

Модели обработки данных при управлении ресурсами в задаче календарного планирования производства

Д.А. Ризванов
Факультет информатики робототехники
Уфимский государственный авиационный
технический университет
Уфа, Россия
e-mail: ridmi@mail.ru

Е.С. Чернышев
Факультет информатики робототехники
Уфимский государственный авиационный
технический университет
Уфа, Россия
e-mail: chernyshevevgenij@rambler.ru

И.Ф. Иванова
Факультет информатики и робототехники
Уфимский государственный авиационный технический университет
Уфа, Россия
e-mail: ivanovaif@yandex.ru

Аннотация¹

Автоматизированное календарное планирование в производстве в целях повышения эффективности деятельности предприятия используется в последнее время достаточно часто, однако некоторые вопросы внутрицехового планирования остаются нерешенными. В настоящей статье рассмотрена задача календарного планирования производственных процессов на примере авиадвигателестроительного предприятия. Для решения задачи выравнивания выполнения производственного плана цеха предложено использовать модель аутсорсинга – передачу изготовления деталей одного участка другому. Для управления ресурсами в задаче календарного планирования с использованием аутсорсинга предлагается модель обработки данных при межучастковой кооперации.

1. Введение

Основными факторами долгосрочного развития любого предприятия сегодня являются грамотное стратегическое управление, инновации, эффективность производства, квалификация сотрудников и инвестиции в информационные технологии. Поэтому главными задачами отечественного машиностроительного комплекса являются: освоение высокотехнологичных изделий, модернизация оборудования и технологий, укрепление рыночных позиций и приток

квалифицированных кадров, т.е. переориентация на интенсивный, опережающий путь развития.

Эффективность организации производства зависит, прежде всего, от качественного календарного планирования производства, распределения ресурсов, равномерной загрузки производственных мощностей при изготовлении деталей.

Однако при составлении календарного плана, распределении работ по персоналу, оборудованию не учитываются индивидуальные характеристики работников и оборудования, а этот фактор является крайне важным. Весь персонал одной профессии выглядит так, словно они взаимозаменяемые машины, где при замене одного на другого ничего не изменится. В реальности люди работают с разной скоростью, качеством и даже имеют свои предпочтения в работе, что сказывается в конечном итоге на сам план. Оборудование тоже может иметь ограничения по габаритам, массе деталей, качеству изготовления продукции и т.д.

Таким образом, разработка программного обеспечения для управления ресурсами с учетом этих факторов позволит повысить качество календарного планирования и эффективность производственного процесса.

2. Описание задачи

Основная задача календарного планирования производственного участка цеха состоит в распределении имеющихся ресурсов для выполнения производственного задания изготовления деталей с учетом специфики предметной области [1].

Рассмотрим задачу календарного планирования на примере авиадвигателестроительного предприятия. Товарной продукцией такого предприятия является комплектный авиационный двигатель

Труды Шестой всероссийской научной конференции "Информационные технологии интеллектуальной поддержки принятия решений", 28-31 мая, Уфа-Ставрополь, Россия, 2018

(моторокомплект). Технологический процесс изготовления и сборки авиационного двигателя характеризуется следующими показателями:

- количество входящих деталей ~6,5 тыс. видов, общее количество деталей более 75 тыс. шт. (т.к. некоторые детали используются многократно в одном двигателе, например, максимальное применение – входимость у шайбы контровочной ~ 1,5 тыс. шт. на один двигатель), в том числе:
 - крупноразмерные детали (диски, корпуса, обоймы, роторы, агрегаты) – более 200 поз., около 900 шт.;
 - средне размерные детали (крышки, лабиринты, обечайки, фланцы) – более 1,2 тыс. поз, более 10,8 тыс. шт.;
 - мелкоразмерные детали (кольца, пальцы, скобы, тяги и пр.) – более 2,6 тыс. поз., более 22,5 тыс. шт.;
 - крепеж и метизы (гайки, штифты, болты, винты и пр.) – более 1,3 тыс. поз., более 38 тыс. шт.;
 - трубопроводы и арматура (патрубки, тройники, ниппели, штуцеры) – более 1,2 тыс. поз., около 2,8 тыс. шт.
- суммарное количество операций всех технологических процессов – более 46 тыс. (424 уникальных операции);
- количество шифров применяемого инструмента – более 53 тыс., в том числе:
 - мерительный – более 21,8 тыс. видов;
 - режущий – более 9,3 тыс. поз.;
 - специальное оснащение (приспособления) – более 22,2 тыс. поз.;
- количество задействованного персонала – около 21 тыс. чел., в том числе:
 - основного производственного 6,5, в том числе:
 - станочники (токари около 1000, фрезеровщики более 500, шлифовщики около 500, операторы станков с ЧПУ – более 600, электроэрозионисты – около 100, прочие профессии – более 1,3 тыс. чел) – более 4 тыс. чел. (~ 100 уникальных профессий);
 - других профессий (слесари механо–сборочных работ, полировщики, притирщики, доводчики и др.) – более 2,5 тыс. чел.;
 - вспомогательного (распределители работ, кладовщики, мойщики и др.) – более 8,5 тыс. чел.;

