

Санкт-Петербургский государственный университет  
Программная инженерия

Смирнов Юрий Константинович

«Система оптимизации управления, планирования и контроля  
использования ресурсов складскими предприятиями на основе  
мультиагентных технологий»

Отчет по учебной (ознакомительной) практике

Научный руководите:  
д.ф.-м.н., профессор Граничин О.Н.

Санкт-Петербург  
2021 год

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	3
1. Анализ существующих решений.....	5
1.1. Системный комплекс от компании 1С.....	5
1.2. Системный комплекс от компании SOLVO .....	5
1.3. Системный комплекс от компании EME .....	5
1.4. Результаты сравнений функциональных возможностей.....	6
2. Сравнение технологий для создания систем.....	7
2.1. Системы на основе систем математических уравнений .....	7
2.2. Системы основанные на нейронные сети и машинного обучения. ....	7
2.3. Системы на основе мультиагентных технологий. ....	8
2.4. Результаты сравнений.....	8
3. Проектирование системы, используя мультиагентный подход.....	10
3.1. Мультиагентный подход к решению задачи планирования и контроля ресурсов складского предприятия. ....	10
3.2. Опыт применения мультиагентной системы.....	13
В ходе изучения дисциплины «Мультиагентные технологии», были получены навыки с п.....	13
Заключение .....	16
Список литературы .....	17

## **Введение**

В настоящее время число фирм, осуществляющие продажу импортированного товара на территории России, постоянно возрастает. Это лишь подтверждает тот факт, что данные организации играют не маловажную роль в бизнес индустрии. Их бесперебойная работа способствует развитию экономике нашей страны, а также является надежным гарантом для обеспечения качества и целостности продуктов.

Ни для кого не секрет, что в большинстве случаев такие организации в независимости от их рода деятельности вынуждены использовать складские помещения, для хранения товара, который в будущем будет перепродан или пойдет на производство.

Управление таким предприятием подразумевает не только использование технологического процесса и управление персоналом, но и правильный подход к хранению и перемещению складских объектов. Здесь необходимо подчеркнуть, что организация управления складского хозяйства является наисложнейшей задачей, так как содержит большое количество переменных, которые выражены в виде функциональных зависимостях от действий работников склада, возникновения различных чрезвычайных ситуаций, которые могут вызваны различными факторами, например не выход сотрудника, поломка оборудования и.т.д.

Сегодня для решения проблем управления складом существуют множество систем, позволяющие автоматизировать действия складского персонала и управления склада в целом. Система управления складом - WMS расшифровывается, как система - Warehouse Management System. Данная система выступает в роли незаменимого инструмента, который производит автоматизацию ключевых процессов, способствует повышению эффективности складской логистики и производить контроль поставок на склад. Ярким примером таких комплексов являются следующие программы:

- 1C: WMS и TMS, совместное решение фирмы «1С» и компании AXELOT.
- SOLVO WMS
- EME WMS

Однако данные системы управления предполагают грамотную организацию работы складского хозяйства с точки зрения хозяйственной деятельности и никак не контролирую действия работников и не способны выполнить задачи по управлению и планированию ресурсами предприятия в реальном времени.

В этой связи становится актуальной задача по разработке систем, которые будут пригодными для решение возникающих проблем с оптимизацией управления, планирования и контроля ресурсов складскими предприятиями.

Становится очевидно, что выявленная проблема носит децентрализованный характер, а актуальной технологией для решения выявленных недостатков является мультиагентный подход.

### **Цели и задачи практической работы**

Целью практической работы является рассмотрение методов и средств необходимых для реализации системы, которая сможет решить задачи связанные с оптимизации управления, планирования и контроля использования ресурсов складскими предприятиями, используя мультиагентные технологии.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Провести анализ существующих решений
2. Провести анализ и сравнить технологий для реализации системы
3. Провести обзор на современные подходы и методы решения задач планирования
4. Разработать структуру мультиагентного метода

## **1. Анализ существующих решений**

Цель данной главы рассмотреть основные возможности программных продуктов, которые применяются фирмами для решения задач автоматизации и оптимизации складских процессов.

### **1.1. Системный комплекс от компании 1С.**

1С – «классика» в своей нише. Известна многим предпринимателям еще с давних времен и до сих пор остается актуальной программой для учета товаров и клиентов.

Выделим несколько характеристических особенностей данного подхода, а именно: система имеет функции. автоматическое формирование всех унифицированных торговых документов, ведет консолидированный учет в нескольких торговых точках, имеет высокую стабильность работы. Также ключевыми особенностями системы является: наличие функционала для полноценного бухгалтерского, налогового и складского учета и интеграцию с любым кассовым и торговым оборудованием.

