

УДК 65

МЕТОД ПЛАНИРОВАНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РЕСУРСОВ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ЗАКАЗОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗАГРУЗКИ МОЩНОСТЕЙ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

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

1. Введение

Актуальность задачи эффективного управления или распределения ресурсов промышленного предприятия находит свое отражение в многочисленных попытках создать систему управления производственными ресурсами, способную минимизировать затраты, максимизировать качество выпускаемой продукции, соблюдать сроки выполнения заказов посредством выстраивания материального потока «точно в срок» и, как следствие, максимизировать прибыль предприятия, его стоимость и инвестиционную привлекательность. В рамках выполнения заказов по государственному оборонному заказу (далее – ГОЗ) для предприятий оборонно-промышленного комплекса (далее – ОПК) внедрение такой системы является востребованным. Не исполнение ГОЗ может повлечь как административную ответственность должностных лиц, так и уголовную. В существующих политических условиях предприятия ОПК переходят на непрерывный режим работ, что подразумевает максимальное использование существующих производственных мощностей для максимально возможного выпуска продукции военного назначения.

Одним из подходов, который позволяет выстроить такую систему является метод Канбан. Канбан – система организации производства и снабжения, позволяющая реализовать принцип «точно-в-срок» [2].

Применение данного подхода началось в Японии. Теоретической основой метода Канбан являются идеи одного из основоположников научного менеджмента, американского ученого Ф.Тейлора, основоположника массового производства в автомобильной промышленности Г.Форда [1]. Основным посылом создания Канбан являлось сокращение любых видов затрат и повышение эффективности использования материальных ресурсов (технологическое оборудование, персонал, транспорт, материалы) при изготовлении изделий «под заказ».

В России одним из первых в решении задач распределения ресурсов и организацией планирования производства начал заниматься знаменитый советский ученый Л.В. Канторович [3]. В 1939 году была опубликована брошюра [4], в которой описывались примеры и решения задач распределения ресурсов в технических системах. В основе решений данных задач [5] лежит метод разрешающих множителей, который заложил основу методов линейного программирования.

В современных реалиях повышение эффективности управления ресурсами при выпуске продукции невозможно представить без использования современных технологий. К таким технологиям можно отнести: гибкие автоматические линии, высокопроизводительные станки, современные методы обработки материалов или покрытия деталей, информационные системы различного уровня.

Использование информационных систем позволяет автоматизировать жизненный цикл изделия, начиная от его разработки и заканчивая утилизацией. В свою очередь информационные системы для управления производством можно условно разделить на два больших направления: конструкторско-технологическая подготовка производства (CAD, САПР, PDM (PLM), CAM) и управление производством (АСУ ТП, MES, ERP).

Основной задачей управления производством является формирование и контроль выполнения производственных заданий (планов), которые формируются в системе планирования производства. Улучшение действующих на предприятии систем планирования производства – это сложный многостадийный процесс, основанный на определенной методологии, т. е. системе требований, принципов и методов [6].

2. Формулирование задачи

Задача процесса распределения ресурсов между объектами системы на примере изготовления продукции на промышленном предприятии заключается в эффективном распределении производственных заказов между однотипными производственными подразделениями (составление плана производства). Применительно к промышленным предприятиям ОПК, которые перешли на работу в три смены, и объем выпускаемой продукции увеличился – по некоторым образцам в десять раз, задача эффективного использования имеющихся ресурсов стоит очень остро. Как заявил первый заместитель генерального директора Ростеха Владимир Артяков, государственная корпорация значительно увеличила выпуск вооружения, боеприпасов и реактивных систем залпового огня [7] в сравнении с периодом до начала Специальной военной операции (24.02.2022 г).

Независимо от объемов выпускаемой продукции основой составления плана производства выступает технологический процесс, который на предприятиях может быть, как сквозным, т.е. объединять в себе технологические операции по изготовлению продукта в нескольких структурных подразделениях, так и индивидуальным, охватывающим лишь операции, выполняемые в конкретном структурном подразделении. Критерием эффективности при составлении планов является минимизация производственных затрат при выполнении заказов в срок.

3. Теория

Для составления эффективного плана производства с максимальным использованием имеющихся ресурсов необходимо применять математические методы. С их помощью можно быстро и с высокой степенью точности построить необходимый план работ, при этом задействуют (при наличии) однотипные виды имеющихся ресурсов. Рассмотрим математические методы, которые применяются для составления планов.

Методы календарного планирования

Календарное планирование – это планирование сроков выполнения работ, т. е. установление периода времени, в течение которого должна быть выполнена данная работа. Методы календарного планирования делятся на две большие группы: теория составления расписаний и теория массового обслуживания [8].

