Онтология проектирования, 2013, №. 2 (8). С. 20-25.
14. **Скобелев П.О.** Интеллектуальные системы управления ресурсами в реальном времени: принципы разработки, опыт промышленных

внедрений и перспективы развития // Приложение к теоретическому и прикладному научно-техническому журналу «Информационные технологии, 2013, №. 1. С. 1-32.

15. **Skobelev P. et al.** Practical Approach and Multi-Agent Platform for Designing Real Time Adaptive Scheduling Systems // Proceedings of the XII International Conference on Practical Applications of Agents and Multi-Agent Systems (PAAMS 2014), 4-6 June, 2014, Salamanca, Spain. CCIS 0430. Spinger, 2014. P. 1-12.
16. **Skobelev P.** Systems for Real Time Adaptive Resource Management. In Industrial Agents: Emerging Applications of Software Agents in Industry. Paulo Leitão, Stamatis Karnouskos (ed.). Elsevier, 2015. P. 207-230.
17. **Skobelev P.O., Lakhin O. I., Polnikov A.S., Simonova E. V.** Approach to the solution of aerospace product lifecycle management problem based on network-centric principles // V. Marik, et al. (eds). Proceedings of the 7th International Conference on Industrial Applications of Holonic and Multi-Agent Systems (HoloMAS'2015), September 2-4, 2015, Valencia, Spain. LNAI 9266. Springer, 2015. P. 169-178. http://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-319-22867-9_15. DOI: 10.1007/978-3-319-22867-9_15.
18. **Скобелев П.О. и др**. Оперативное управление ресурсами цехов предприятий на основе мультиагентного подхода // Труды XIX Международной конференции «Проблемы управления и моделирования в сложных системах», Самара, 12-15 сентября 2017 г. Самара: ОФОРТ, 2017. С. 474-485.
19. **Rzevski G., Skobelev P.** Managing complexity. Wit Press, 2014, 216 p.
20. **Baclawski K. et al**. Коммюнике Онтологического Саммита 2017 – Искусственный интеллект, машинное обучение, логический вывод и онтологии. Пер. с англ. М.Д. Коровина // Онтология проектирования, 2017, Т. 7, №2(24). С. 227-238.

UDC 338.984

The Multi-Agent method of constructing daily-shift schedule for the real time industrial resource management problem

Lada A. N. [a,b], Project Manager, lada@kg.ru

Mayorov I. V. [a,b], Analyst, imayorov@kg.ru

[a]Software Engineering Company «Smart Transport Systems», 17, Moscovskoe St., 443013, Samara, Russian Federation

[b]Institute for the Control of Complex Systems of Russian Academy of Sciences, 61, Sadovaya St., 443020, Samara, Russian Federation

Statement of the problem: The task of coordinated production resources management of enterprises producing electrical products is a complex problem with a high level of complexity due to the variety of types of resources used, the dependence of production processes on a variety of factors and conditions. The traditional scheduling methods for this problem are not efficient enough. **Purpose of the study:** based on multi-agent approach develop the method for operational production scheduling of electrical equipment. **Results:** the multi-agent method for constructing daily-shift schedule for managing the production resources of an enterprise producing electrical products based on the ontology of the subject area, given criteria, preferences and limitations was developed. Orders consist of related operations, described by technological cards. In the iterative messaging process, the scheduler agents improve the current values of load uniformity criteria and minimize the execution time for building daily-shift jobs. The developed method of managing production resources allows to build schedules for performing related operations in the system of resources on real-time events. When executing the order pool at LLC "PC" Electrum" (Samara), the uniformity of the load of equipment and performers was ensured, and the number of delays in fulfilling orders was reduced by 10%. **Practical relevance:** the system developed based on the proposed method can work autonomously or along with the existing system of warehouse accounting of materials and finished products. The approach is not limited to the scope of the described subject area and is applicable in other industries requiring

similar production tasks. It is expected to obtain an economic effect by reducing idle production resources and improving their efficiency.

Keywords – Knowledge Domain, Electrical products, Multi-Agent Methods, Production Resource Management, Ontology of the Production Enterprise, Real-time scheduling.

References

1. Framinan J.M., Leisten R., García R.R. *Manufacturing scheduling systems: an integrated view on models, methods and tools*. London: Springer, 2014, 400 p.

2. Leung J. Y. T. (ed.). *Handbook of scheduling: algorithms, models, and performance analysis*. CRC Press, 2004, 1216 p.