- рабочие, специалисты, служащие (технологи, инженеры, мастерской состав, руководители цехов и др.) – более 5,5 тыс. чел.;

- задействовано более 2 тыс. ед. основного технологического оборудования – станков (в каждом цехе, в зависимости от его величины и назначения может быть ориентировочно от 50 до 280 станков).

Ввиду большого количества входящих деталей и сборочных единиц – ДСЕ (вместе с узлами и подбороками), их сложности и высокой трудоемкости, производственный цикл изготовления моторокомплекта составляет ориентировочно 1,5 года. При этом предприятие может выпускать несколько видов двигателей, что увеличивает номенклатуру изготавливаемых ДСЕ и, соответственно, усложняет планирование. В производстве каждого моторокомплекта задействовано множество цехов, оборудования, персонала, инструмента, при этом для разных видов двигателей они различны. Для выполнения производственного плана от персонала цехов требуется работа, направленная на своевременное покомлектное изготовление деталей и обеспечение ими смежных цехов.

Несмотря на то, что современное авиадвигателестроительное предприятие является достаточно слаженным механизмом, за такой длительный промежуток времени в производстве может случиться многое: выход из строя уникального (единственного в своем виде на данном предприятии) оборудования, недостаточность инструмента, вспомогательных материалов или иных ресурсов, в том числе людских (длительное отсутствие на работе «узкого» специалиста: заболевание, отпуск). Такие форс–мажоры создают сильный дисбаланс в работе производственных участков, цехов и предприятия в целом.

Время выполнения любой операции механической обработки детали (например, токарной) состоит из:

1. время настройки – время, необходимое для установки и настройки приспособлений на станке;
2. время установки – время, необходимое для очистки приспособления от стружки и установки детали на станок (приспособления проектируются и изготавливаются таким образом, чтобы минимизировать время переустановки деталей);
3. время выполнения операции;
4. время снятия детали;
5. время послеоперационного снятия приспособления.

С целью сокращения непроизводительного времени (дооперационная настройка станка и послеоперационного снятия приспособления), которое имеет достаточно длительную

продолжительность, изготовление деталей задается партиями (размер партии зависит от длительности выполнения операции – например, длительность времени 1 и 5 должна составлять около 20% от времени 2–4 для всей партии). При этом работы по настройке станка (1 и 5) закреплены за наладчиком, а станочники выполняют работы 2–4.

В случае возникновения ситуации с отставанием от графика, для доукомплектования изделий, партию делят на несколько поменьше либо «отрывают» детали от партии – изготавливают одну – две детали отдельно от всей партии. При таком подходе время настройки и время послеоперационного снятия приспособления затрачивается для каждой партии, а то и для каждой детали. Таким образом увеличивается время занятости оборудования не связанного с изготовлением деталей и нагрузка на наладчиков, которые вынуждены по несколько раз настраивать одну и ту же деталь. Также не исключено, что выполняя работы по повторной настройке деталей, наладчик переносит срок настройки другого станка, т.к. как правило, за одним наладчиком закрепляется несколько станков.

Таким образом, простое, на первый взгляд, отставание от графика влечет за собой серьезные последствия, связанные с риском последующей невозможностью своевременного укомплектования изделий, а также рост нагрузки на плановые службы цехов и участков.

Поэтому разрабатываемая система календарного планирования должна учитывать всю специфику предметной области: свойства деталей, графики работы ресурсов, их квалификацию и производительность (параметры «производительность» и «качество»), которые могут изменяться со временем и оказывают существенное влияние на сроки изготовления каждой отдельной ДСЕ и производственный цикл изготовления двигателя в целом.