### **1.2. Системный комплекс от компании SOLVO**

SOLVO- один из российских системных интеграторов и разработчиков систем управления логистическими процессами класса. Система SOLVO WMS - современная система управления складом в режиме реального времени, которая позволяет эффективно автоматизировать даже самые специфичные процессы на складских комплексах с любым типом номенклатуры и объемом оборота.

Выделим несколько характеристических особенностей данного подхода, а именно: система имеет большую масштабируемость, в ней множество различных функций, которые могут быть активированы и настроены пользователями без программирования в любой момент времени по мере развития бизнес-процессов на конкретном складе. Также благодаря технологиям Crystal Reports и BarTender, а также собственным наработкам пользователи могут конструировать и выводить на печать любые отчёты в режиме реального времени.

### **1.3. Системный комплекс от компании EME**

EME.WMS – гибкая логистическая система, которая поддерживает распределенные сети складов, интегрируется с различными ERP-системами и постоянно развивается. Применение EME.WMS позволяет оптимизировать работу склада, скорость и точность подборки заказов, актуализировать информацию об остатках на складе в ERP-системе.

#### 1.4. Результаты сравнений функциональных возможностей

Проанализировав функциональные возможности систем автоматизации работы склада, отобразил результаты в таблице 1.1.

Таблица 1.1. Сравнение функциональных возможностей систем

Критерий\Система	1C:WMS	SOLVO WMS	EME.WMS
Учет складских запасов	+	+	+
Адресное хранение товаров	+	+	+
Партийный учет	+	+	+
Учет тары	+	+	+
Поддержка планограммы склада	+	+	+
Гибкая система отчетности и анализа	+	+	-
Организация внутреннего двора	Отдельный программный продукт +	+	-
Реагирование системы на возникновение непредвиденных ситуациях	-	+	+
Цифровой двойник	-	+/-	+

**Вывод:** Рассмотренные системы выполняют роль классических информационных систем, а именно:

- Имеют последовательность выполнения операций
- Имеют централизованную систему решений
- Управляются с данными
- Предсказуемы
- Стремятся к уменьшению сложности
- Производят тотальный контроль

В связи с эти разработка комплексного решения, обеспечивающие максимально эффективное управление трудовыми ресурсами, техникой и производственным оборудованием для минимизации накладных расходов, повышения уровня сервиса и увеличения общей производительности является актуальной

## **2. СРАВНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ СОЗДАНИЯ СИСТЕМ**

В результате анализа нашел несколько подходов реализации процессов управления предприятием.

### **2.1. Системы на основе систем математических уравнений**

Подход основан на построении математических моделей, содержащих набор переменных, связанных различными алгебраическими или дифференциальными уравнениями. Помимо очевидных преимуществ возможности получения точного решения, у этого подхода есть ряд недостатков: с ростом числа принимаемых во внимание факторов, может потребоваться существенная доработка модели, часть зависимостей может иметь табличный или даже алгоритмический характер, который трудно описать уравнениями, многие универсальные классические алгоритмы не учитывают индивидуальные особенности рассматриваемых в модели объектов. Существующие методы планирования, рассматриваемые в исследовании операций и теории расписаний, не позволяют адаптивно строить связанные планы управления различными ресурсами и решают, в основном, логистические задачи в узких постановках, исходя из предположения, что все исходные данные известны заранее и не меняются в ходе вычислений, что в реальной жизни постоянно нарушается непредвиденными событиями, такими как выход из строя ресурсов, приход приоритетных заказов, задержки при выполнении операций и т.д. Наконец, применение классических комбинаторных методов может быть неприемлемым вследствие экспоненциального роста времени вычислений, сопровождающего рост размерности задачи

Сложность современных производственных и технических систем обусловлена не только увеличением количества входящих в их состав элементов и внутренних связей между ними, но и ростом неопределенности условий их функционирования. Способность быстро адаптироваться к происходящим изменениям становится важнейшей характеристикой, напрямую определяющей экономическую эффективность. Изменению могут быть подвержены не только численные параметры решаемой задачи, такие как число заказов и ресурсов, но и сами знания, лежащие в основе процессов принятия решений, например, сведения об изделиях и технологических процессах, возможностях применения ресурсов в контексте различных ситуаций и т.д