Первая группа методов календарного планирования – это теория составления расписаний. Теория расписаний – это раздел исследования операций, в котором строятся и анализируются математические модели календарного планирования (т.е. упорядочивания во времени) различных целенаправленных действий с учетом целевой функции и различных ограничений [9]. К теории расписаний относятся вопросы, связанные с составлением производственных расписаний в цехах предприятия, обслуживанием клиентов в банковских учреждениях, составлением расписаний для движения различного вида транспорта.

Вторая группа методов календарного планирования – это теория массового обслуживания. Теория массового обслуживания – это раздел математики, который занимается изучением математических моделей различных явлений, которые относятся к системам массового обслуживания. Методы теории массового обслуживания применяются, в том числе для анализа цепочек обслуживания или производства, что

позволяет, например, в производстве найти и устранить «узкие» производственные места.

Агентное моделирование

Вид имитационного моделирования, первые упоминания о котором относятся к концу 90-х гг. XX века. Данный подход характеризуется наличием агентов, которые образуют децентрализованную систему, которая функционирует на основе индивидуальной активности каждого агента, входящего в систему [10]. Агенты – это автономные сущности, как правило, имеющие графическое представление, с определенной целью функционирования и возможностью обучения в процессе существования до определенного уровня, определяемого разработчиками соответствующей модели [11].

Модели, построенные с применением интеллектуальных агентов, позволяют получить любой уровень абстракции: высокий, средний и низкий, а также проводить их сочетание между собой, что позволяет получить реализм и гибкость в описании системы, возможность моделировать самые сложные нелинейные обратные связи, использовать любой необходимый уровень детализации. В дальнейшем агентный подход будем обозначать как мультиагентный процесс преобразования ресурсов (МППР), с помощью которого отображаются производственные процессы на предприятии с участием агентов – лиц, принимающих решение.

Метод Канбан

Подход появился в Японии, и представляет собой организацию производства, при которой производственные участки цехов вытягивают детали-сборочные единицы от предыдущих участков в том количестве и к такому сроку, который необходим для выполнения заказа. В отличие от традиционного подхода структурное подразделение-производитель не имеет общего жесткого оперативного графика производства, а оптимизирует свою работу в объеме заказа, следующего по производственно-технологическому циклу [12, 13]. Сигнал для запуска в производство поступает на карточках «Канбан». Изготовление продукции начинается с того момента, как на производство поступает заказ.

Канбан представляет собой листок (карточку), вложенный в пластиковую оболочку. В зависимости от расположенной на карте информации листки бывают 2-х видов: листок транспортировки и листок производства. На них присутствует следующая информация: количество продукции, время, метод, последовательность и количество перевозок, время перевозки, место доставки и место хранения, средства перевозки, контейнер и другие необходимые параметры в зависимости от производства. Карточки крепятся на доски, которые присутствуют на каждом производственном участке и убираются по мере изготовления продукции.

ПВ-Сети

Одним из подходов, применяемых для составления различных расписаний, является ПВ-сеть, так называемая сеть потребностей и возможностей. Основоположителем данного подхода является отечественный ученый П.О. Скобелев [15]. Основная идея подхода заключается в применении программных агентов для каждого процесса или операций, например, для каждого рабочего, оборудования предприятия, цеха, транспортного средства или другого объекта системы. Агенты договариваются между собой и находят наилучшие решения для скорейшего завершения своего поставленного задания [14]. Областью применения данного подхода являются: управление производством на промышленном предприятии в качестве системы для составления производственных заданий и анализа деятельности предприятия в целом; организация поиска в интернете для получения более точной и нужной информации; логистика.

4. Результаты экспериментов

После обзора методов по применению в технических системах проведем их сравнение для решения задач составления расписаний. Данные по сравнению представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнение методов

№ п/п	Параметр	Методы календарного планирования	МППР (агентное)	Канбан	ПВ-сеть
1	Поддержка большого количества производимых изделий	НЕТ	+	+	+
2	Поддержка ограничений на ресурсы	+	+	+	+
3	Учет внешних факторов	НЕТ	+	НЕТ	+
4	Поддержка распределения заказов (альтернативные технологические маршруты)	+	+	+	+
5	Учет эвристик	НЕТ	+	НЕТ	НЕТ
6	Динамически изменяемые параметры	НЕТ	+	+	+
7	Получение точного плана производства	+	НЕТ	+	НЕТ
8	Анализ «узких» мест	+	+	НЕТ	НЕТ
Количество баллов:		4	6	5	5

Основываясь на данных в таблице, мы видим, что возможность применения рассмотренных методов по распределению ресурсов между объектами системы ограничена, что говорит о том, что потребуется внесение изменений в какой-либо метод для удовлетворения возможности планирования производства и применения на предприятии. Применение данных методов возможно в автоматизированных системах для получения результата в короткий промежуток времени. В качестве основы выбран метод МППР – агентное моделирование как наиболее подходящий метод для решения задачи планирования производства.

