

ПРИМЕНЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ЗАКАЗОВ ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОЙ ЗАГРУЗКИ МОЩНОСТЕЙ НА МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОМ ПРЕДПРИЯТИИ

С.Н. Медведев, К.А. Аксенов (Екатеринбург)

Введение

В статье сравниваются корпоративные информационные системы, используемые для управления производством на промышленных предприятиях, рассматриваются основные направления производственной деятельности предприятий и их автоматизация за счет использования рассмотренных информационных систем. Наличие модуля моделирования проверяется для определения возможности анализа выполнения производственных заказов на существующих производственных мощностях с минимальными затратами. Рассмотрена разработанная авторами информационная система распределения производственных заказов с функциональной возможностью моделирования процесса изготовления продукции с применением разработанного подхода (метода) «распределения заказов», основанного на методе Канбан. Этот подход дополняется интеллектуальными агентами, которые определяют, в какой производственной цепочке производить продукцию, на основе проверки имеющихся производственных мощностей выполнить входящий заказ и проводят распределение заказов. Представлена структура информационной системы, а также алгоритм действия предложенного подхода, с применением интеллектуальных агентов, используемого в модуле моделирования, входящем в состав системы.

Формулирование задачи

Выбор корпоративных информационных систем для решения задачи управления предприятием, в том числе подзадача получения эффективного производственного плана на календарный период, является непростой задачей, которая включает в себя анализ существующих на рынке систем по функциональности в соответствии с перечнем производственных направлений, характерных для промышленных предприятий [1-3]. Крупные промышленные предприятия часто [4-5] имеют подразделения, которые позволяют им выпускать продукцию одного и того же типа. Вот пример одного из таких случаев.

Машиностроительное предприятие состоит из двух различных производств: металлургического и сборочного. Процедура выпуска продукции состоит из полного производственного цикла, а именно поставки необходимых материалов и производства конечного продукта. Производственная цепочка металлургического производства состоит из четырех цехов, которые организуют схему производства изделий и передачи товаров в сборочное производство - цех.

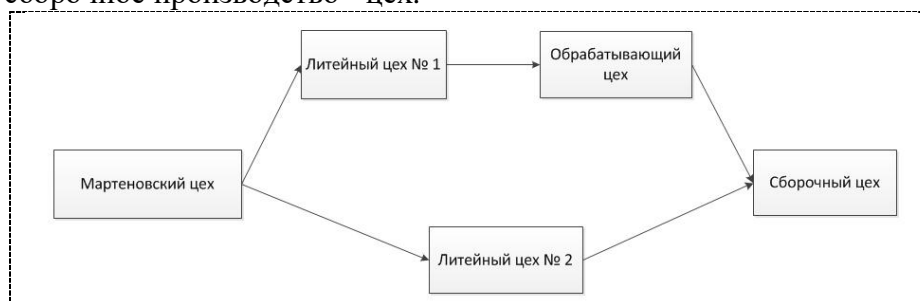


Рис. 1. Схема производственного потока

Мы проведем сравнительный анализ корпоративных информационных систем с целью определения применения их к подобным задачам, а также анализа составления

эффективного производственного плана загрузки однотипных структурных подразделений на основе имеющейся информации о производственных заказах.

Теория

Различные информационные системы, такие как (OmegaProduction [6], информационная ERP – система SAP S/4 HANA [7], Галактика АММ [8], Microsoft Dynamics 365 [9], SmartFactory [10]), используются на различных предприятиях и позволяют, в зависимости от реализованных функциональных модулей, решать различные задачи. Рассмотрим системы.

Информационная система OmegaProduction

Информационная система OmegaProduction является разработкой белорусской компании OmegaSoftware. Данная система предназначена для управления производством и ресурсами предприятия. Система позиционируется как корпоративная информационная система и включает в себя автоматизацию всех бизнес-процессов предприятия, являясь, своего рода CALS (PLM) системой. Основными функциями системы OmegaProduction являются: учет персонала; документооборот; управление инженерными данными; планирование производства; складской учет; учет в производстве; управление закупками; управление сбытом.

Рассматривая данную систему как систему для планирования производства на машиностроительном предприятии, хочется отметить, что расчет производственных планов производится по наиболее распространенным методологиям MRP II и APS. Для данных методологий необходимо наличие актуальной информации, а также присутствие в системе инженерных данных на уровне не менее 95% для получения корректных производственных заданий. При приходе срочного заказа необходимо производить пересчет всего задания для получения адекватного плана производства.