### **2.2. Системы основанные на нейронные сети и машинного обучения.**

В основе подхода лежит применение нейронных сетей для прогнозирования состояния и поведения объекта управления. Данный способ позволяет обобщить накопленные исторические данные предприятия и установить зависимости между входными и выходными параметрами объекта управления, обеспечив получение устойчивого решения даже при наличии ошибок и шумов в данных. В отличие от параметрических математических моделей, модели на основе машинного обучения не требуют явного описания

происходящих внутри объекта процессов, и вместо этого, аппроксимируют имеющиеся в статистических данных закономерности. Но и нейросетевые модели имеют существенные недостатки, среди которых длительная процедура обучения, а также необходимость повторного обучения в условиях неопределенности и динамики, что снижает их способность к адаптации. Методы машинного обучения крайне чувствительны к выбору обучающих массивов данных, на которых проводится обучение и валидация моделей. Обученную модель, как правило, трудно интерпретировать и корректировать с целью внесения в нее дополнительных закономерностей в явном виде, минуя этап накопления достаточного количества статистических данных. Вместе с тем, в будущем такого рода модели и методы могут быть успешно применены для калибровки более содержательных моделей.

### **2.3. Системы на основе мультиагентных технологий.**

С учетом приведенных ранее особенностей задачи управления ресурсами более практичным подходом к разработке системы оптимизации и цифровизации складских задач. Систему можно основывается на использование баз знаний объектной составленной в ходе разработки и мультиагентных технологий.

Системы данного характера обычно представляют собой формализованную модель знаний предметной области в виде семантической сети классов понятий и отношений, которая может помочь настраивать агентов на специфику работы каждого конкретного предприятия. Опыт решения практических задач управления ресурсами показывает, что ключевым фактором, влияющим на качество и эффективность планирования, являются не столько «изобретательные» математические методы планирования, сколько профессиональные знания специалистов, которые определяют семантику предметной области и содержательные особенности решаемых задач.

Таким образом для повышения качества и эффективности планирования, прежде всего, требуется учитывать знания об особенностях объектов и процессов предметной области. Мультиагентные технологии позволяют поставить в соответствие каждому физическому или абстрактному объекту производственного предприятия свой класс специально разработанного программного агента, который будет действовать от его лица и в его интересах, сам по себе, выступая в виде микро-контролера такого объекта. При этом событие, возникающее с каждым из указанных объектов, может вызывать процесс адаптивного пересмотра и перестроения в реальном времени планов предприятия с выработкой вариантов управляющих воздействий и их согласования с исполнителями через мобильные устройства.

### **2.4. Результаты сравнений**

Проанализировав способов разработки данной системы, отобразил результаты в таблице 2.1. подытожено сопоставление описанных выше возможных подходов системы



**Таблица 2.1. – Сравнение подходов к созданию системы**

Классическая оптимизация		Нейронные сети		База знаний и мультиагентный подход	
Преимущества	Недостатки	Преимущества	Недостатки	Преимущества	Недостатки
Достижение глобального оптимума по одной целевой функции	Ориентация на интересы центра – не подходит для учета и поиска баланса интересов участников (консенсуса)	Подходит для решения узких задач распознавания образов	Требует долгого обучения и точной подготовки выборки массивов обучающих данных	Решает сложные задачи управления ресурсами путем разбора конфликтов	Высокая сложность и трудоемкость начальной разработки мультиагентной системы
Отработанный и изученный метод предлагается для решения любых задач планирования и оптимизации ресурсов	Высокая вычислительная сложность комбинаторного перебора вариантов, ограничивая возможные применения с ростом размерности	Дает устойчивое решение даже при наличии ошибок в данных, помех и шумов	При изменении ситуации во внешней среде надо начинать обучение заново, трудно определить этот момент	Возможность развития и учета индивидуальных особенностей заказов и ресурсов	При изменении ситуации во внешнем мире требует коррекции базы знаний и/или изменения состава агентов
Возможность купить готовый программный продукт на рынке	Невозможность работы по событиям в адаптивном режиме, что требуется для синхронизации реального и цифрового предприятия	Возможность купить готовый программный продукт на рынке	Не работает в адаптивном режиме по событиям	Может работать в адаптивном режиме для быстрого ответа на событие и синхронизации с реальным предприятием	Усложнение диалога с пользователями (проектировать, встречные предложения и т.д.)
Легко встраиваются в существующие бизнес процессы	Большая трудность настройки на решение практических задач	Позволяет использовать накопленные исторические данные предприятия	Трудность настройки на решение новых практических задач	Учет семантики предметной области предприятия в базе знаний	Трудности внедрения за счет смены бизнес-процессов и регламентов

**Вывод.** Явным преимуществом мультиагентного подхода, по сравнению с другими системами, является:

1. Мультиагентная система предлагает делегировать контроль за поведением программных объектов самим объектам, наделив их возможностью реагировать на внешние сигналы и запретив напрямую вмешиваться в логику работы других объектов.
2. Имеет возможность выделения агентам собственных потоков управления, обеспечив возможность их параллельной работы в многопоточной среде.