5. Метод планирования и распределения ресурсов

Расширим модель МППР за счет применения в ней интеллектуальных агентов (ИА), которые проводят анализ данных: объектов системы; входящих задач, в результате чего определяют и распределяют ресурсы при обработке задач между существующими однотипными объектами системы для максимально эффективной загрузки существующих мощностей. Рассматриваемая предметная область применения данных интеллектуального агента представляет собой техническую систему, где присутствуют два однотипных объекта с одинаковыми технологическими возможностями обработки, одинаковой или различной мощностью (скоростью) обработки, способных обрабатывать однотипные задачи. Схема процесса распределения заказов представлена на рисунке 1.

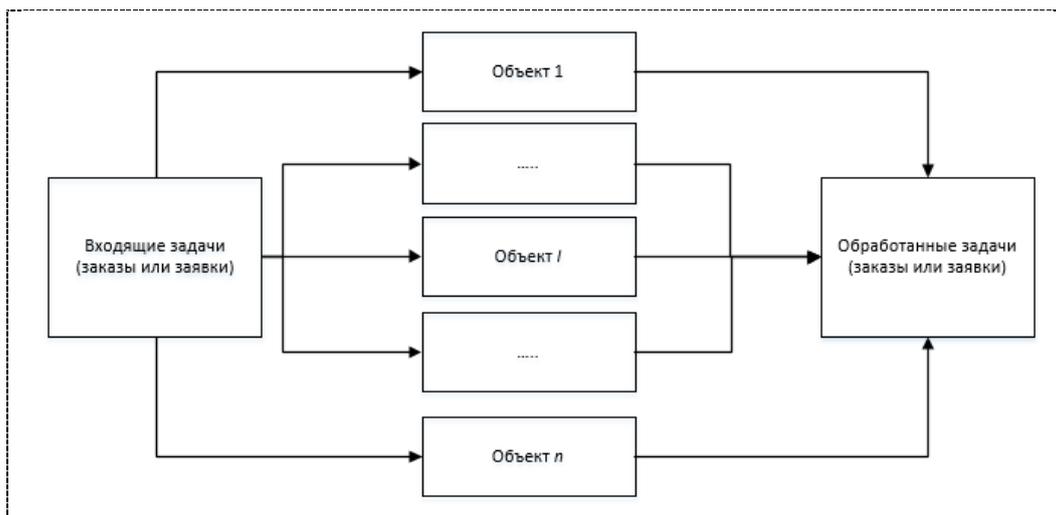


Рис. 1 – Схема процесса распределения

Представленная схема процесса распределения ресурсов при обработке задач (заказов или заявок) подразумевает, что Объекты $1..n$ занимаются обработкой входящих задач (заказов или заявок).

При переносе данной схемы на промышленное предприятие получится следующее: план по выпуску для каждого подразделения формируется в планово-производственном отделе предприятия, согласно циклам изготовления и технологии производства, и предоставляется структурным подразделениям в виде планового задания в начале каждого месяца. Принятие решений по корректировке производственного задания, созданию дополнительного маршрута изготовления, исключению из плана подразделения определяется согласно данным по выполнению производственного плана подразделением, корректировкой заказов предприятия. Изменение производственного задания в режиме реального времени является трудоемкой и труднореализуемой задачей в данном случае. Применение интеллектуального агента в отношении производственного цеха/участка/станка позволяет проводить анализ входящих производственных заданий на данный объект на основе получаемых в режиме реального времени данных с этого объекта. В качестве примера рассмотрим производственный цех: определенное количество продукции x изготовлено к моменту времени t из общего количества запланированной к выпуску продукции y , наличие свободных производственных мощностей рассчитывается на основе общей производственной мощности цеха за вычетом суммарной трудоемкости оставшейся продукции к изготовлению. На основе этих расчетных данных интеллектуальный агент предоставлять лицу, принимающему решение, данные по действиям (изменить маршрут изготовления/нет возможности изготовить данное количество заказов/разделить заказ на несколько маршрутов), которые необходимо совершить для достижения поставленных целей. Для реализации возможности изменения технологического маршрута изготовления номенклатуры необходимы агенты (планировщики), которые бы получали от агентов структурных подразделений (начальники цехов) информацию о невозможности выполнить производственное задание ввиду ограниченности ресурсов, проводили анализ возможности изготовить заказ в другом структурном подразделении. Применение таких интеллектуальных агентов в каждом структурном подразделении позволит образовать сеть между ними, что даст возможность координировать процесс выпуска продукции с минимальными потерями. Описанные требования к агенту близки к функциональным возможностям смешанных агентов, так как объединяют в себе составные части, а именно:

- состояние среды (понимание технологической цепочки процесса между структурными подразделениями);
- множество целей (эффективная загрузка мощностей структурных подразделений, выполнение производственных заданий в срок);
- множество намерений (формирование таких планов, которые могут быть выполнены);
- множество убеждений (информационная составляющая производственного процесса).

