

УДК 004.896

DOI: 10.22213/2410-9304-2020-4-117-125

## Информационное и алгоритмическое обеспечение планирования производственных мощностей\*

Д. А. Ризванов, доктор технических наук, доцент,

Уфимский государственный авиационный технический университет, Уфа, Россия

Е. С. Чернышев, Уфимский государственный авиационный технический университет, Уфа, Россия

*В настоящей статье рассматриваются вопросы применения интеллектуальных технологий для решения задачи планирования производственных мощностей при создании/модернизации производства. В силу того что расчет количества необходимого технологического оборудования ведется классическим способом – на основе станкоемкости на максимальную известную годовую программу, в которой различные простои предусмотрены на основе нормативов, задача эффективного планирования производственных мощностей остается актуальной. Расчет необходимого количества технологического оборудования предлагается проводить с помощью системы поддержки принятия решений, реализованной на основе многоагентных технологий. Интеграция с разработанной ранее многоагентной системой календарного планирования производства позволяет осуществить проверку выполнимости производственного плана с использованием рассчитанного состава и количества оборудования. Выделены основные агенты: «расчет», «программа», «объем», «деталь», «станок». Представлены алгоритмы поведения и взаимодействия основных агентов для решения задачи планирования производственных мощностей. Программное обеспечение прототипа СППР для планирования производственных мощностей реализовано на базе Embarcadero CodeGear RAD Studio. Приведены результаты оценки эффективности решения задачи с помощью СППР в сравнении с классическим методом расчета по показателям, отражающим суммарное количество необходимого технологического оборудования, затрат на его приобретение и календарный график мероприятий закупки и поставки оборудования.*

**Ключевые слова:** интеллектуальные технологии, планирование производства, производственные мощности, поддержка принятия решений, многоагентный подход, управление ресурсами, интеграция информационных систем.

### Введение

Для эффективной работы любому предприятию необходимо тщательно продумывать стратегию развития – освоение новой номенклатуры, обновление и расширение парка технологического оборудования, прием и развитие персонала. Расширение и обновление парка оборудования играет ключевую роль в развитии предприятия, так как приобретение нового современного оборудования позволяет решать сразу несколько производственных задач:

- снижение трудоемкости;
- повышение качества;
- постановка в производство новых изделий и др.

Поэтому, с одной стороны, для приобретения современного оборудования необходимы значительные денежные средства, а с другой стороны, оборудование – основа выполнения предприятием производимой продукции и исполнения заказов.

Планирование развития производственных мощностей является задачей поиска баланса

между минимизацией инвестиционных затрат и безусловным выполнением перспективного производственного плана. Выполнение такой задачи вручную с применением классического расчета на основе станкоемкости трудоемко и достаточно неточно [1, 2], так как в нем на основе нормативов учитываются только возможные простои технологического оборудования на плановые ремонты и обслуживание, технические перерывы, но не учитываются такие аспекты производства, как простой станка в ожидании деталей, внеплановые ремонты, ожидание деталей в очереди перед станком (одновременный приход разных деталей на станок), квалификация работников, отсутствие работников на рабочем месте и другие аспекты. Подход базируется на программе выпуска, составе выпускаемой продукции, а также технологии и трудоемкости ее изготовления. Результатом работы с применением описанного подхода являются суммарное количество необходимого технологического оборудования, затраты на его

© Ризванов Д. А., Чернышев Е. С., 2020

\* Исследования проводились при частичной поддержке грантом РФФИ 18-07-00193-а. Вопросы формального описания объектов и их взаимодействия с использованием многоагентного подхода получены в рамках проекта № FEUE-2020-0007 по госзаданию.

приобретение и календарный график мероприятий закупки и поставки оборудования [3, 4].

Учитывая, что реализация многоагентного подхода в задачах планирования производства и управления производственными ресурсами показывает высокую эффективность разработанного программного обеспечения, а также высокую отказоустойчивость работы агентов и стабильность результатов [5–8], для планирования производственных мощностей машиностроительных предприятий предлагается применение программного обеспечения, основанного на многоагентном подходе, позволяющем оптимизировать модельный и количественный состав технологического оборудования и инвестиции. Проверку правильности расчета предлагается выполнять в разработанной многоагентной системе календарного планирования (МСКП), интегрированной с информационными системами предприятия [9]. Программное обеспечение класса МСКП позволяет выполнять оперативное управление ресурсами цехов предприятий [10], а также проверку достаточности расчетного количества технологического оборудования (при задании расчетного количества как существующего в качестве исходных данных).

Целью работы является повышение эффективности планирования производственных мощностей машиностроительного предприятия с использованием многоагентного подхода.

В данной статье представлены информационная модель базы данных для хранения информации об объектах предметной области, разработанные алгоритмы поведения агентов многоагентной системы, результаты работы многоагентной системы планирования производственных мощностей (МСППМ).