Информационная система SAP S/4 HANA

Система SAP – это корпоративная информационная система, разработанная немецкой компанией SAP Corporation. Применение на промышленных предприятиях нескольких модулей совместно, таких как SapPLM, SapERP, SapCRM, образуют собой CALS (PLM) систему. Основной продукт компании – это SAP ERP – система планирования ресурсов предприятия. Данная информационная система содержит следующие функции: управление материальными потоками; управление качеством продукции; управление сбытом; управление производством; управление финансами; управление персоналом; управление закупками.

Для управления инженерными данными система не имеет полного набора функций, присутствует лишь ведение спецификаций, нормы расхода материала и описание операций на изготавливаемую продукцию. Планирование производства происходит по методологиям планирования MRP II и APS. При отсутствии точных данных в системе план производства будет содержать неверные данные. Пересчет плана производства производится целиком с учётом имеющейся реальной информации.

Информационная система «Фрегат Корпорация»

«Фрегат Корпорация» ERP-система предназначена для средних и крупных предприятий. Система позиционируется как корпоративная информационная система и построена на модульной платформе. Система включает в себя следующие модули: оперативный учет; складской учет; бухгалтерия; управление закупками; управление сбытом; управление финансами; производство.

В модуле «Производство» содержится информация по ведению инженерных данных на уровне: занесение технологических карт, технологические операции. При планировании производства используется методология планирования MRP II. Для получения корректных планов необходимо иметь точную информацию в системе. При приходе нового заказа план производства пересчитывается с его учетом.

Информационная система Галактика АММ

Корпоративная информационная система Галактика АММ – одна из лучших систем, представленная российскими разработчиками. Галактика АММ представляет собой модульную систему. Каждый модуль предназначен для автоматизации отдельных узких задач. Гибкая модульная система открывает возможность построения и использования любой конфигурации, соответствующей конкретным потребностям предприятия. Галактика АММ может содержать следующие модули: управление договорами; управление снабжением; управление сбытом; складской учет; управление финансами; управление персоналом; ТОРО; планирование производства; диспетчеризация; управление материально-техническим обеспечением.

Функциональной особенностью данного программного продукта является использование стандартов MRP II и APS для составления производственных планов предприятия. Для планирования производства система должна содержать полную информацию о собираемых изделиях (технологические данные), запасы товарно-материальных ценностей и другую производственную информацию с точностью не менее 95% для получения корректных планов. Расчет производственных планов производится вновь при поступлении нового заказа, как в укрупненном виде, так и в поддетальном.

Информационная система Microsoft Dynamics 365

Информационная система Microsoft Dynamics 365 представляет собой программное обеспечение для планирования ресурсов предприятия, а также средства для управления всем предприятием, начиная с цепочки поставок, закупок и управления персоналом и заканчивая финансами и проектами совместной работы. Система обладает следующими функциями: бизнес-анализ; CRM (система управления взаимоотношениями с клиентами); управление финансами; управление цепочками поставок; управление производством; управление проектами; управление персоналом.

Управление и планирование производства происходит на основе методологии MRP II, а также на основе методологии APS. Система тесно связана с модулями «Управление финансами» и «Управление цепочками поставок», что позволяет получить полнофункциональное решение для управления производством. План может быть составлен как «вперед» так и «назад» с учетом ограниченности производственных мощностей. Информация для получения производственных планов должна быть точной, а также полнота данных должна составлять не менее 95%.

Информационная система SmartFactory

Система планирования производства от фирмы SmartSolutions является одной из последних отечественных разработок. Данная система позиционируется как система уровня MES. Основным отличием от существующих систем является применение в качестве метода планирования производства мультиагентного подхода. Данная система базируется на аппарате сетей потребностей и возможностей, разработанным В. А. Виттихом, П. О. Скобелевым и Г. А. Ржевским [11]. Основная идея подхода заключается в применении программных агентов для каждого процесса или операций, а также для каждого рабочего, оборудования предприятия или цеха. Агенты переговариваются между собой, договариваются и находят наилучшие решения для скорейшего завершения своего поставленного задания. На основе данного подхода появляется гибкость в сравнении с другими производственными системами за счет отсутствия необходимости пересчитывать весь производственный план при добавлении нового заказа.

Результаты экспериментов

После обзора данных по функциям информационных систем сведем все данные в таблицу и сравним эти системы. В таблице 1 приведены функциональные особенности информационных систем.