Одной из труднореализуемых задач данных агентов является работа в режиме ограниченного времени на принятие решения. Использование агентов начальников цехов в представленной архитектуре, на примере реального промышленного предприятия, показывает, что принятие решения должно происходить в режиме реального времени, для сокращения задержек при производстве продукции, а также с учетом себестоимости изготовления. Схема алгоритма работы агентов в методе МППР/Канбан представлена на рисунке 2.

Из рисунка 2, видно, что алгоритм работы метода имитационного моделирования МППР/Канбан реализуется выполнением следующей последовательности действий:

1. Поступление заявки. Определение количества узлов n в заказе. Расчет трудоемкости 1 узла для каждого технологического маршрута по циклу:

$$T_1 = \sum (\text{детали } M_1)$$

...

$$T_L = \sum (\text{детали } M_L)$$

Стоимость заказа = n * отпускную цену 1 узла

2. Анализ данных поступившей заявки. Определение трудоемкости входящего заказа по выполнению на каждом маршруте по циклу. Количество в заказе n .

$$\text{Трудоемкость на маршруте 1: } T_{M1} = n * T_1;$$

...

$$\text{Трудоемкость на маршруте } L: T_{ML} = n * T_L.$$

3. Получение загрузки технологических маршрутов за вычетом входящего заказа:

$$P_{t1} (\text{Текущая мощность}) = P_{t1} (\text{текущая мощность}) - T_{M1};$$

...

$$P_{tL} (\text{Текущая мощность}) = P_{tL} (\text{текущая мощность}) - T_{ML}.$$

4. Анализ возможности выполнения текущего заказа на основе полученных данных и выбор дальнейших действий: мощности есть/нет.

5. Определение параметров изготовления и выбора маршрутов $M_1, M_2, \dots, M_L, M_1 + \dots + M_L$ в зависимости от рассчитанных весов на маршрутах.

6. При достаточных мощностях заказ направляется на маршрут с наибольшим весом.

7. При недостаточных мощностях на лучшем маршруте заказ делится между маршрутами согласно весов и мощностей на данных маршрутах.

8. При недостаточных мощностях на маршрутах заказ направляется в очередь ожидания.