Основную часть процесса формирования календарного плана составляет подбор необходимых подходящих ресурсов для выполнения операций технологического процесса изготовления ДСЕ. При выборе подходящего ресурса (из множества имеющихся) необходимо проверить категорию ресурса, значения параметров «качество» и «производительность» на соответствие требуемым. Таким образом проверяются все ресурсы.

Для составления календарного плана ресурс подбирается так, чтобы снизить время выполнения операции (параметр «производительность») без потери требуемого качества (параметр «качество») с учетом доступности имеющихся ресурсов. Этого можно достичь путем полного перебора всех ресурсов, относящихся к нужной категории. Тогда, согласно проведенным оценкам, количество таких переборов ресурсов для каждой операции может достигать 200. Как правило, для выполнения

операции необходимо несколько ресурсов – $2 \div 3$, для изготовления одной детали необходимо 10–20 операций, а месячный план изготовления может достигать 1000–2000 позиций номенклатуры. Таким образом, количество проверок параметров ресурсов, необходимое для составления календарного плана, может составлять $4\,000\,000 \div 24\,000\,000$. Это потребует длительного времени ($1,17 \div 7,02$ часа) [2].

Для решения задачи календарного планирования производственных процессов ранее были разработаны математическая модель [1, 3], информационное и алгоритмическое обеспечение [4, 5]. При разработке программного обеспечения предложено использовать многоагентный подход [3].

3. Применение многоагентного подхода для решения задачи

Агенты – это активные объекты (программные модули) [6], которые могут инициировать целенаправленную деятельность по восприятию среды и воздействию на неё, обладающие следующими «ментальными» свойствами (или их подмножеством):

- знания (knowledge) – постоянные, неизменяемые в процессе функционирования знания агента о себе, среде и других агентах;
- убеждения (beliefs) – знания агента о среде (в том числе, о других агентах), которые могут стечением времени изменяться и становиться неверными;
- желания (desires) – состояния, которые агент желает достичь (могут быть противоречивыми), аналогичны целям;
- обязательства (commitments) – задачи, решение которых агент берет на себя в рамках кооперации с другими агентами по их просьбе или поручению;
- намерения (intentions) – действия, которые собирается выполнить вследствие своих желаний или в силу взятых на себя обязательств.

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, благодаря достаточному запасу компонентов и самоорганизации.

Данный способ реализации поддерживает на уровне стратегий «человеческие» эвристики. Можно реализовать алгоритм, моделирующий поведение людей в данной «жизненной» ситуации.

В персональном компьютере такие агенты реализуются в виде отдельных независимых потоков

одинакового класса (типа), которые наделяются различными механизмами, необходимыми для взаимодействия друг с другом или (если имеются) другими классами потоков (агентами).

Для решения задачи календарного планирования были выделены основные типы агентов многоагентной системы и присущие им свойства [4]: деталь, операция, ресурс.

Операцию для изготовления деталей можно представить в виде независимого агента, способного самостоятельно работать и подбирать себе все необходимое для работы. Если каждая такая операция будет независимо от других подбирать необходимые ресурсы для выполнения, то есть подбор ресурсов будет производиться параллельно, то время на это существенно снизится по сравнению с последовательным подбором ресурсов.

Для определения целесообразности применения многоагентного подхода при составлении календарного плана был проведен эксперимент [2], в котором распределение ресурсов проводилось последовательно, а также параллельно независимыми потоками в различных комбинациях. Проведенный эксперимент показал целесообразность применения многоагентного подхода (с точки зрения ускорения процесса распределения ресурсов) для решения поставленной задачи: смоделированная в эксперименте ситуация показала, что при применении многоагентного подхода (работало максимально 15 агентов–операций) скорость подбора ресурсов для выполнения задачи была приблизительно в четыре раза выше, чем при обычном последовательном переборе.