Таблица 1. Сравнение систем

Параметры	OmegaProduction	SAP S/4 HANA	Галактика АММ	Microsoft Dynamics 365	SmartFactory
Диспетчеризация производства	+	+	+	+	+
Планирование производства (в том числе разделение заказа между несколькими маршрутами)	+	+	+	+	+
Складской учет	+	+	+	+	+
Управление производством	+	+	+	+	+
Управление инженерными данными	+	-	-	-	-
Модуль имитационного моделирования	-	-	-	-	-
Анализ узких мест	-	-	-	-	-

Основываясь на данных в таблице, мы видим, что рассмотренные системы позволяют решать схожие задачи, например, планирование и диспетчеризация производства, но есть и различия, например, сосредоточение внимания на бизнес-анализе, единице учета, конструкторской и технологической подготовке производства (управление инженерными данными), при этом поддержка разделения заказов реализована практически во всех системах, что позволяет говорить о наличии так называемой функции «Балансировка мощностей». Данная функция в системах работает как в автоматическом, так и в ручном режиме и системы строят план на основе текущих ограничений, без учета того факта, что можно предлагать решения для улучшения/реинжиниринга процессов, которые могут положительно повлиять на планирование. Отсутствие модуля имитационного моделирования в рассмотренных системах говорит о невозможности провести предварительный анализ по имеющимся заказам на текущих производственных мощностях с учетом существующих ограничений.

Методы информационных систем

В рассмотренных информационных системах используются различные методы для составления производственных плана ПВ-Сеть, APS, MPR II.

Метод APS

Метод APS – это концепция оптимизированного (или синхронного) планирования производства. Основные характеристики: Повышение детализации планирования; Сокращение производственных запасов; Совершенствование деятельности по поставкам продукции; Более эффективное использование основных фондов; Более ритмичное использование производственных ресурсов; Более гибкое

реагирование на конкурентные требования. Учет ограничений при составлении планов производства позволяет получить более близкий к реальности план производства.

Метод MPR II

Метод представляет собой стратегию планирования производства, которая обеспечивает оперативное и финансовое планирование производства. Метод производит составление планов, учитывая текущее состояния мощностей и имеющихся материальных ресурсов.

Метод ПВ-Сеть

PV-сеть, так называемая сеть потребностей и возможностей. Основная идея подхода заключается в использовании программных агентов для каждого процесса или операции, а также для каждого работника, оборудования предприятия или цеха.

Метод APS и MRP II - это больше методологии планирования, которые определяют критерии планирования. В связи с этим для проведения сравнительного анализа предлагается использовать метод Канбан как наиболее близкий по критериям к методу APS, а метод MRP II заменим симплекс методом линейного программирования, поскольку в обоих случаях при планировании учитываются только доступные ресурсы и их ограничения. Дополнительно к данным методам рассмотрим метод, разработанный авторами, МППР/Канбан, где метод Канбан дополнен интеллектуальными агентами по распределению заказов между однотипными структурными подразделениями на предприятии. Задача заключается в следующем, в рассмотренной выше схеме собирается изделие. В металлургическом производстве изготавливаются 3 различные детали (деталь 1, деталь 2, деталь 3), каждая из которых имеет свой технологический процесс, а в сборочном производстве собирается готовое изделие, в которое входят данные детали. Применяемость каждой детали, входящей в изделие, равна 1 шт.

По методам ПВ-Сеть, Канбан и МППР/Канбан решение задачи проводилось в среде имитационного моделирования BPSim.MAS, а симплекс-методом проводилось решение системы линейных уравнений. Данные по полученным результатам приведены в таблице 2.

Таблица 2. Результаты расчетов по методам

Параметры	Канбан	ПВ-сеть	МППР/ Канбан	Симплекс-метод
Суммарное количество собранных изделий	62	70	71	87

Исходя из данных в таблице, видно, что симплекс метод показывает лучший результат, но это математический расчет максимально допустимого количества собираемых изделий. Наиболее близкий результат показывает метод, МППР/Канбан.

Метод МППР/Канбан

В основе метода лежит Канбан, который дополнен интеллектуальными агентами. Применение интеллектуальных агентов позволяет проводить анализ выполнения производственного задания на основе получаемых данных с производственных участков, загрузки производственных мощностей, следить за тем, как действия могут повлиять на других участников технологического процесса, и согласно этому предоставляет лицу, принимающему решение, данные по действиям, которые необходимо совершить для достижения поставленных целей. Алгоритм работы нового метода представлен на рис. 2.