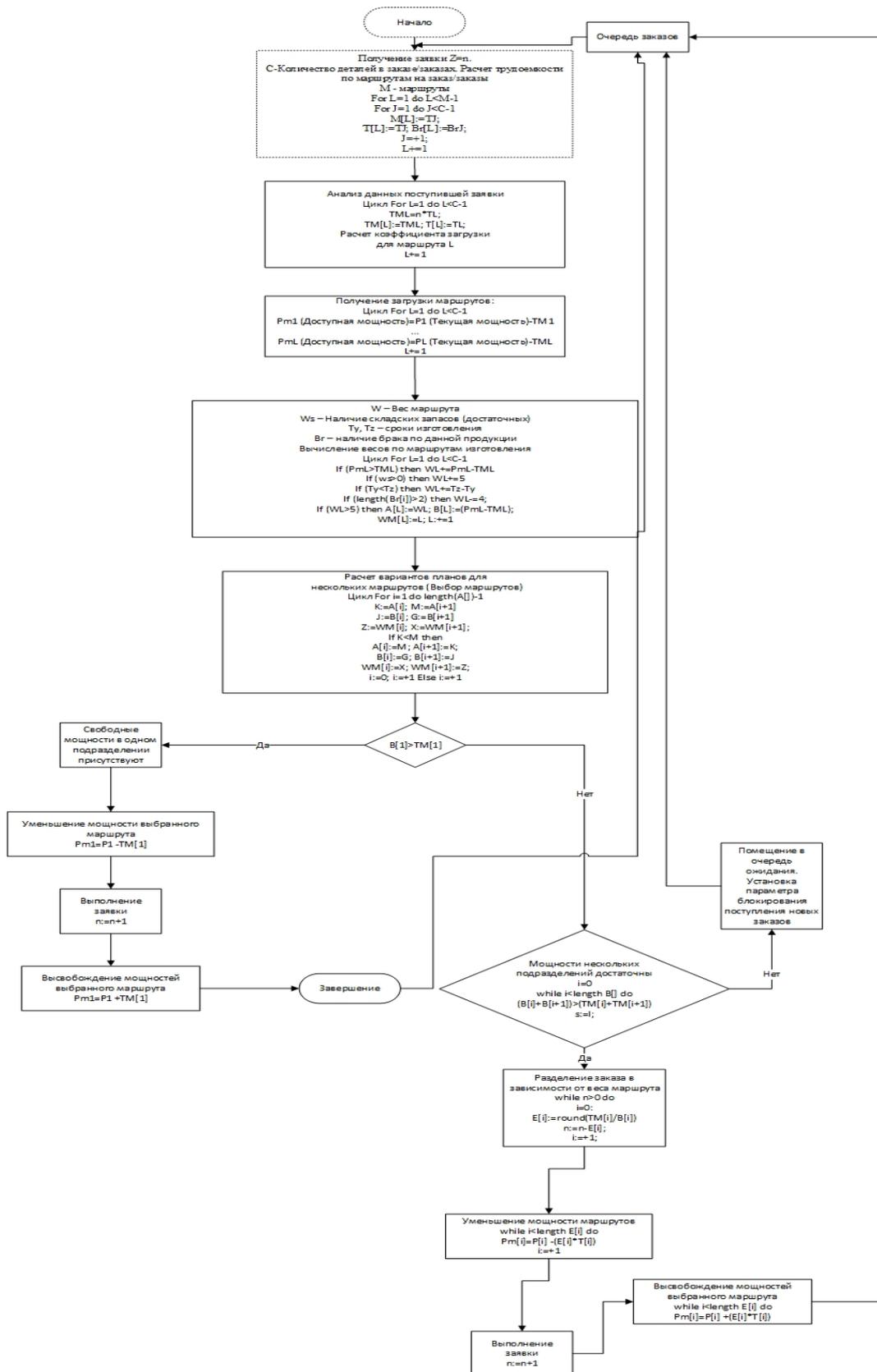


Рис. 2 – Алгоритм работы метода МППР/Канбан

На основе рассмотренного метода разработана информационная система имеющая алгоритм, состоящий из следующих этапов:

1. определение начальных условий задачи распределения ресурсов при выполнении заказов (актуализация данных по текущей загрузке подразделений, наличию необходимых ресурсов, трудоемкости поступившего заказа, сроков выполнения);

2. формирование заказа(ов) от потребителей продукции на основании информации о текущем уровне загрузки производственных мощностей;

3. моделирование в системе имитационного моделирования, с помощью которой учитывая особенности каждого технологического маршрута и поступивших заказов, выполняется «прогон» модели производственного предприятия для определения «реального» распределения ресурсов при выполнении заказов:

– распределение ресурсов при выполнении заказа(ов) по технологическим маршрутам, согласно существующей загрузке и веса по каждому маршруту;

– пересчет параметров маршрута с учетом закрепленного(ых) заказа(ов);

4. проверка распределения заказов по маршрутам, при необходимости проведение корректировки (может применяться во внештатных ситуациях, связанных с задачами диспетчеризации);

5. передача обработанной информации в MES- систему.

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 рисунке 3.

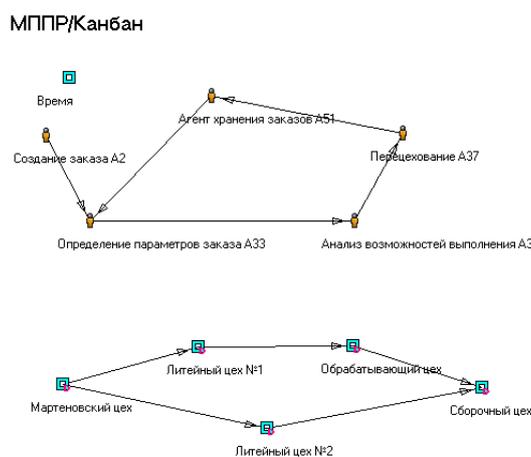


Рис.3 – Имитационная модель

7. Информационная система

Для получения плана работ в структурном подразделении необходимо получить решение из имитационной модели предприятия, где распределение заказов между однотипными структурными подразделениями происходит с учетом существующих ограничений. В качестве программных продуктов используются информационные системы BPSim.MAS [16-18].

Из системы BPSim.MAS формируется файл формата .csv с результатами «прогона» имитационной модели – план распределения по структурным подразделениям. В АС «Анализ, учет и планирование» [19] для импорта данных по полученному плану изготовления существует модуль Import.

Структура АС «Анализ, учет и планирование» представлена на рисунке 4.