3. Pinedo M., Zacharias C., Zhu N. Scheduling in the service industries: An overview // *Journal of Systems Science and Systems Engineering*, 2015, vol. 24, no. 1, pp. 1-48.

4. Sule D. R. *Production planning and industrial scheduling: examples, case studies and applications*. CRC press, 2007, 560 p.

5. Pinedo M. *Scheduling. Theory, Algorithms, and Systems*. Springer, 2016, 676 p.

6. Chapman S. N. *The fundamentals of production planning and control*. Prentice Hall, 2006, 272 p.

7. Driessel R., Mönch L. Variable neighborhood search approaches for scheduling jobs on parallel machines with sequence-dependent setup times, precedence constraints, and ready times // *Computers & Industrial Engineering*, 2011, vol. 61, no. 2, pp. 336-345.

8. Mehrabi M. G., Ulsoy A. G., Koren Y. Reconfigurable manufacturing systems: key to future manufacturing // *Journal of intelligent manufacturing*, 2000, vol. 11, no. 4, pp. 403-419.

9. Lazarev A. A., Gafarov E. R. Theory of schedules // *Problemy i algoritmy* [Problems and algorithms]. Moscow: Physics Faculty of Moscow State University, 2011, 222 p. (In Russian).

10. Wooldridge M. *An introduction to multiagent systems*. John Wiley & Sons, 2009, 484 p.

11. Jennings N. R., Wooldridge M. J. (ed.). *Agent Technology: Foundations, Applications, and Markets*. Springer Science & Business Media, 2012, 325 p.

12. Meisels A. *Distributed Search by Constrained Agents: algorithms, performance, communication*. Springer Science & Business Media, 2008, 216 p.

13. Vittikh V. A., Moiseeva T. V., Skobelev P. O. Making decisions on the basis of consensus using multi-agent technologies // *Ontologiya proektirovaniya* [Ontology of Designing], 2013, no. 2(8), pp. 20-25 (In Russian).

14. Skobelev P. Intellectual resource management systems in real time: the principles of development, the experience of industrial applications and development prospects // *Prilozhenie k teoreticheskomy i prikladnomy naychno-tekhicheskomy zhyrnaly "Informacionnye tekhologii"* Приложение к теоретическому и прикладному научно-техническому журналу «Информационные технологии [An appendix to the theoretical and applied scientific and technical journal Information Technologies], 2013, no. 1, pp. 1-32 (In Russian).

15. Skobelev P. et al. Practical Approach and Multi-agent Platform for Designing Real Time Adaptive Scheduling Systems // [Proc. of the XII Int. Conf. on Practical Applications of Agents and Multi-Agent Systems (PAAMS 2014)], CCIS 0430, Spinger, 2014, pp. 1-12.

16. Skobelev P. Multi-agent systems for real time adaptive resource management. In: Industrial Agents: Leitão, P., Karnouskos, S. (ed.). Emerging Applications of Software Agents in Industry, Elsevier, 2015, pp. 207-230.

17. Skobelev P.O., Lakhin O. I., Polnikov A.S., Simonova E. V. Approach to the solution of aerospace product lifecycle management problem based on network-centric principles // V. Marik, et al. (eds). [Proc. of the 7th Int. Conf. on Industrial Applications of Holonic and Multi-Agent Systems (HoloMAS'2015)], LNAI 9266, Springer, 2015, pp. 169-178. http://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-319-22867-9_15. DOI: 10.1007/978-3-319-22867-9_15.

18. Skobelev P.O. et al. Operational management of the resources of the enterprises' shops on the basis of the multi-agent approach. *Trudy XIX mezdynarodnoj konferencii "Problemy ypravlenija I modelirovanija v slozhnykh sistemakh* [Proc. of the XIX Int. Conf. "Problems of Control and Modeling in Complex Systems" (PCMCS 2017)], Samara: OFORT, 2017, pp. 474-485 (In Russian).

19. Rzevski G., Skobelev P. *Managing complexity*. Wit Press, 2014, 216 p.

20. Baclawski K. et al. Communique of the Ontological Summit 2017 – Artificial Intelligence, machine learning, inference and ontology. M.D. Korovin // *Ontologiya proektirovaniya* [Ontology of designing], 2017, vol. 7, no. 2(24), pp. 227-238 (In Russian).

Published: Лада А. Н., Майоров И. В. Мультиагентный метод построения сменно-суточных заданий для задачи планирования производственных ресурсов в реальном времени. Информационно-управляющие системы, 2018, № 5, с. 112–119.
doi:10.31799/1684-8853-2018-5-112-119.