**Информационное обеспечение, разработка базы данных**

В предметной области планирования производственных мощностей выделены следующие основные сущности:

- **расчет** – это объект, интегрирующий всю информацию о выполненном расчете производственных мощностей, а также исходных данных этого расчета;
- **программа** – это объект, содержащий информацию о базовом и оптимизированном планах;
- **объем** – это объект оптимизации производственной программы, формирующий базу для расчета необходимого оборудования;
- **деталь** – это объект, детализирующий заданные объемы производства до трудоемкости и станкоемкости;
- **станок** – это объект закупки и основной объект расчета инвестиций.

На рис. 1 представлена структура данных, отражающая основные связи и свойства выделенных объектов.

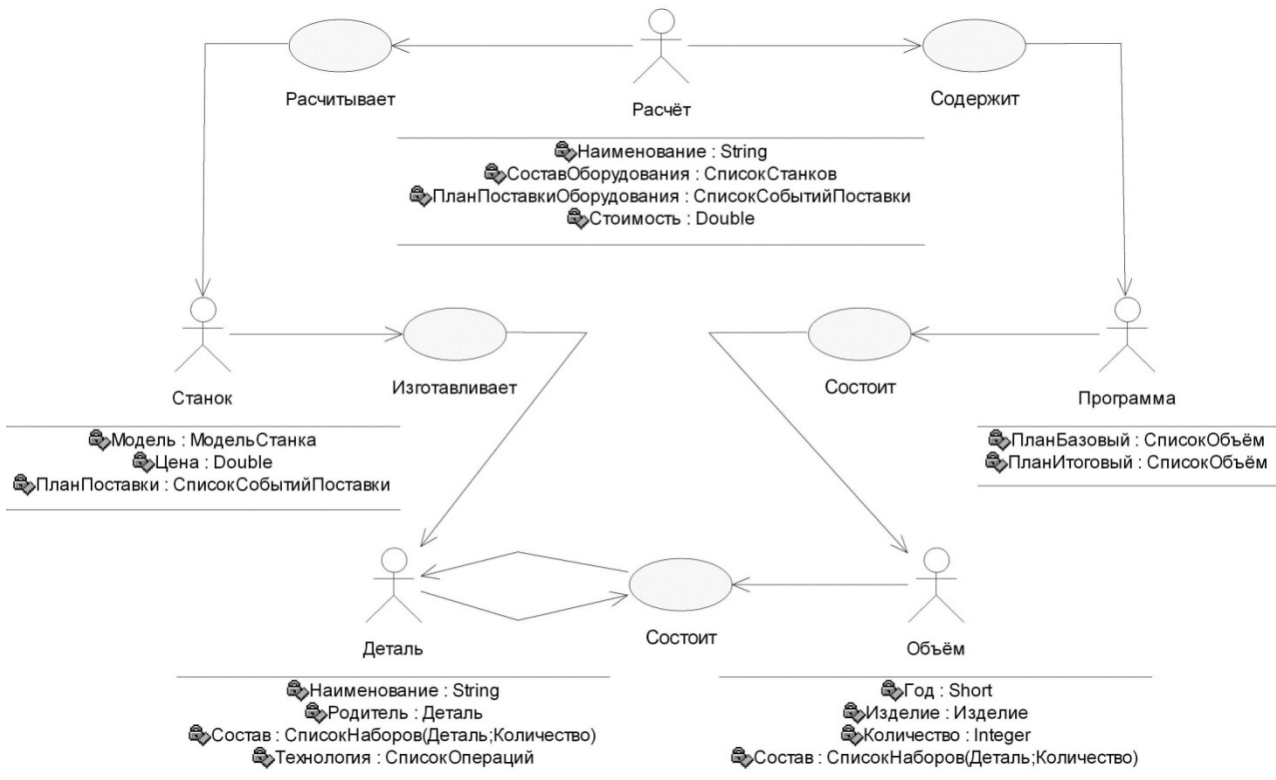


Рис. 1. Структура данных процесса планирования производственных мощностей

Для разработки МСПИМ необходимо разработать базу данных для хранения следующей основной информации предметной области:

- годовой производственный план;
- состав выпускаемой продукции;
- технологии и трудоемкости изготовления продукции;
- информация о технологическом оборудовании (стоимость, сроки поставки, форма оплаты и прочее);
- информация о заменяемости оборудования;
- модельный и количественный состав необходимого технологического оборудования на каждый рассчитываемый год;
- график приобретения оборудования и платежей и другая.

Так как проверка правильности расчета будет выполняться в МСКП, то МСПИМ и МСКП должны иметь общую исходную информацию (технология, оборудование, режим работы и др.), расхождение в которой может повлечь сильное искажение последующих расчетов, и работать в едином информационном пространстве.

Разработанная база данных позволяет хранить всю необходимую информацию о предметной области в 116 полях, в том числе 27 уникальных ключей таблиц. Информационная модель единой базы данных для МСПИМ и МСКП представлена на рис. 2.