4. Модель обработки данных при межучастковой кооперации

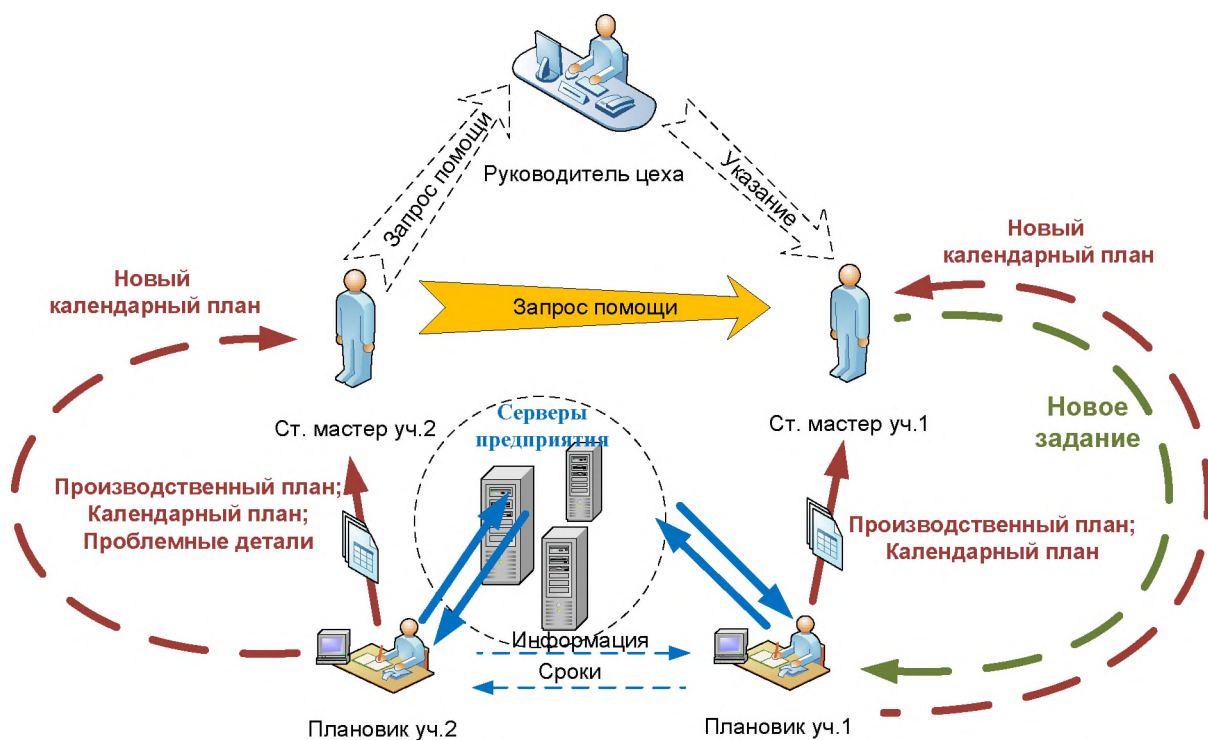
В настоящее время в связи с постоянно растущими объемами производства, освоением новых изделий, выполнением НИОКР, выполнением ремонта изделий, растет и нагрузка на плановые службы предприятия и цехов. Рост номенклатуры и необходимость ее своевременного изготовления в

условиях ограниченных ресурсов требует постоянного перепланирования. Причиной этого может быть, как «команды сверху» о срочной необходимости изготовления тех или иных деталей, так и «форс–мажоры», связанные с ресурсами: невыход работников на работу, поломка оборудования, инструмента, а также «переборками» изделий из-за некачественной работы на ранних этапах.