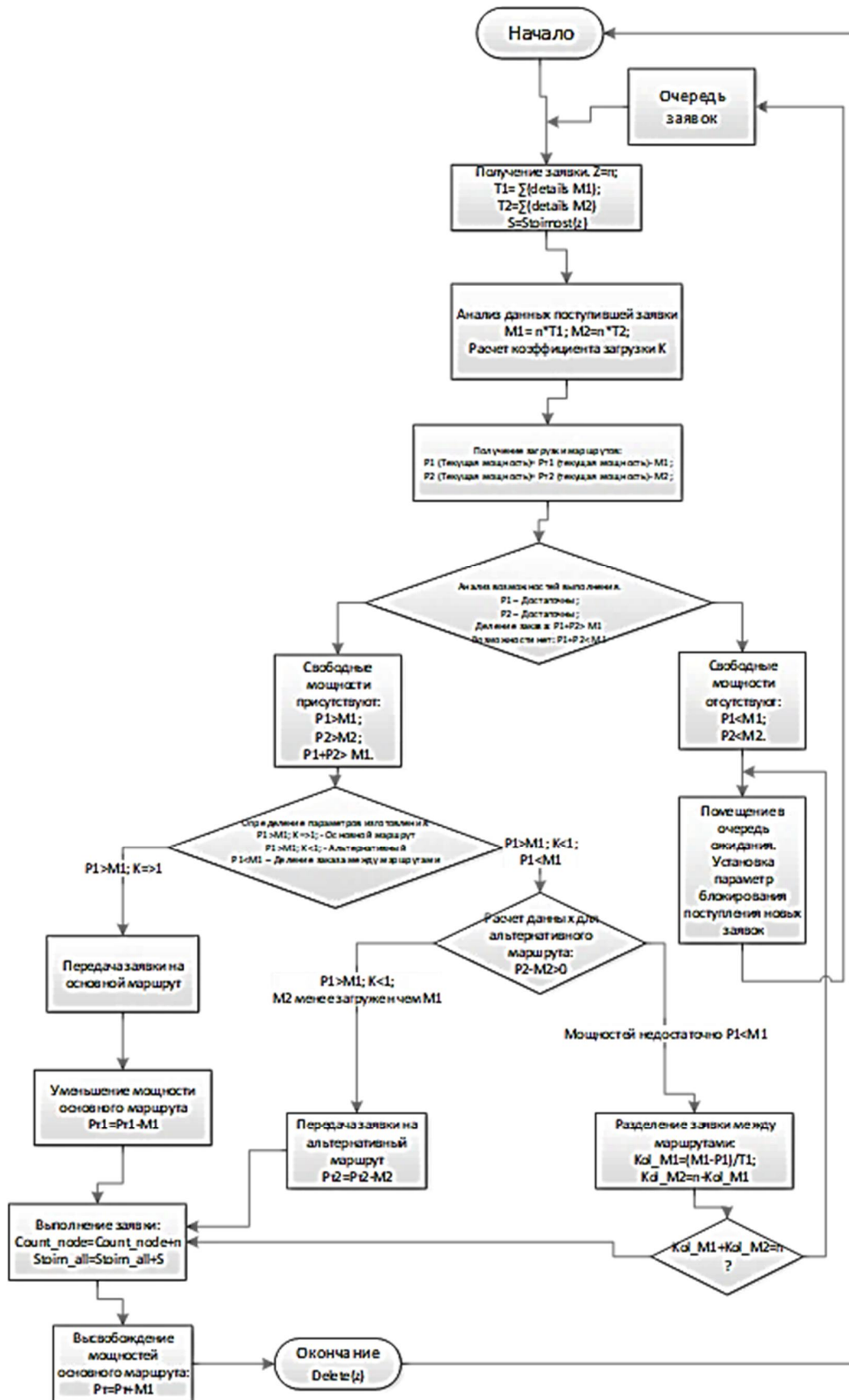


Рис. 2. Алгоритм работы метода МППР/Канбан

Критерием эффективности составления распределения заказов при работе нового метода является максимально допустимая загрузка производственных

мощностей для выполнения заказов в срок, а также минимально-допустимые затраты при их выполнении.

На основе метода была разработана имитационная модель в системе BPSim.MAS, которая является частью информационной системы. Имитационная модель приведена на рис. 3.