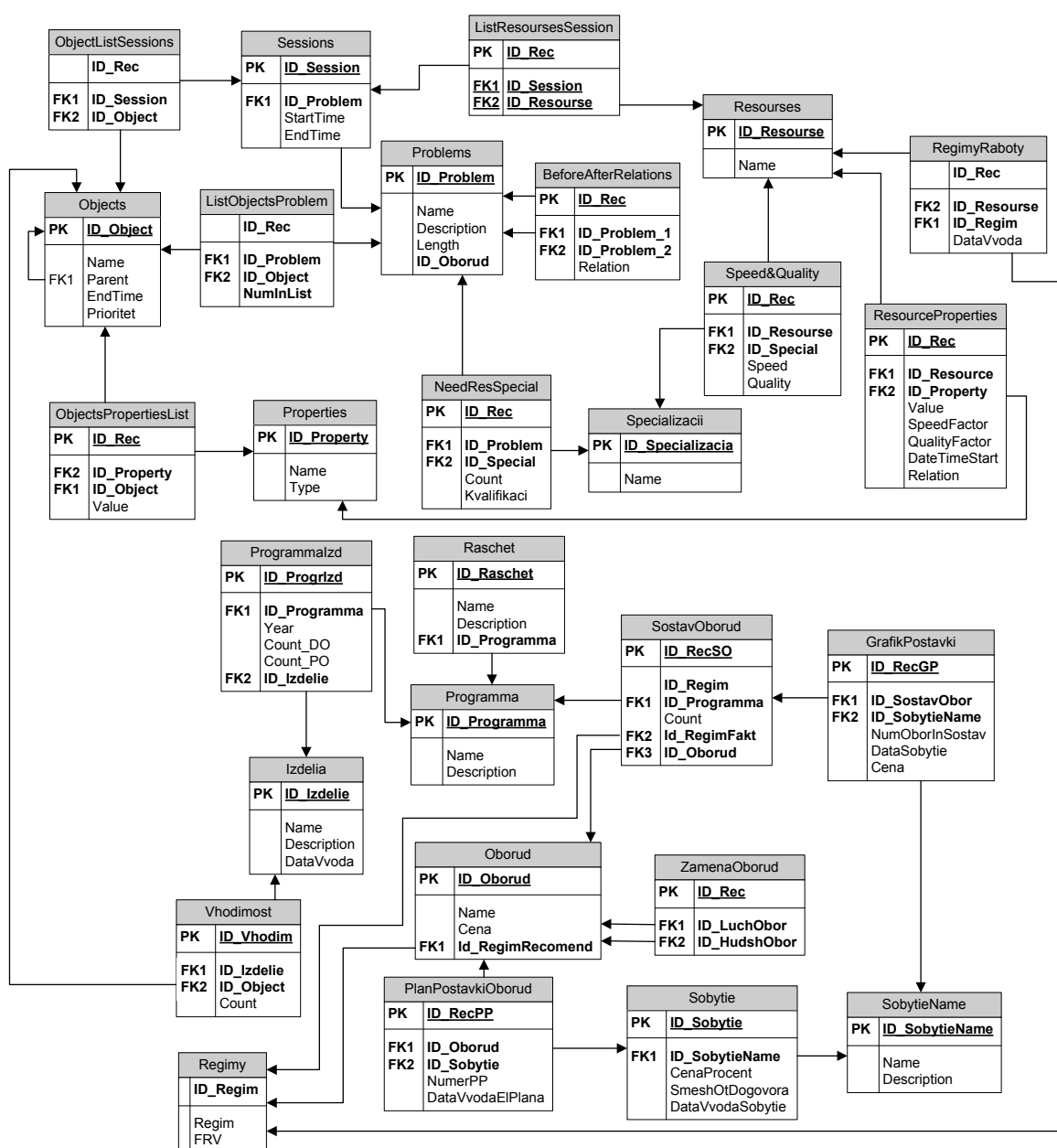


Рис. 2. Информационная модель базы данных

### Применение многоагентного подхода для задачи планирования производственных мощностей

Для решения поставленной задачи применен многоагентный подход при разработке программного обеспечения [11].

Многоагентные системы (МАС) относятся к самоорганизующимся системам, так как в них ищется решение задачи без внешнего вмешательства. Главное достоинство МАС – это гибкость. Многоагентная система может быть дополнена и модифицирована без переписывания значительной части программы. Также эти системы обладают способностью к самовосстановлению и обладают устойчивостью к сбоям [12–16].

Часто многоагентные системы выполняются в виде распределенных информационных систем хранения / передачи / обработки данных, а также с применением облачных технологий [17, 18].

Одно из перспективных направлений развития многоагентных технологий – это поддержка

принятия решений в интеллектуальных системах оперативного управления машиностроительным производством, тем самым выполняется переход от четвертого этапа развития производства (Индустрия 4.0.) к пятому (Индустрия 5.0.) – от всеобщей компьютеризации (включая технологическое оборудование и этапы изготовления изделий) к объединению материального мира с виртуальным и рождению новых киберфизических комплексов, объединенных в одну цифровую экосистему [19].