### 3. Проектирование системы, используя мультиагентный подход.

#### 3.1. Мультиагентный подход к решению задачи планирования и контроля ресурсов складского предприятия.

Для решения задачи планирования и организационные действия над сотрудниками предприятия предлагается использовать мультиагентный подход, в основе которого лежит сопоставление сущностям предметной области действующих от их лица программных агентов. Они будут определяться, как система, производящая контроль и организацию действий между сотрудниками склада. Каждый агент будет представлять из себя некую машину состояний, способную воспринимать события, принимать решения и взаимодействовать с другими агентами через отправку сообщений. Описанная совокупность агентов образует мультиагентную систему, главным преимуществом которой будет являться то, что она не регулируется каким-либо централизованным алгоритмом, а, напротив, возникает из локальных взаимодействий образующих ее агентов. Здесь каждый агент обладает набором поведений, определяющих его реакцию на сообщения от других агентов, либо на изменение внешних условий (событий). Схема программного агента представлена на схеме 3.1.

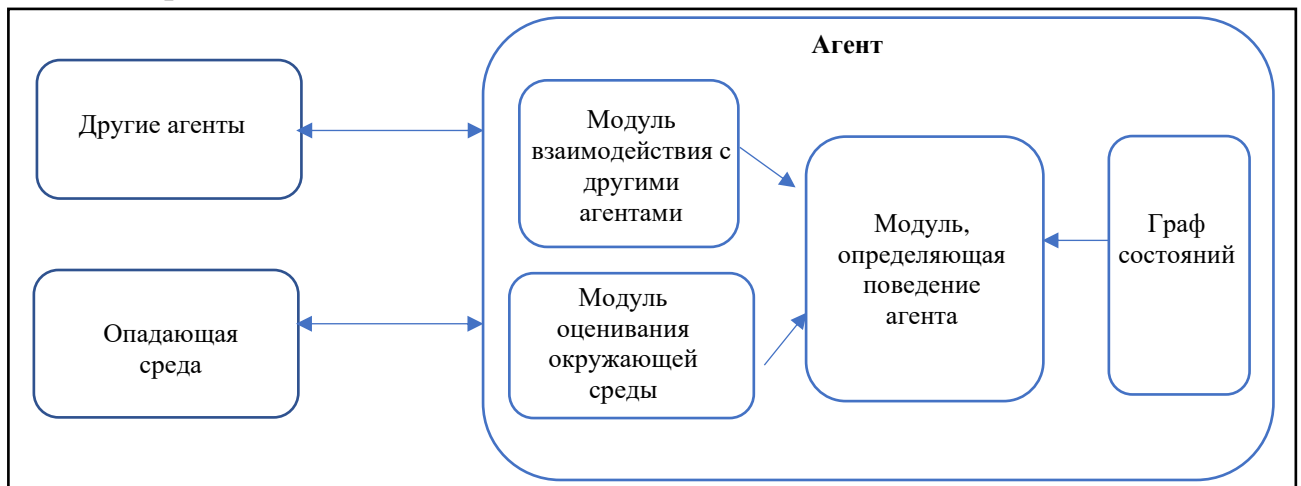


Схема 3.1. Представление схемы заданий программного агента

Рассмотрим разработку систему управления складским предприятием на основе мультиагентного подхода.

Система будет представлять собой взаимодействия нескольких агентов:

- «Зона хранения продукции»
- «Зона погрузки продукции»
- «Зона отгрузки продукции»
- «Зона комплектовки продукции»
- «Зона сортировки товара»
- «Зона двор»

Агент «Сотрудник склада»

Агент «Техника»

Агент «Водитель машины»

Взаимодействия между агентами будут представлять собой децентрализованный граф с центральными вершинами в виде агентов «Зон» и подчиненные им вершинам, представленные в виде агентов «Сотрудник», «Техника» и «Водитель». Центральный граф содержат информацию о местоположении подчиненных ему агентов на складе и выполняет роль бригадира - планировщика, который производит общение между агентами в виде создания заданий на исполнение, учитывая максимальной погрузочной способности и состояние агентов. Задание для подчиненных агентов представлена в виде необходимой информации о товаре, его местоположении и норме на исполнения. После выполнения, подчинённый агент сообщает о завершении

Отобразил концепцию взаимодействия агентов в виде схемы 3.2 и составим таблицу с указанием цели, предпочтения и ограничения основных агентов см. Таб 3.1.