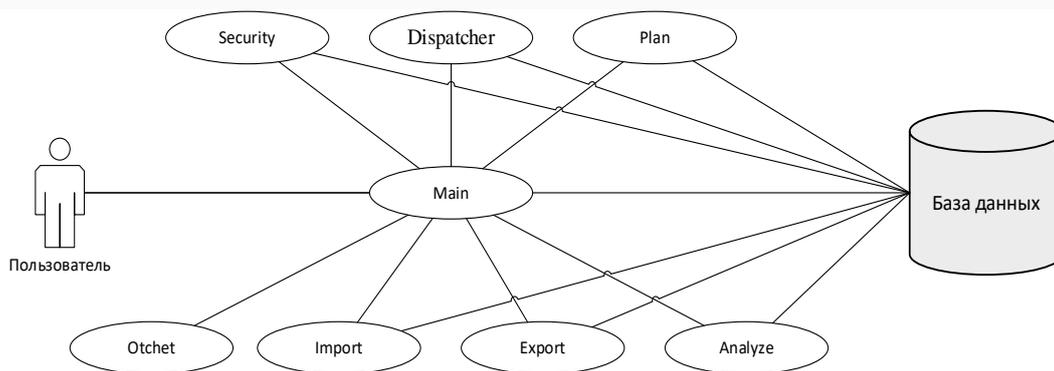


Рис. 4 – Схема АС «Анализ, учет и планирование»

Разработанная автоматизированная система распределения ресурсов на промышленном предприятии включает в себя:

- Dispatcher, модуль диспетчеризации производственных заданий, который позволяет отслеживать выполнение плана производства на участках и мониторинг загрузки мощностей;

- Plan, модуль планирования заданий на производственные участки с учетом полученного задания на структурное подразделение;

- Analyze, модуль анализа сверки выполнения производственных заказов между структурными подразделениями при распределенных заказах.

Дополнительно для работоспособности данной автоматизированной системы разработаны вспомогательные модули:

- Main, модуль, который объединяет все разработанные модули в едином интерфейсе;

- Otchet, модуль, который позволяет выводить информацию о текущем состоянии структурного подразделения;

- Export, модуль передачи результатов текущих производственных мощностей структурного подразделения в систему VpSim.MAS для «прогона» модели при изменении параметров и в заводскую систему предприятия;

- Import, модуль загрузки производственных заданий из заводской системы предприятия;

- Security, модуль разграничения прав доступа для разных групп пользователей с учетом матрицы ответственности.

8. Применение нового подхода на промышленном предприятии

Объектом для исследования данного подхода выступил АО «НПК «Уралвагонзавод». Основной деятельностью предприятия является выпуск вагоноборочной продукции, продукции военного назначения, а также выпуск запасных частей. Уралвагонзавод имеет полный цикл производства, начиная от выплавки стали, изготовления литья, механической обработки и заканчивая выпуском готовой продукции. Рассмотрим работу подхода на металлургическом производстве данного предприятия.

Текущая модель планирования

Структура текущей модели распределения точно описывает структуру процесса производства деталей и изделий таким же последовательно-параллельным способом, каким и в реальной жизни. Агенты перемещают заявки в зависимости от значений их

параметров. Узлы, моделирующие операции, в зависимости от захватываемой заявки определяют, какое количество единиц оборудования и какого типа оборудование необходимо захватить, а также какое количество персонала требуется для выполнения операции.

Модель планирования «МППР/Канбан»

Имитационная модель, построенная на основе подхода Канбан с использованием метода планирования распределения заказов. Передача и обработка заявок агентами разных уровней позволяют осуществлять имитацию принятия решения о производстве необходимых комплектующих частей и их доставке заказчику. МППР/Канбан позволяет задать определенные правила для агентов, позволяющие осуществлять управление производственным процессом непосредственно внутри подразделения, создавать единые точки входа и выхода, оставляя в стороне централизованные системы управления.

На рисунке 5 изображен верхний уровень декомпозиции имитационной модели. На этом уровне представлены системные агенты, которые создают и удаляют заявки (заказы), определяют, когда появится каждый заказ и какому цеху какой заказ необходимо назначить.