МППР/Канбан

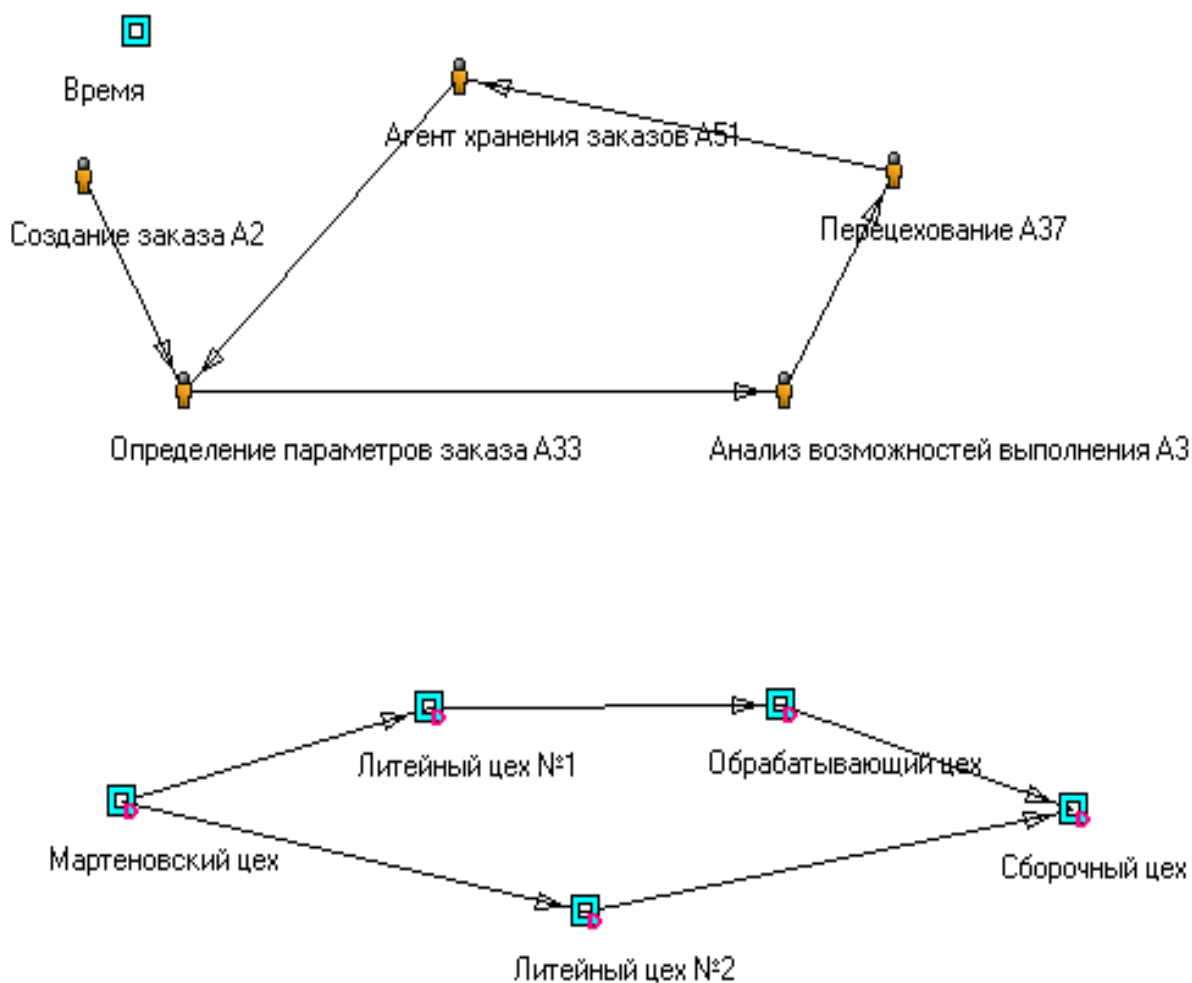


Рис. 3. Имитационная модель

Информационная система

Разработанная система распределения заказов для задач эффективного распределения заказов на машиностроительном предприятии представляет собой систему получения опорного плана распределения заказов по технологическим маршрутам, системы моделирования с учетом ресурсных ограничений и системы анализа, учета и планирования деталей и сборочных единиц, которые интегрированы друг с другом. Связь с другими корпоративными информационными системами осуществляется на уровне базы данных сервера MSSQL. Структура информационной системы представлена на рис. 4.