### Алгоритмическое обеспечение МСПИМ

В рассматриваемой задаче календарного планирования выделены следующие типы агентов [20]: расчет, программа, объем, деталь и станок.

Агент «расчет» – главный агент МСПИМ, запускает на выполнение агентов «программа», затем находится в режиме сбора информации о составе и количестве от агентов «станок». Блок-схема алгоритма поведения агента «расчет» представлена на рис. 3.

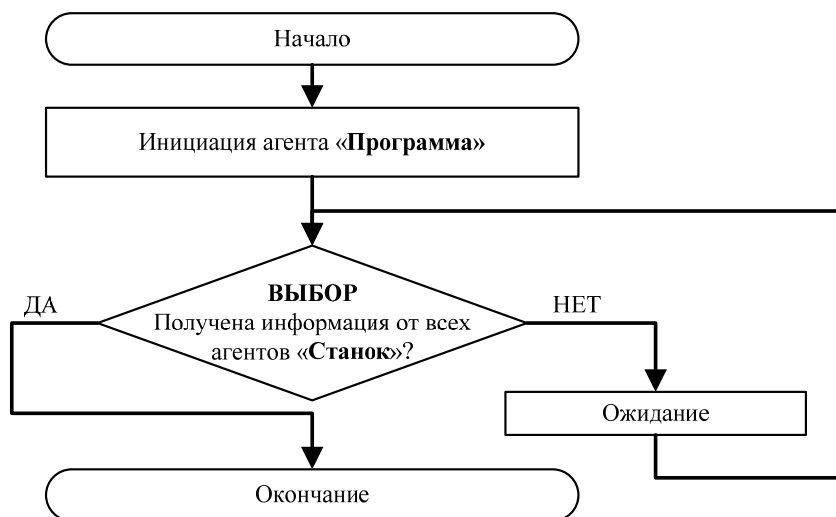


Рис. 3. Блок-схема алгоритма поведения агента «расчет»

Агент «программа» создает и запускает на выполнение агентов «объем» с уникальным параметром «год-изделие». Блок-схема алгоритма поведения агента «программа» представлена на рис. 4.

Агенты «объем» находят соответствующего по изделию агента предыдущего года и «договариваются» о переносе части производственного плана, тем самым формируют оптимизированную программу производства. После того как оптимизированный план сформирован, каждый агент «объем» создает и инициирует агента «деталь», представляющего вершину изделия в дереве разузлования с уникальным параметром «год-количество», а также сообщает агенту

«программа» информацию об объемах в оптимизированной программе производства.

Агенты «объем», общаясь, находят соответствующего по изделию агента предыдущего года и «договариваются» о переносе части производственного плана, тем самым формируют оптимизированную программу производства. После того как оптимизированный план сформирован, каждый агент «объем» создает и инициирует агента «деталь», представляющего вершину изделия в дереве разузлования с уникальным параметром «год-количество», а также сообщает агенту «программа» информацию об объемах в оптимизированной программе производства.

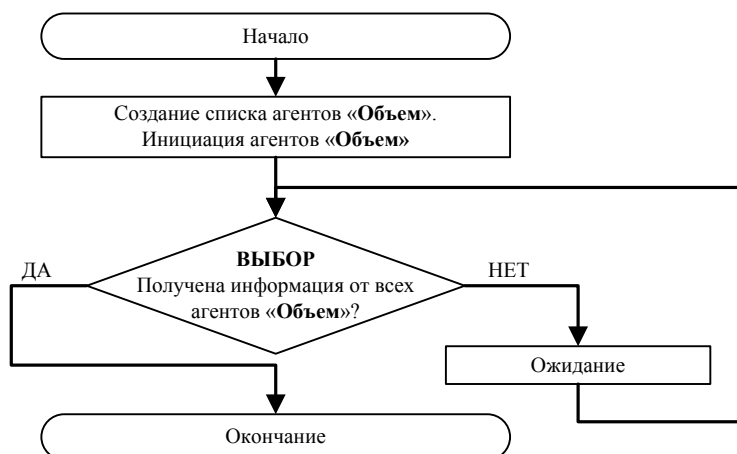


Рис. 4. Блок-схема алгоритма поведения агента «программа»

После инициации каждый из агентов «деталь» на основе информации о своем детальном составе и количестве входящих деталей/узлов – ДСЕ (детали и сборочные единицы) иницирует ряд агентов «деталь» с уникальным параметром «год-количество», сформированном на основе количества изделия в году и количестве соответствующих ДСЕ в своем составе. Следовательно, если агент «деталь» является узлом, то он «разбивает» себя на составляющие – иницирует еще ряд агентов «деталь» по своему составу, не уничтожая себя. При этом количество в параметре «год-количество» у новых агентов пересчитывается в зависимости от количества входящих этих ДСЕ в узел. Каждый из агентов «деталь», вне зависимости узел это или деталь, на основе информации о собственной технологии изготовления для каждой операции иницирует агента «станок» с параметром «год-модель-трудоемкость» (трудоемкость рассчитывается как трудоемкость одной операции, умноженная на количество ДСЕ в году). Блок-схема алгоритма поведения агента «деталь» представлена на рис. 5.