Текущая модель

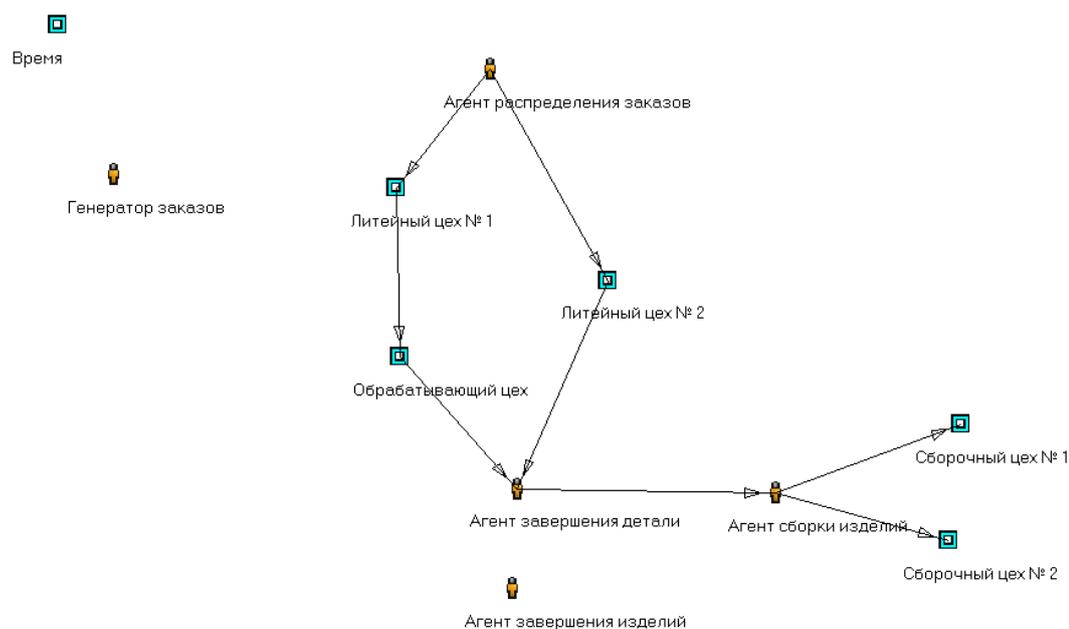


Рис. 5 – Верхний уровень модели текущего распределения

Процесс организации производства с применением метода планирования распределения заказов. Данный подход основан на распределении заказов в зависимости от загрузки однотипных структурных подразделений.

Декомпозиция производственного процесса представлена на рисунке 6.

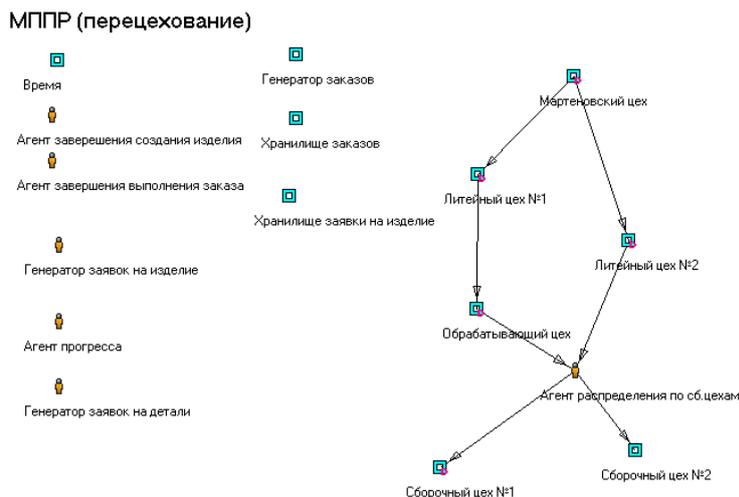


Рис. 6 – Верхний уровень декомпозиции модели МППР/Канбан

Представленная модель и модель стратегии текущего распределения имеют схожую структуру, однако в организации работы модели есть существенные различия, которые оказывают весомое влияние на эффективность работы металлургического предприятия.

Рассмотрим результаты сравнения представленных стратегий по целевым параметрам моделирования для предметной области в начальном состоянии. Результаты моделирования моделей отображены в таблице 2.

Таблица 2 – Сравнение моделей

Характеристика	Текущая модель	МППР
Всего собрано изделий А	28	39
Всего собрано изделий В	27	39
Всего собрано изделий С	18	26
Всего собрано изделий D	10	19
Всего собрано изделий E	8	19
Общее число собранных изделий	91	142
Суммарный % завершенности заказа 1	43,75	51,5625
Суммарный % завершенности заказа 2	24,13793	37,24138
Суммарный % завершенности заказа 3	0	13,924

9. Выводы

Применение разработанной системы в условиях существующего металлургического производства, входящего в состав производственного 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 на примере металлургического производства. Использование данной системы на крупных промышленных предприятиях позволит эффективно загружать дублирующие

структурные подразделения путем пошагового решения задачи: 1) получения эффективного 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.