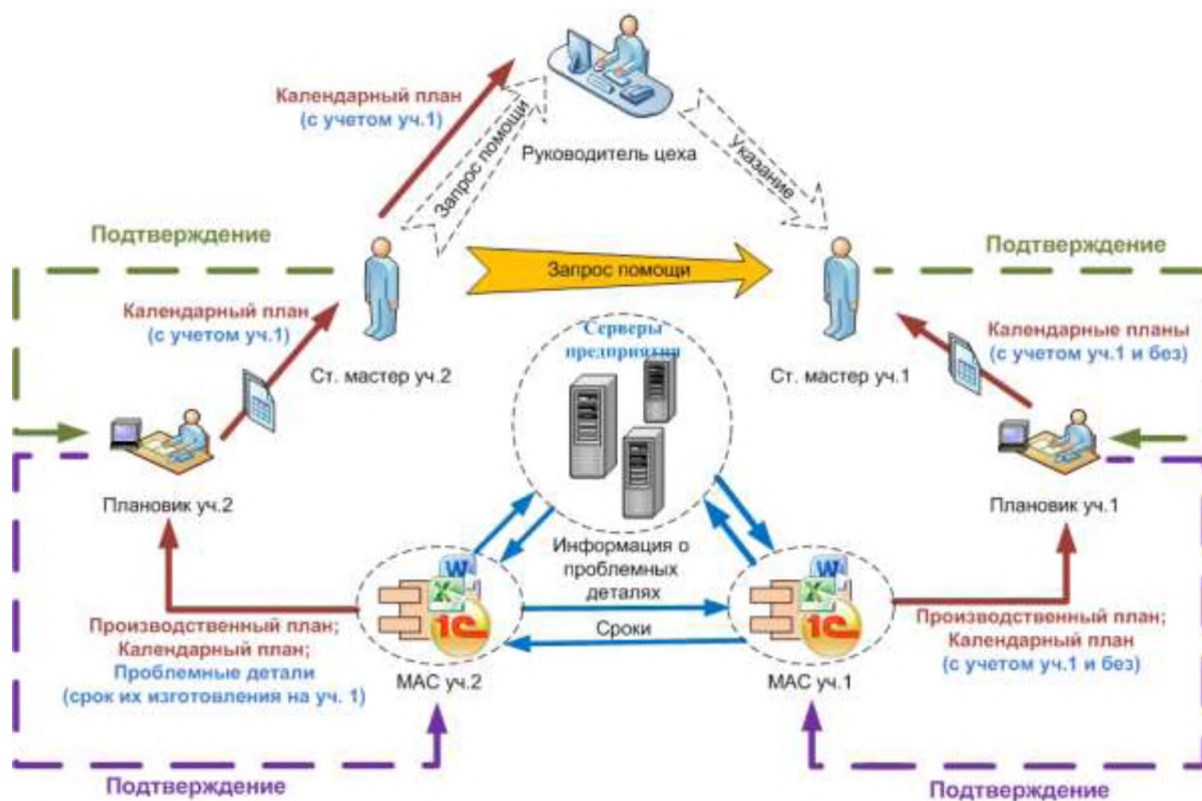
В связи с большим количеством входящих деталей, необходимой высокой точности при их изготовлении и большой трудоемкостью изготовления, производство таких сложных изделий как авиационный двигатель невозможно выполнить в одном цехе. В тоже время выпуск деталей должен быть согласован таким образом, чтобы узлы и детали поступили на участок конечной сборки примерно в одно и тоже время (так же и все детали, входящие в один и тот же узел должны поступать на сборку в нужном количестве одновременно). В связи с этим планы изготовления задаются цехам таким образом, чтобы выполнялись условия одновременности поступления деталей и узлов на сборку/подсборку для каждого моторокомплекта, так как «оторванные» от моторокомплекта детали фактически не будут востребованы, как и полностью готовый моторокомплект без одной детали.

В таких условиях одним из эффективных инструментов для выполнения производственного плана цехом может стать межучастковая кооперация, аутсорсинг – когда один производственный участок «помогает» другому в изготовлении его номенклатуры.

Такой метод работы достаточно распространен в производстве, однако планирование при этом очень затруднено. Это связано с отсутствием полной и точной информации у «участка–помощника» о технологическом процессе изготовления, необходимых ресурсах и требованиях к ним, а также другой информации о деталях смежного участка.



а: Схема существующего взаимодействия производственных участков



б: Целевая схема взаимодействия производственных участков (с участием MAC)

Рис. 1. Существующая (а) и целевая (б) схемы взаимодействия производственных участков

Существующая ситуация.

Модели обработки данных при управлении ресурсами в задаче календарного планирования производства

При возникновении необходимости выполнения такого аутсорсинга плановик отстающего участка (Уч1) по заданию руководителя участка (старшего мастера, начальника участка) составляет перечень позиций, входящих в группу риска, а также перечень операций – «узких мест» со сроками изготовления, которые надо отдать на аутсорсинг – «расшить». При этом в виду большой сложности расчетов, горизонт планирования при составлении такого перечня будет небольшим. После этого плановик доводит проблему до руководителя Уч1, который в свою очередь, тоже должен какое-то время проработать полученную информацию и принять решение о необходимости запроса помощи у другого участка («участка-помощника» – Уч2). После принятия такого решения руководитель Уч1 передает информацию руководителю Уч2, который, в свою очередь, дает задание своему плановику проработать полученную информацию и, с целью оценки возможных

последствий, составить совокупный план с учетом выполнения операций деталей Уч1. После составления плана (ограниченно точного) руководитель Уч2 принимает решение об изготовлении предлагаемых деталей/выполнении тех или иных операций, либо только какой-то их части. После принятия решения об изготовлении только части предлагаемых деталей/операций, плановикам обоих участков необходимо произвести пересчет своих планов.