Агенты «станок» путем общения ищут экземпляры агентов, идентичные по параметру «год-модель» (так как для разных операций и для разных деталей может использоваться одинаковые модели оборудования). В случае

успешного поиска два агента выполняют «слияние» – суммируют свою трудоемкость и передают одному из агентов, а другой агент уничтожается. Таким образом, формируется набор агентов «оборудование», состоящий только из уникальных агентов по параметру «год-модель», содержащий суммарную годовую трудоемкость, отнесенную на данную модель в соответствующем году.

После того как агенты завершили «слияние» со своими аналогами, они на основе годовой трудоемкости, фонда рабочего времени и коэффициента предельной загрузки рассчитывают количество требуемого оборудования – станкоемкость. Также рассчитывают резерв (величина которого не достает до ближайшего большего целого – 0,35 при значении 2,65) и излишек (величина сверх ближайшего меньшего целого – 0,65 при значении 2,65).

Далее агенты «станок» в диалоге друг с другом в рамках одного года выясняют, лучше ли это оборудование и есть ли у него резерв. При положительном результате «худший» агент «станок» передает «лучшему» агенту часть своей нагрузки. Величина переданной нагрузки не может превышать резерва у «лучшего» оборудования. Таким образом, оптимизируется состав оборудования – исключаются станки с низкой загрузкой.

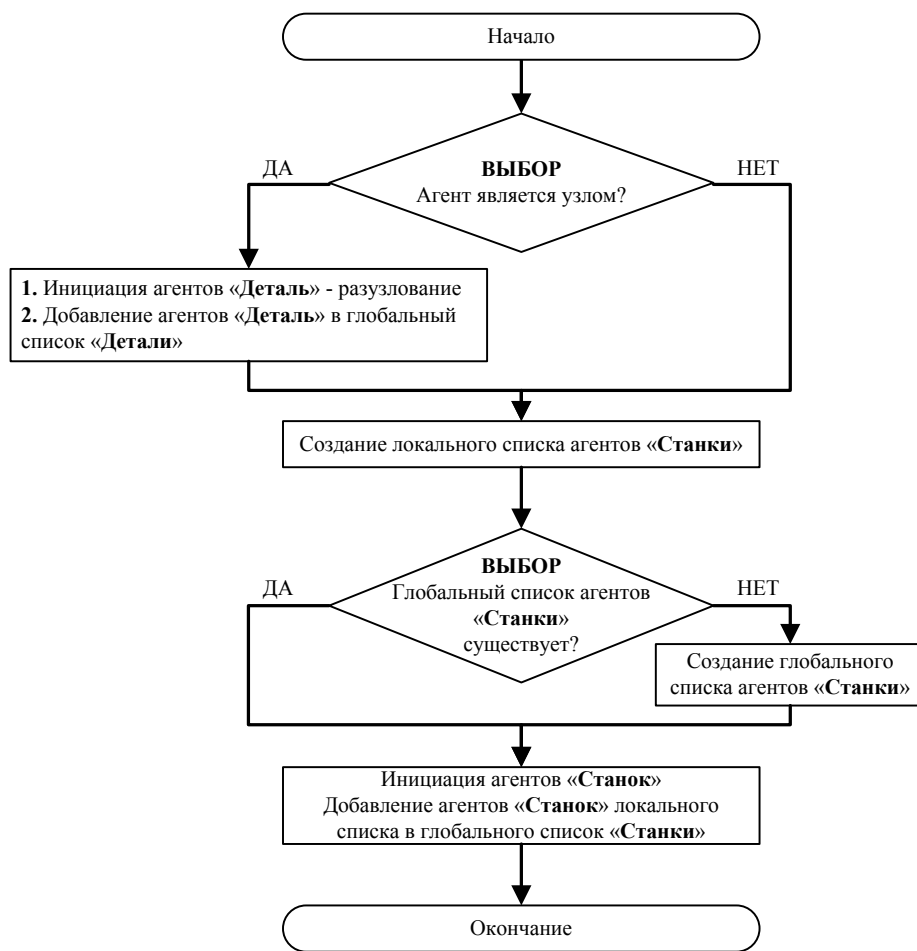


Рис. 5. Блок-схема алгоритма поведения агента «деталь»

### Результаты работы МСППМ

Апробация разработанной МСППМ выполнялась при планировании создания нового производства по изготовлению деталей сложной формы (ДСФ) для авиадвигателестроительного предприятия. На основе реалистичного прогнозного плана продаж узлов двигателей планируемых для производства (3 изделия) выполнен расчет количества необходимого технологического оборудования для выполнения производственной программы.

Сначала расчет был выполнен классическим способом, то есть год расчета выбран с макси-

мальной производственной программой, оборудование для каждой детали выбрано минимально необходимое, закупка запланирована разовая с окончанием сроков поставки в 2022 году.