10. Поддержка

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

Литература

1. **Родников А.Н.** Логистика Терминологический словарь 2-е издание исправленное и дополненное. М ИНФРА-М, 2000 – 352с.
2. **Дэвид Андерсон Канбан.** Альтернативный путь в Agile/Андерсон Дэвид – М.: Манн, 2010. – 216с.
3. Современные экономические теории в трудах нобелиантов [Текст] : учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальностям: 080100 «Экономика», 080200 «Менеджмент» / М. В. Довбенко, Ю. И. Осик. Москва : Акад. естествознания, 2011. - 305 с.
4. Математические методы организации и планирования производства. Репринт. изд./ И.В. Романовский, сост., общ.ред.; Вст. Л. Канторович, вст. ст. – СПб.: Издательский дом С.-Петерб. гос.ун-та, 2012. – 96с.
5. **Валиахметова Ю.И., Филиппова А.С.** Теория оптимального использования ресурсов Л.В. Канторовича в задачах раскроя-упаковки: обзор и история развития методов решения // Вестник Уфимского Государственного Авиационного Технического Университета. Том 18. 2014. №. 1. С. 186-197.
6. **Одинцова Л.А.** Система планирования на предприятии / Л. А. Одинцова. – Текст : непосредственный // Российское предпринимательство. 2002. Т. 3, № 3. С. 44-47.
7. **Смирнов С.А.** Направления совершенствования государственного управления развитием оборонно-промышленного комплекса / С. А. Смирнов. – Текст : непосредственный // Молодой ученый. 2024. № 14 (513). С. 394-400.
8. Исследование операций : в 2-х томах : пер. с англ. / под ред. Дж. Моудера, С. Элмаграби. – М. : Мир, 1981. Т. 2. 677 с. – Текст : непосредственный.
9. **Лазарев, А. А., Гафаров Е.Р.** Теория расписаний. Задача и алгоритмы / Лазарев А. А., Гафаров Е.Р. – М. : Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, 2011. 224 с. – Текст : непосредственный.
10. **Axelrod R.** Advancing the Art of Simulation in the Social Sciences / R. Axelrod. – Text : direct // Simulating Social Phenomena. Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems / ed. by R. Conte, R. Hegselmann, P. Terna. – Berlin ; Springer, Heidelberg, 1997. Vol. 456. P. 21-40.
11. **Макаров В. Л.** Новый инструментарий в общественных науках – агент-ориентированные модели: общее описание и конкретные примеры / В. Л. Макаров, А. Р. Бахтизин. – Текст : непосредственный // Экономика и управление. 2009. № 12. С. 13-25.
12. **Сергеев, В. И.** Корпоративная логистика. 300 ответов на вопросы профессионалов / В. И. Сергеев. М. : ИНФРА-М, 2005. 976 с. Текст : непосредственный.
13. **Sugimori Y.** Toyota production system and Kanban system Materialization of just-in-time and respect-for-human system. – Text : direct / Y. Sugimori, K. Kusunoki, F. Cho, et al. // International Journal of Production Research. 1977. Vol. 15, № 6. P. 553-564.

14. **Medvedev S.N.** Comparative analysis of multi-agent systems and Kanban system in the construction of operational production plans for engineering enterprises / S.N. Medvedev, K.A. Aksyonov. Text : direct // 24th Int. Crimean Conference «Microwave & Telecommunication Technology» (CriMiCo'2014). 7-13 September. – Sevastopol, 2014. Vol. 1. P. 433-434. DOI: 10.1109/CRMICO.2014.6959465.
14. **Скобелев, П. О.** Открытые мультиагентные системы для оперативной обработки информации в процессах принятия решений : дис. ... д-ра техн. наук : 05.13.01 / Скобелев П. О. – Самара : Российская Академия наук ; Институт проблем управления сложными системами, 2003. – 419 с. – Текст : непосредственный.
15. **Аксенов, К. А.** Динамическое моделирование мультиагентных процессов преобразования ресурсов / К. А. Аксенов, Н. В. Гончарова. – Екатеринбург : ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2006. – 311 с. – Текст : непосредственный.
16. **Aksyonov K. A.** Theory and practice of decision support tools / K. A. Aksyonov. – Germany, Saarbrucken : LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2001. – 341 p. – Text : direct.
17. **Аксенов К.А., Шолина И.И., Сафрыгина Е.М.** Разработка и применение объектно-ориентированной системы моделирования и принятия решений для мультиагентных процессов преобразования ресурсов // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Информатика. Телекоммуникации. Управление. 2009. № 80. С. 87-97.
18. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2019617086 Российская Федерация. Автоматизированная информационно-аналитическая система учета движения ТМЦ и планирования производства (АС «Анализ, учет и планирование»): № 2019617086 : заявлено 21.05.2019 : опубликовано 03.06.2019, Медведев С.Н., Аксенов К.А., Гончарова Н.В.; правообладатель ФГАОУ «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина». Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ.