

## ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА «ПЕРЕЦЕХОВАНИЯ» ЗАКАЗОВ ДЛЯ РАВНОМЕРНОЙ ЗАГРУЗКИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ МОЩНОСТЕЙ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

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

Управление машиностроительным предприятием в современных условиях трудоемкая и ответственная задача, которая связана с постоянным принятием решений на всех уровнях управления. Выполнение производственных заказов в срок является приоритетом, так как срыв сроков может привести к потере полученных заказов, снижению репутации и, как следствие, уменьшению объема продаж и прибыли. Для выполнения заказов необходимо правильно организовать и распределить заказы внутри предприятия, обеспечить поставку материалов от поставщиков в срок. При задержках и сбоях в одном из структурных подразделений последствия отражаются на всей технологической цепочке, что может повлиять на себестоимость, сроки выпуска и поставки заказанных изделий. Для исключения задержек необходимо правильно распределить номенклатуру изделий на имеющихся производственных мощностях. Для анализа производственных процессов может применяться модель мультиагентных процессов преобразования ресурсов (МППР) [1–2]. Рассмотрим применение различных моделей МППР для анализа работы металлургического производства внутри машиностроительного предприятия при выпуске литейных изделий.

### Методы планирования на металлургическом производстве

Факторы, которые вызывают сбои и задержки могут быть связаны с неожиданным выходом из строя технологического оборудования, невыходом на работу персонала, отсутствием материалов и т.д. Учет всех производственных факторов при составлении производственного расписания – не только трудно вычисляемая задача, но и труднореализуемая. В случае планирования производства с учетом производственных мощностей подразделений может произойти ситуация, когда какое-то подразделение окажется не способным выпустить нужное количество продукции в поставленные сроки из-за нехватки ресурсов, в результате чего будут сдвинуты или сорваны сроки поставки заказчику. Для решения данной задачи необходимо рассмотреть возможность изменения технологического маршрута изготовления группы деталей, т.е. подобрать подходящий цех, который имеет меньшую загрузку, необходимое оборудование и соответствующий персонал. Смена межцехового маршрута необходима для разгрузки производственных мощностей перегруженного подразделения. При появлении нового заказа на предприятии необходимо пересчитывать план производства и в случае перегрузки какого-либо подразделения корректировать технологический маршрут. Если изменить технологический маршрут группы деталей не представляется возможным, то рассмотреть возможность изменения режима работы подразделения либо сдвига планов выполнения имеющихся заказов. Анализ статистических данных работы в цехах показал, что у каждого типа детали на определенных этапах производства может возникнуть брак разного вида и с разной вероятностью. Известен алгоритм отсортировки бракованной продукции, применяемый технологами (рис. 1).

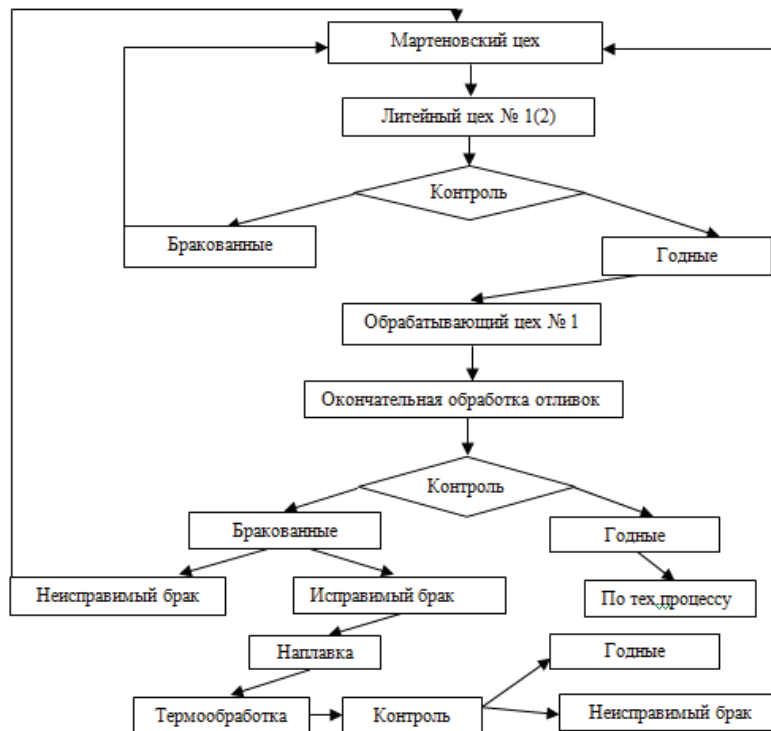


Рис. 1. Алгоритм отсортировки бракованных деталей

Задача, которую необходимо решить, заключается в изготовлении трех типов деталей за 160 часов с поиском узких мест и возможностью изменения технологического маршрута в случае превышения загрузки подразделения. Рассмотрим несколько подходов.

### «Канбан»

«Канбан» представляет собой карточки нескольких видов [4], которые передаются от операции к операции. Следование технологическому процессу, регламентированные по времени и способу перемещения между операциями, четко поставленные задачи по производству позволяют добиться феноменального успеха. Рассматриваемая задача с точки зрения «Канбан» будет выглядеть следующим образом (рис. 2).

Четкое распределение заказов внутри производства позволяет равномерно загружать имеющееся оборудование и персонал организации.

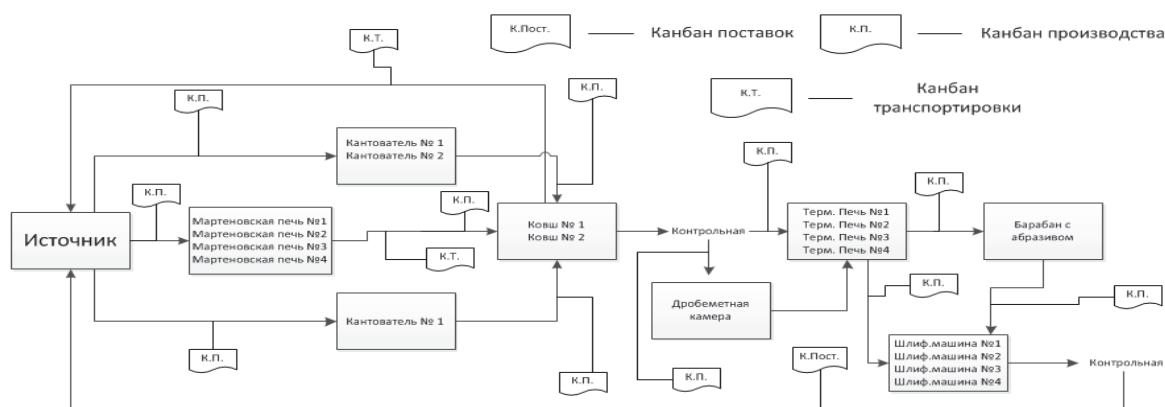


Рис. 2. Представление предприятия по принципу выполнения «Канбан»

Передача карточек «Канбан» между подразделениями, а также внутри цеха позволяет отследить «узкие» места производства, следить за незавершенным производством. Деление заказа между однотипными подразделениями при помощи карточек невозможно без дополнительных расчетов по определению существующей производственной загрузки для определения необходимого количества деталей и сборочных единиц для изготовления.

### Сеть потребностей и возможностей (ПВ-сеть)

ПВ-сеть представляет собой множество  $D=\{A, R, P, G\}$ , где  $A$  – множество агентов потребностей и возможностей в заданной предметной области,  $R$  – множество отношений между агентами потребностей и возможностей,  $P$  – множество правил установки соответствий и принятия решений между агентами,  $G$  – множество целей агентов [3]. Для поставленной задачи опишем основные типы агентов (табл. 1).

Таблица 1

Агент	Функциональные обязанности
Агент заказа продукции	Добивается выполнения заказа в кратчайшее время, с минимальной стоимостью и отсутствием рисков. Находит агента нач. цеха, который сможет выполнить работу по его запросам.
Агент директор предприятия	Отвечает за распределение заказов между агентами нач. цехов. Отслеживает сроки и удовлетворенность выполнения поступивших заказов.
Агент нач. цеха	Отвечает за соблюдение технологического процесса изготовления заказанной у него продукции для удовлетворения потребностей клиента. Выявляет и устраняет «узкие места», направляя туда дополнительные ресурсы. Отвечает за построение производственного плана и его согласование с агентами заказа продукции. Занимается диспетчеризацией производства и разрешением конфликтов.
Агент планировщик	Занимается нахождением и распределением ресурсов, планированием для выполнения поступивших заказов. Информирован о завершении тех или иных видов работ. Старается эффективно распределить существующие ресурсы.
Агент рабочий	Старается быть максимально загруженным поступившими заказами. В случае недогрузки активно предлагает свои возможности для выполнения каких-либо видов работ.
Агент технолог	Старается создать эффективный технологический процесс с минимальным количеством перемещений и перестановок.

Рассмотренные агенты ПВ-сети взаимодействуют друг с другом путем переговоров (рис. 3). Агент заказа, поступив на предприятие, обращается к агенту директору со своими требованиями (потребности). Агент директор обращается к агентам начальников цехов, которые определяют свои возможности для выполнения поступившего заказа. После выбора агент нач. цеха активизирует внутренние ресурсы делая запросы к оборудованию, станкам, материалам. Агенты анализируют текущую ситуацию для определения мест включения в расписание пришедшего заказа.

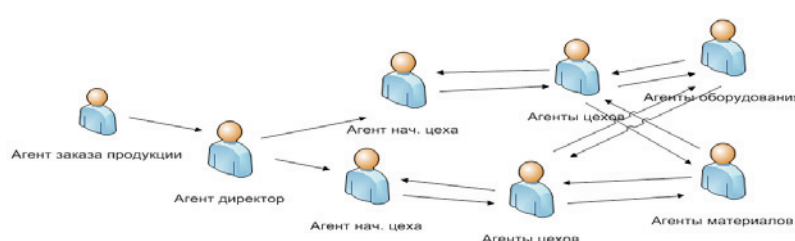


Рис. 3. ПВ-сеть задачи планирования производства

Каждая сущность в представленной онтологии представляет собой маленькое предприятие, которое действует независимо в рамках «материнской» компании. Взаимодействие между отдельными сущностями происходит на основе своих возможностей и потребностей. В рамках поставленной задачи рассматривается возможность «переехивки» заказа или части заказа на однотипное подразделение с таким же оборудованием, персоналом.

### Метод «Переехивания»

В процессе разработки моделей «Канбан» и «ПВ-сеть» применялись интеллектуальные агенты (ИА), каждый из которых имеет данные по производственной мощности однотипных цехов, алгоритм переехивания (изменения технологического маршрута).

Основой ИА является алгоритм распределения, который заключается в следующем: существует производственная мощность у каждого подразделения. Данный показатель показывает, насколько в настоящий момент загружен цех(цеха). ИА следит за параметром загрузки у однотипных подразделений (в нашем случае их два). При поступлении производственного задания в основной цех (литейный цех №1) агент просчитывает возможность подразделения выполнить заказ в назначенный срок, анализирует доступность технологического оборудования и ресурсов, которые участвуют в процессе производства.

Если происходит превышение допустимого значения (загрузка близка к 100% и возникают очереди) хотя бы по 1 ед. оборудования, то возникает необходимость проанализировать загрузку однотипного подразделения и выяснить, возможно ли изготовление на его мощностях.

В случае невозможности полностью выполнить заказ в одном из двух цехов проверяется возможность разделить заказ на части в зависимости от доступности деления производственных мощностей на два подразделения, после чего задание разбивается и раздается подразделениям.

### Сравнение подходов

В табл. 2 проведено сравнение подходов с классическими методами.

Таблица 2

№п/п	Параметр	«Канбан»	ПВ-сети	МППР + «переехивка»
1	Поддержка «переехивания» заказов	-	-	+
2	Поддержка большого количества технологических операций	+	+	+
3	Использование для крупно-серийного производства	+	+	+
4	Анализ «узких» мест производства	+	+	+
5	Получение эффективного плана	+	+	+
6	Полный пересчет производственного плана при добавлении нового заказа	-	+	+
7	Использование экспертных данных	-	-	+
8	Поддержка мультиагентного ИМ	-	-	+

По данным табл. 2 видно, что применение МППР с методом «переехования» удовлетворяет всем рассмотренным критериям.

### **Результаты моделирования стратегий**

Сравнение работы рассмотренных моделей проводилось по наилучшим показателям, которые были получены в разных экспериментах. В ходе экспериментов вносились изменения в работу моделей, направленные на исключение «узких» производственных мест. Полученные данные представлены в табл. 3.

Таблица 3

Характеристика	Прост. модель	«Канбан»/МППР	ПВ-сеть/МППР
Всего собрано изделий А	28	39	39
Всего собрано изделий В	27	39	38
Всего собрано изделий С	18	26	26
Всего собрано изделий D	10	19	19
Всего собрано изделий E	8	19	18
Общее число собранных изделий	91	142	140
% завершенности заказа 1	43,75	51,5625	49,21875
% завершенности заказа 2	24,13793	37,24138	37,24138
% завершенности заказа 3	0	13,924	14,557

Модель производства по принципу «Канбан» с задачей справилась лучше, увеличив общее производство деталей по сравнению с простой моделью в 1,56 раз. Модель «ПВ-сети/МППР» имеет близкий по показателю результат с «Канбан/МППР». ПВ-сеть в данном случае, в отличие от стратегии «Канбан» показала наилучший процент завершенности заказа № 3, который появляется в конце моделирования. Наиболее оптимальной стратегией переключения заказов между подразделениями металлургического предприятия, является стратегия «Канбан», так как прирост завершенных изделий составляет 15, а производительность подразделений увеличилась в 1,6 раза.

### **Заключение**

Результаты исследования показали, что, использование модели МППР/Канбан при решении задач производственного планирования связанных с изменением технологического маршрута при превышении допустимой загрузки позволит получить необходимый результат, что позволит выполнить в срок производственные заказы.

## Литература

1. **Aksyonov K., Bykov E., Aksyonova O., Nevolina A., Goncharova N.** Architecture of the Multi-agent Resource Conversion Processes Extended with Agent Coalitions // IEEE International Symposium on Robotics and Intelligent Sensors, IRIS 2016; Hosei University Tokyo; Japan; 17 December 2016 through 20 December 2016; Code 134518. Procedia Computer Science 105. P. 221–226. DOI: 10.1016/j.procs.2017.01.214 WOS:000398830900036.
2. **Aksyonov K., Bykov E., Aksyonova O., Nevolina A., Goncharova N.** Architecture of the Multi-agent Resource Conversion Processes Extended with Agent Coalitions // IEEE International Symposium on Robotics and Intelligent Sensors, IRIS 2016; Hosei University Tokyo; Japan; 17 December 2016 through 20 December 2016; Code 134518. Procedia Computer Science 105, pp. 221-226. DOI: 10.1016/j.procs.2017.01.214 WOS:000398830900036.
3. **Скобелев П.О.** Открытые мультиагентные системы для оперативной обработки информации в процессах принятия решений: дис. на соиск. степ. доктора техн. наук: 05.13.01. Самара, 2002. 418 с.
4. **Sugimori Y., Kusunoki K., Cho F., Uchikawa S.** Toyota production system and Kanban system Materialization of just-in-time and respect-for-human system // International Journal of Production Research - INT J PROD RES. 1977. Vol. 15. № 6. P. 553–564.