Далее исходные данные, примененные в классическом расчете, были загружены в разработанную МСППМ и выполнен расчет требуемого технологического оборудования. МСППМ сократила модельный и количественный состав оборудования, тем самым сократив также и объем необходимых инвестиций. Сравнение результатов расчетов представлено в таблице.

### Сравнение результатов расчетов

Параметр	Кол-во оборудования, ед.	Объем необходимых инвестиций, млн руб.	Снижение		Снижение итог	
			млн руб.	%	млн руб.	%
1. Классический	22	2 497	–	–	–	–
2. МСППМ						
2.1. «Сглаживание» производственной программы	17	2 071	426	17,1 %	426	17,1 %
2.2. Перенос нагрузки	14	1 632	439	21,2 %	865	34,6 %

Формирование графика закупки оборудования по принципу «когда нужно» (2024 г.), а не «все сразу» (2022 г.) создает возможную экономию от возможности размещения денежных средств в банковском депозите<sup>1</sup> и получения по нему дивидендов. По проведенной оценке при вкладе 5,5 % годовых<sup>2</sup> разница в потерях составляет 103,3 млн руб.

Таким образом, реализация и применение методов оптимизации в МСППМ позволяет экономить значительные денежные средства при планировании производственных мощностей.

### Заключение

Рассмотрена задача разработки программно-обеспечения для планирования производственных мощностей. Для реализации предложен многоагентный подход, выделены основные типы агентов и разработаны соответствующие алгоритмы их поведения, позволяющие решить поставленную задачу. Предложена информационная модель базы данных для МСППМ, а также МСКП, в которой выполняется проверка достаточности количества рассчитанного технологического оборудования. Проведенная оценка эффективности предложенного подхода к планированию производственных мощностей продемонстрировала экономию денежных средств на приобретение оборудования и ввод его в эксплуатацию.

### Библиографические ссылки

1. Волчкевич И. Л. Расчет необходимого количества оборудования при проектировании технологических комплексов в условиях многономенклатурного производства // Наука и образование. 2012. № 03. С. 1-23.
2. Волчкевич И. Л. Исследование фактической работоспособности современного высокопроизводительного оборудования с ЧПУ // Машиностроение и техносфера XXI века : сборник докладов XVII Международной научно-технической конференции. Донецк, 2011. С. 144–145.
3. 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. DOI 10.17513/snt.38037.
4. Ризванов Д. А., Чернышев Е. С. Методы оптимизации планируемых производственных мощностей

предприятия с применением многоагентного подхода // Современные наукоемкие технологии. 2020.

№ 8. С. 69–74. DOI 10.17513/snt.38175.

5. Загидуллин Р. Р. Управление машиностроительным производством с помощью систем MES, APS, ERP : монография. Старый Оскол : ТНТ, 2011. 372 с. ISBN 978-5-94178-272-7.

6. Ржевский Г. А., Скобелев П. О. Как управлять сложными системами? Мультиагентные технологии для создания интеллектуальных систем управления предприятиями. Самара : Офорт, 2015. 291 с.

7. 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.

8. Скобелев П. О. Мультиагентные технологии в промышленных применениях: к 20-летию основания Самарской научной школы мультиагентных систем // Мехатроника, автоматизация, управление. 2010. № 12. С. 33–46.

9. Ризванов Д. А., Юсупова Н. И. Применение интеллектуальных технологий управления ресурсами при календарном планировании производства // Интеллектуальные системы в производстве. 2018. Т. 16, № 4. С. 130–137.

10. Оперативное управление ресурсами цехов предприятий на основе мультиагентного подхода / П.О. Скобелев, А. А. Жилиев, И. В. Майоров, В. Г. Елисеев, В. С. Травин, Е. В. Симонова // Труды XIX Международной конференции «Проблемы управления и моделирования в сложных системах». 2017. С. 474–485.

11. Тожиева Ф. К. Многоагентные управления ресурсами в распределенных системах // Молодой ученый. 2020. № 25 (315). С. 47–49.

12. Jarvenpéd E., Järvenpää E., Siltala N., Hylli O., Lanz M. The development of an ontology for describing the capabilities of manufacturing resources, Journal of Intelligent Manufacturing, 2019, vol. 30, pp. 959-978.

13. Тарасов В. Б. От многоагентных систем к интеллектуальным организациям: философия, психология, информатика. М. : Эдиториал УРСС, 2002. С. 352.

14. Виноградов Г. П., Кузнецов В. Н. Постнеклассический подход к проблеме построения модели поведения интеллектуального агента // Теория активных систем : материалы международной научно-практической конференции. Москва. 17–19 ноября 2014 г. М. : Изд-во Института проблем управления им. В. А. Трапезникова, 2014. С. 23–24.

15. Современное состояние и перспективы промышленных применений многоагентных систем / В. И. Городецкий, О. Л. Бухвалов, П. О. Скобелев, И. В. Майоров // Управление большими системами : сборник трудов. 2017. № 66. С. 94–157.

16. Легович Ю. С., Максимов Д. Ю. Принятие решений в группе интеллектуальных агентов // Теория активных систем: материалы международной научно-практической конференции. Москва. 17–19 ноября 2014 г. М. : Изд-во Института проблем управления им. В. А. Трапезникова, 2014. С. 206–208.

<sup>1</sup> В качестве альтернативного источника дохода принято размещение денежных средств в банковском вкладе, как наименее доходный.

<sup>2</sup> Вклад в банке ПАО «Сбербанк», наименование вклада «Лидер Сохраняй» по состоянию на 08.12.2019 г.

17. Тельнов Ю. Ф., Данилов А. В., Казаков В. А. Программная реализация информационно-образовательного пространства на основе многоагентной технологии и онтологического подхода // Открытое образование. 2015. № 6. С. 73–82.

18. Боровский А.С., Ряполова Е.И. Построение модели системы защиты в облачных технологиях на основе многоагентного подхода с использованием автоматной модели // Вопросы кибербезопасности. 2017. № 4 (22). С. 10–20. DOI: 10.21581/2311-3456-2017-4-10-20.

19. Евгенев Г. Б. Индустрия 5.0 как интеграция интернета знаний и интернета вещей // Онтология проектирования. 2019. Т. 9, № 1 (31). С. 7–23.

20. Rizvanov D., Yussupova N., Chernyshev E. Resource Management Planning of Production Capacity // Proceedings of the 21st International Workshop on Computer Science and Information Technologies Austria, Vienna, September 30 - October 04, 2019, - pp. 310-316. URL: <https://www.atlantis-press.com/proceedings/csit-19/125927884>.

### References

1. Volchkevich I.L. [Calculation of the required amount of equipment in the design of technological complexes in the conditions of multi-nomenclature production]. *Nauka i obrazovanie*, 2012, no. 03, pp. 1-23 (in Russ.).

2. Volchkevich I.L. *Issledovanie fakticheskoy rabotosposobnosti sovremen-nogo vysokoproizvoditel'nogo oborudovaniya s CHPU* [Research on the actual performance of modern high-performance CNC equipment]. *Mashinostroenie i tekhnosfera XXI veka.: Sbornik dokladov XVII mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii* [Proc. Mechanical engineering and technosphere of the XXI century: collection of reports of the XVII International scientific and technical conference]. Doneck, 2011, pp. 144-145 (in Russ.).

3. Rizvanov D.A., Chernyshev E.S., Rizvanov K.A. [Enterprise capacity planning using a multi-agent approach]. *Sovremennye naukoemkie tekhnologii*, 2020, no. 5, pp. 91-95 (in Russ.). DOI 10.17513/snt.38037.

4. Rizvanov D.A., Chernyshev E.S. [Methods for optimizing of planned production capacity of the enterprise using a multi-agent approach]. *Sovremennye naukoemkie tekhnologii*, 2020, no. 8, pp. 69-74 (in Russ.). DOI 10.17513/snt.38175.

5. Zagidullin R.P. *Upravlenie mashinostroitelnym proizvodstvom s pomoshch'yu sistem MES, APS, ERP* [Management of machine-building production using MES, APS, ERP systems]. Staryj Oskol, TNT, 2011, pp. 372 (in Russ.).

6. Rzhetskij G.A., Skobelev P.O. *Kak upravlyat' slozhnymi sistemami? Mul'tiagentnye tekhnologii dlya sozdaniya intellektual'nykh sistem upravleniya predpriyatiyami* [How do I manage complex systems? Multi-agent technologies for creating intelligent enterprise management systems]. Samara: Ofort, 2015, pp. 291 (in Russ.).

7. Skobelev P.O. *Intellektual'nye sistemy upravleniya resursami v real'nom vremeni: principy*

*razrabotki, opyt promyshlennykh vnedrenij i perspektivy razvitiya* [Intelligent resource management systems in real time: principles of development, experience of industrial implementations and prospects for development]. *Prilozhenie k zhurnalu «Informacionnye tekhnologii»*. 2013, no. 1, pp. 1-32 (in Russ.).

8. Skobelev P.O. [Multi-agent technologies in industrial applications: to the 20th anniversary of the founding of the Samara scientific school of multi-agent systems]. *Mehatronika, avtomatizatsiya, upravlenie*, 2010, no. 12, pp. 33–46 (in Russ.).

9. Rizvanov D.A., YUsupova N.I. [Application of intelligent resource management technologies in production scheduling]. *Intellektual'nye sistemy v proizvodstve*. 2018, vol. 16, no. 4, pp. 130-137 (in Russ.).

10. Skobelev P.O., Zhilyaev A.A., Maiorov I.V., Eliseev V.G., Travin V.S., Simonova E.V. *Operativnoe upravlenie resursami tsekhov predpriyatii na osnove mul'ti-agentnogo podkhoda* [Operational management of enterprise shop floor resources based on a multi-agent approach]. *Trudy XIX Mezhdunarodnoi konferentsii «Problemy upravleniya i modelirovaniya v slozhnykh siste-makh»* [Proceedings of the XIX International Conference "Problems of Control and Modeling in Complex Systems"], 2017, pp. 474-485 (in Russ.).