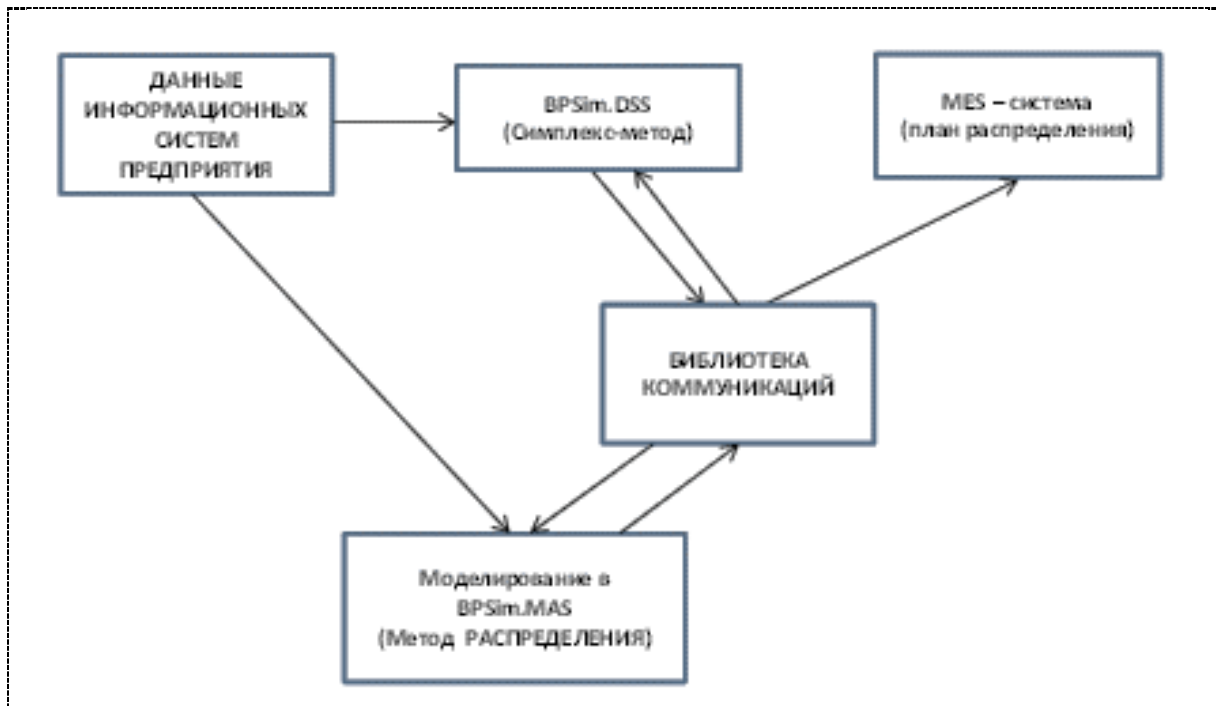


Рис. 4. Схема производственного потока

Система включает в себя:

1) Систему поддержки принятия решений (DSS) BPsim [1, 12]. DSS предназначена для решения задач технико-экономического проектирования и динамического бизнес-моделирования организационно-технических систем, задач динамического интеллектуального моделирования многоагентных процессов принятия решений [13-15], задач системного анализа и разработки моделей производства, ОТС и бизнес-систем, анализа узких мест, реинжиниринга, оптимизации проектирования концептуальной модели процесса изготовления компонентов в структурных подразделениях предприятия. Проблема была решена с помощью симплекс метода, который был реализован в BPsim.DSS с использованием языка Transact SQL.

2) Реализация нового метода при распределении производственных заказов на машиностроительном предприятии при различных подходах к планированию производства, осуществляется в системе моделирования динамической ситуации (SDMS) BPsim.MAS. BPsim.MAS получается в результате интеграции методов имитационного, экспертного, ситуационного и мультиагентного моделирования.

3) Автоматизированная система анализа, учета и планирования, реализованная на языке Delphi, принимает план распределения от системы моделирования BPsim.MAS.