Такой подход требует длительного времени на принятие решения и при этом не гарантирует точности составления плана на Уч2, так как плановику Уч2 не известны особенности изготовления передаваемых деталей, а также прочая сопутствующая информация (которыми в полной мере владеет руководитель «родного» участка): наличие и состояние приспособлений, инструмента и т.д. (Рис. 1а, 2).

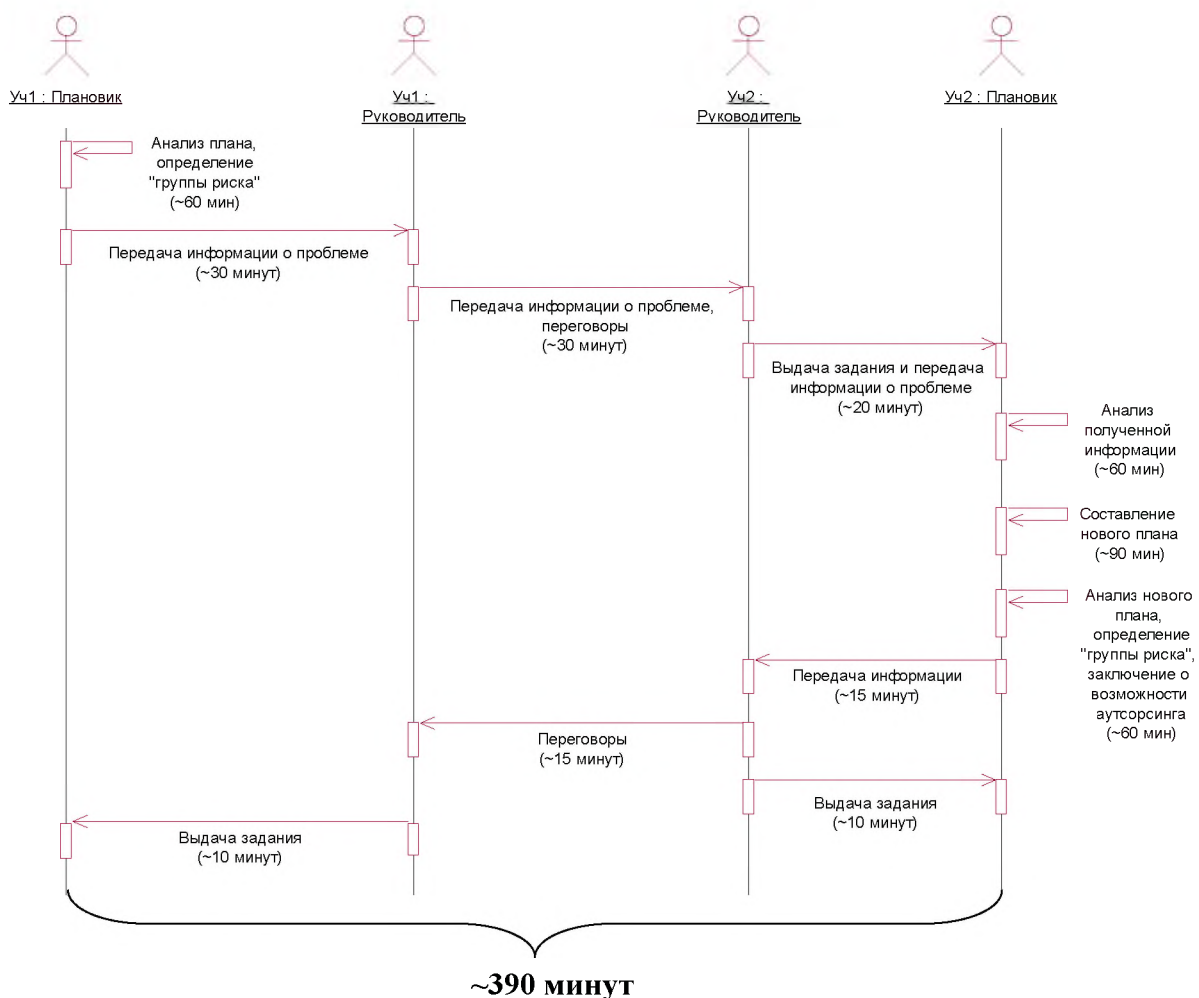


Рис. 2. Диаграмма существующей последовательности взаимодействия

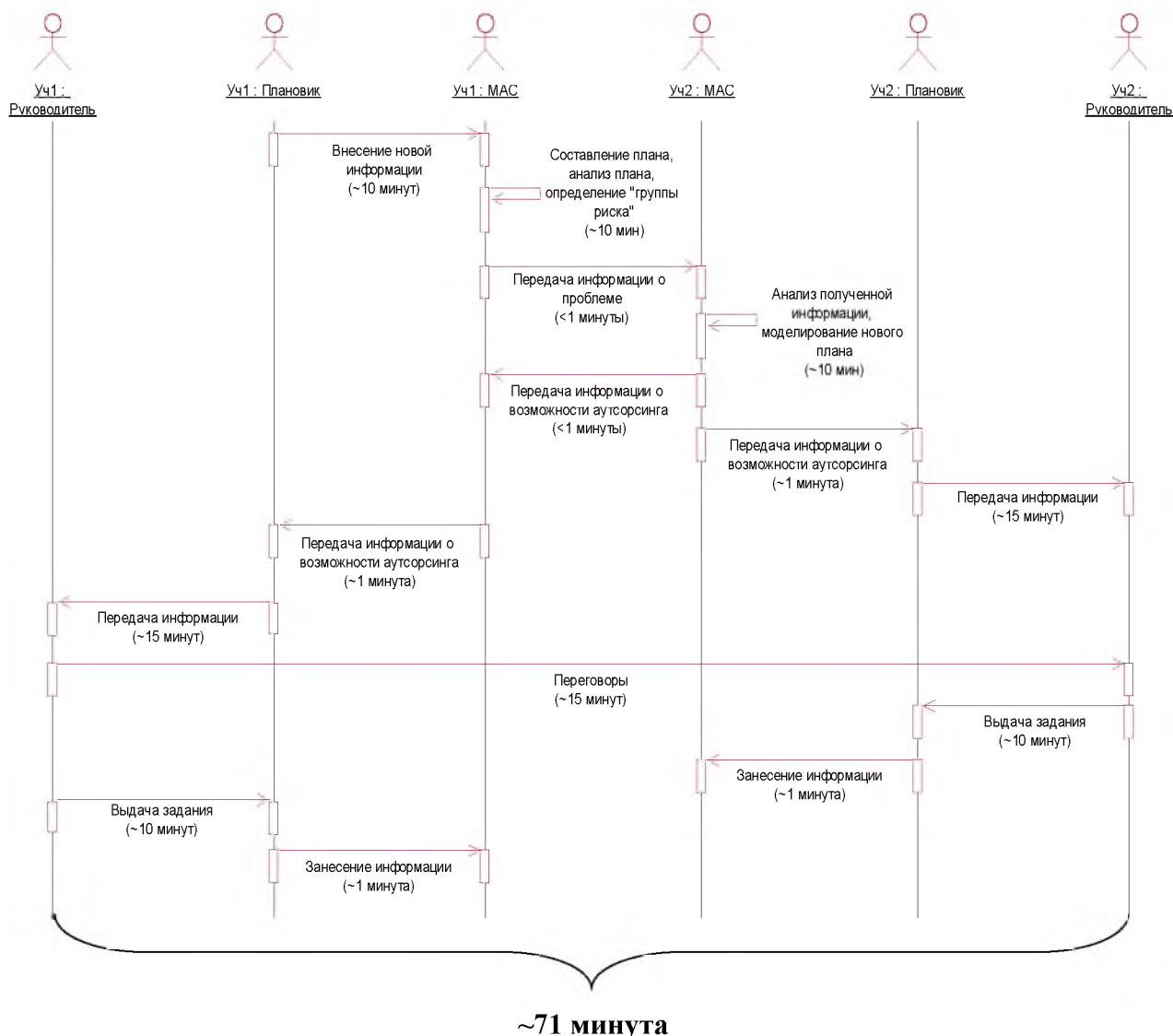


Рис. 3. Диаграмма последовательности взаимодействия с участием МАС.