11. Tozhieva F. K. [Multi-agent resource management in distributed systems]. *Molodoi uchenyi*, 2020, no. 25 (315), pp. 47-49 (in Russ.).

12. Jarvenpää E., Järvenpää E., Siltala N., Hylli O., Lanz M. The development of an ontology for describing the capabilities of manufacturing resources, *Journal of Intelligent Manufacturing*, 2019, vol. 30, pp. 959-978.

13. Tarasov V.B. *Ot mnogoagentnykh sistem k intellektual'nym organizatsiyam: filosofiya, psikhologiya, informatika* [From multi-agent systems to intelligent organizations: philosophy, psychology, computer science]. Moscow: Editorial URSS, 2002, pp. 352 (in Russ.).

14. Vinogradov G.P., Kuznetsov V.N. *Postneklassicheskii podkhod k probleme postroeniya modeli povedeniya intellektual'nogo agenta* [Postnonclassical approach to the problem of constructing a model of behavior of an intelligent agent]. *Teoriya aktivnykh sistem: materialy mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii* [Proc. Theory of active systems: materials of the international scientific and practical conference. Moscow. November 17-19, 2014]. Moscow: Izd-vo Instituta problem upravleniya im. V.A. Trapeznikova, 2014, pp. 23-24 (in Russ.).

15. Gorodetskii V.I., Bukhvalov O. L., Skobelev P. O., Maiorov I. V. *Sovremennoe sostoyanie i perspektivy industrial'nykh primenenii mnogoagentnykh sistem* [Current state and prospects of industrial applications of multi-agent systems]. *Upravlenie bol'shimi sistemami: sbornik trudov* [Management of large systems: a collection of works], 2017, no. 66, pp. 94-157 (in Russ.).

16. Legovich Yu.S., Maksimov D.Yu. *Prinyatie reshenii v gruppe intellektual'nykh agentov* [Making decisions in a group of intelligent agents]. *Teoriya aktivnykh sistem: materialy mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii. Moskva. 17-19 noyabrya 2014 g.* [Theory of active systems: materials of the international scientific



and practical conference. Moscow. November 17-19, 2014]. Moscow: Izd-vo Instituta problem upravleniya im. V.A. Trapeznikova, 2014, pp. 206-208 (in Russ.).

17. Tel'nov Yu.F., Danilov A.V., Kazakov V.A. [Software implementation of information and educational space based on multi-agent technology and ontological approach]. *Otkrytoe obrazovanie*, 2015, no 6. Pp. 73-82 (in Russ.).

18. Borovskii A.S., Ryapolova E.I. [Building a model of a security system in cloud technologies based on a multi-agent approach using an automatic model]. *Voprosy kiberbezopasnosti*, 2017, no 4 (22), pp. 10-20 (in Russ.). DOI: 10.21581/2311-3456-2017-4-10-20.

19. Evgenev G.B. [Industry 5.0 as an integration of the Internet of knowledge and the Internet of things]. *Ontologiya proektirovaniya*. 2019. Vol. 9, no 1 (31), pp. 7-23 (in Russ.).

20. Rizvanov D., Yussupova N., Chernyshev E. Resource Management Planning of Production Capacity, Proceedings of the 21st International Workshop on Computer Science and Information Technologies Austria, Vienna, September 30 – October 04, 2019, pp. 310-316. URL: <https://www.atlantis-pess.com/proceedings/csit-19/125927884>.

\*\*\*

### Information and Algorithmic Support of Production Capacity Planning

*D. A. Rizvanov*, DSc in Engineering, Professor, Ufa State Aviation Technical University

*E. S. Chernyshev*, senior lecturer, Ufa State Aviation Technical University

*The application of intelligent technologies to solve the problem of production capacities planning in the creation or modernization of production is discussed in this article.*

*Due to the fact that the calculation of the amount of required technological equipment is carried out in the classical way - on the basis of machine capacity for the maximum known annual program, in which various downtime are provided on the basis of standards, the task of effective planning of production capacities remains relevant. The calculating the required amount of technological equipment is proposed using a decision support system implemented on the basis of multi-agent technologies. Integration with the previously developed multi-agent production scheduling system allows to check the feasibility of the production plan using the calculated structure and quantity of equipment. The following main agents are identified: "calculation", "program", "volume", "detail", "machine". Algorithms of behavior and interaction of the main agents for solving the problem of production capacities planning are presented. The prototype software of DSS for capacity planning is implemented using Embarcadero CodeGear RAD Studio. The results of the effectiveness evaluating of solving the problem using the DSS in comparison with the classical method of calculation by indicators reflecting the total amount of required technological equipment, the cost of purchasing it and the schedule of measures for the purchase and supply of equipment are presented.*

**Keywords:** intellectual technologies, capacity planning, decision-making support, multi-agent approach, resource management, information systems integration.

Получено: 03.12.2020