Выводы

Применение разработанной системы в условиях существующего металлургического производства, входящего в состав машиностроительного предприятия, позволило получить увеличение производительности подразделений, по сравнению с исходной моделью, применяемой на предприятии, в 1,56 раза. Использование метода распределения («переехования») позволило равномерно загрузить однотипные структурные подразделения, т. е. сбалансировать мощности в имитационной модели металлургического производства. Использование данной системы на крупных промышленных предприятиях позволит эффективно загружать дублирующие структурные подразделения путем пошагового решения задачи:

- 1) получения оптимального результата;
- 2) тестирования его в производственной имитационной модели, где существуют различные ресурсные ограничения;

3) передачи информации в систему MES для распространения по участкам.

По сравнению с ERP-системами, рассмотренными выше, выполнение этих работ требует минимальных временных и финансовых ресурсов.

Работа выполнена при поддержке Законом № 211 Правительства Российской Федерации, договор № 02.А03.21.0006.

Литература

1. **S.N. Medvedev, K.A. Aksyonov, O.P. Aksyonova.** Application of a decision support system in an industrial enterprise // In Proc. The International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment (ICMTME), Sept. 2019, pp.1-5, doi:10.1088/1757-899X/709/4/044026.
2. **I. Solovyeva, B. Sokolov, D. Ivanov.** Analysis of position optimization method applicability in supply chain management problem // In Proc. Int. Conf. «Stability and Control Processes» in Memory of V.I. Zubov (SCP), Oct. 2015, pp. 498-500.
3. **B. Klebanov, T. Antropov, E. Riabkina.** Bases of imitation model of artificial society construction accounting of the agents' needs recursion // In Proc. 16th Int. Multidisciplinary Scientific GeoConf. SGEM2016, Jul. 2016, doi: 10.5593/SGEM2016/B21/S07.014, WOS: 000395499400014.
4. **A. Borodin, Y. Kiselev, S. Mirvoda, S. Porshnev.** On design of domain-specific query language for the metallurgical industry // In Proc. 11th Int. Conf. Beyond Databases, Architectures and Structures (BDAS), Oct. 2019, pp. 505-515.
5. **A. Borodin, S. Mirvoda, I. Kulikov, S. Porshnev.** Optimization of memory operations in generalized search trees of PostgreSQL // In Proc. 13th Int. Conf. Beyond Databases, Architectures and Structures (BDAS), Jun. 2017, pp. 224-232.
6. Overview of the system features – "Omega Production". (2021). [Online]. Available: https://www.eastsoft.ru/erp_pdm/omega-production.html.
7. SAP S/4HANA Features. (2021). [Online]. Available: <https://www.sap.com/cis/products/s4hana-erp/features.html>.
8. Corporation Galaxy. Galaktika ERP system – Description of the system functionality. (2017). [Online]. Available: https://galaktika.ru/docs/ERP_about.pdf.
9. Microsoft. Microsoft Dynamics AX 2012 – Functional and technological capabilities. (2012).[Online]. Available: <https://www.rea.ru/ru/org/cathedries/isemkaf/Documents/AX2012.pdf>.
10. Smart Factory – Intelligent production management system. (2021). [Online]. Available: <http://kg.ru/solutions/smart-factory/>.
11. **V.A. Wittich, P.O. Skobelev.** Multi-agent interaction models for the design of the nets of requirements and capabilities in open systems // Autom. and Telem., vol. 1, pp. 177-185, Jan. 2003.
12. **K. Aksyonov, O. Aksyonova, A. Antonova, E. Aksyonova, P. Ziomkovskaya.** Development of Cloud-Based Microservices to Decision Support System // In Proc. Int. Conf. Advances in Information and Communication Technology (IFIP), May 2020, pp.87-97, doi: 10.1007/978-3-030-47240-5_9.
13. **R. Drezewski.** A model of co-evolution in multi-agent system // In Proc. 3rd Int. Cent. and East. Euro. Conf. Multi-Agent Systems and Applications III, Jun. 2003, pp. 314-323, doi: 10.1007/3-540-45023-8_30.
14. **Manuel Rodriguez, Luiz Jonatã Pires de Ararujó and Manuel Mazzara.** Good practices for the adoption of DataOps in the software industry // Journal of Physics: Conference Series, vol. 1694, pp. 1-5, Jan. 2021.
15. **K. Aksyonov, O. Aksyonova, H. Ayvazyan.** Identification of Problems and Limitations of the Planning of Fuel Distribution through the Gas Station Network and their Solution // In Proc. Int. Multi-Conf. on Engineering, Computer and Information Sciences (SIBIRCON), Oct. 2019, pp. 647-651, doi: 10.1109/SIBIRCON48586.2019.8958191.