Целевая ситуация.

Для автоматизации процесса пересчета планов при межучастковом аутсорсинга предлагается использование МАС [7], которые способны выполнить такие расчеты в автоматическом режиме значительно быстрее и точнее.

После внесения новой информации плановиком, МАС участка 1 (МАС_1) анализирует возможности своего участка и составляет план (с учетом приоритетности деталей), в котором есть «провальная» номенклатура. Составив такой перечень, МАС_1 посылает запрос в МАС участка 2 (МАС_2) – возможного «участка-помощника», в котором содержится перечень деталей и их свойства (при наличии), технология изготовления этих деталей, перечень необходимых ресурсов и их квалификация, а также прочая сопутствующая информация. Получив запрос, МАС_2 проверяет у себя наличие необходимых ресурсов, их загруженность на возможность привлечения их для

изготовления деталей участка 1. Сначала МАС_2 выполняет укрупненную проверку возможности выполнения плана – проверяет конечное время выполнения своего плана и добавляет к нему трудоемкость изготовления (выполнения части операций) от предполагаемой «услуги». Если при укрупненном расчете полученные результаты укладываются в заданные сроки либо выполняется условие одновременности выпуска деталей одного моторокомплекта, то МАС_2 внедряет операции участка 1 в свой производственный план, с учетом требуемых сроков, заданных МАС_1, сдвигая на более поздний срок изготовление «своих» деталей. После расчета своего нового плана МАС_2 посылает в МАС_1 информацию о сроках изготовления (выполнения отдельных операций) деталей участка 1, либо только какой-то части запрашиваемой помощи. МАС_1 выносит предложение руководителям участков, а также начальнику цеха для принятия оперативного решения. После принятия положительного решения МАС обоих участков

вносят изменения в свои производственные планы, а детали/заготовки физически передаются на другой участок для изготовления. Применение МАС таким образом способствует достижению ритмичности выпуска производственными цехами изготавливаемой продукции (Рис. 16, 3).

5. Заключение

В статье рассмотрена задача управления ресурсами при календарном планировании производства. Предложена модель обработки данных для обеспечения межучастковой кооперации, базирующаяся на взаимодействии многоагентных систем. Описана схема взаимодействия разрабатываемого программного обеспечения с существующими информационными системами предприятия и руководящим персоналом цеха для предоставления информации и принятия решений.

Исследование частично поддержано грантом РФФИ 18-07-00193-а.

Список используемых источников

1. D.A. Rizvanov, E.S. Chernyshev, I.A. Lackman. Multiagent Approach Application for Scheduling of Production Processes //CSIT" 2010 Proceedings of the 12th International Workshop on Computer Science and Information Technologies. Russia, Moscow – St.Petersburg September 13–19, 2010 г. Vol. 1. Pp. 92–97.
2. Ризванов Д.А., Чернышев Е.С., Иванова И.Ф. Управление ресурсами при календарном планировании производственных процессов с использованием многоагентного подхода // Материалы XIX Байкальской Всероссийской с международным участием конференции «Информационные и математические технологии в науке и управлении». Иркутск: ИСЭМ СО РАН, 2014. Т.2. С.112–120.
3. Ризванов Д.А., Чернышев Е.С. Многоагентный подход к календарному планированию производственных процессов / Материалы XV Байкальской Всероссийской с международным участием конференции «Информационные и математические технологии в науке и управлении». – Иркутск: ИСЭМ СО РАН, 2010. Часть III. С.7–14.
4. Чернышев Е.С., Ризванов Д.А. Информационное и алгоритмическое обеспечение календарного планирования производственных процессов / Материалы XVI Байкальской Всероссийской с международным участием конференции «Информационные и математические технологии в науке и управлении». Иркутск: ИСЭМ СО РАН, 2011, Т.2. С. 17–25.
5. Чернышев Е.С., Ризванов Д.А. Математическое и информационное обеспечение для управления ресурсами при календарном планировании производственных процессов // Современные

Всероссийская научная конференция "Информационные технологии интеллектуальной поддержки принятия решений", Уфа-Ставрополь, Россия, 2018