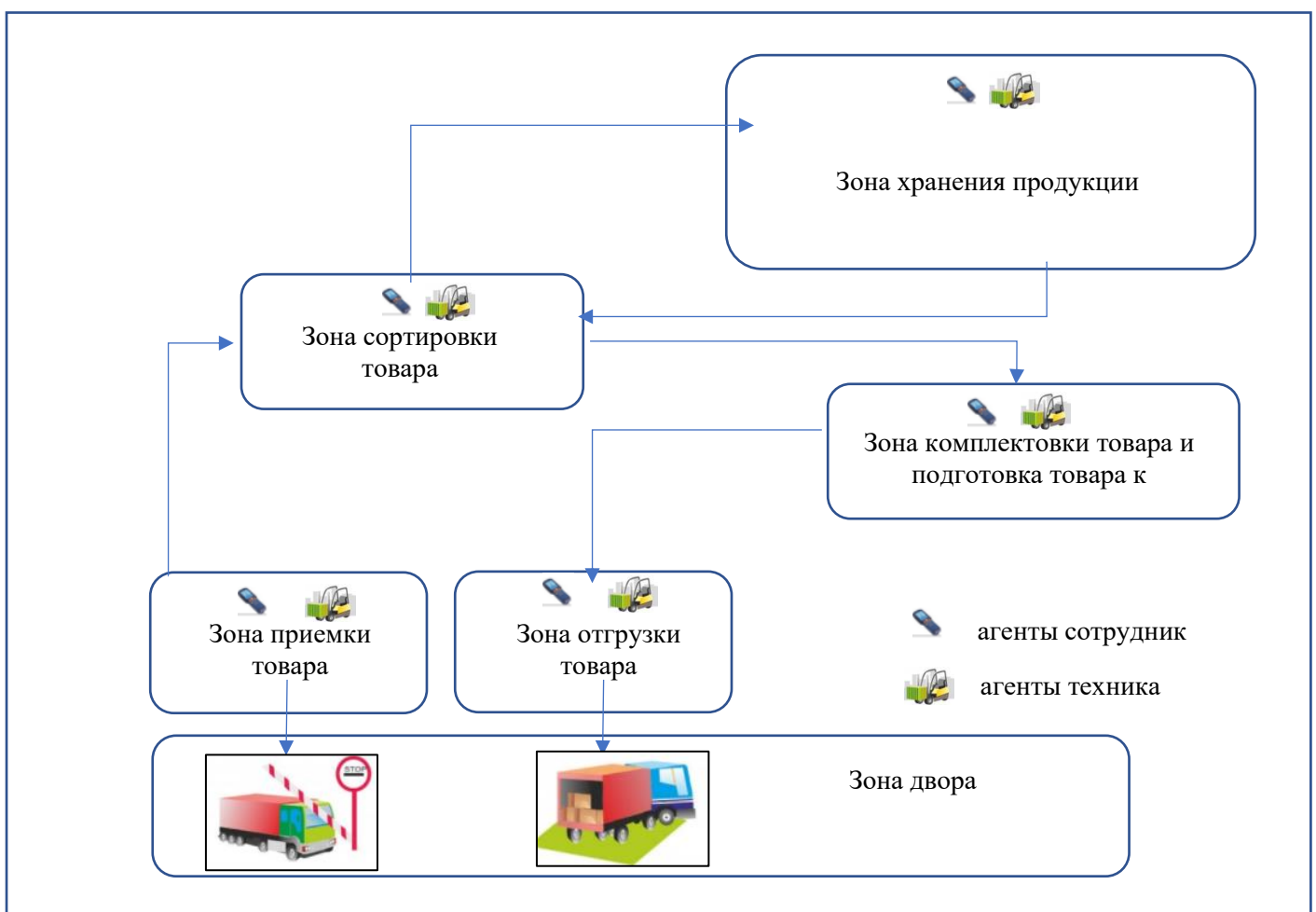


Рис 3.2. Схема производственных бизнес -процессов складской логистики

Таблица 3.1 – Цели, предпочтения и ограничения основных классов агентов

Тип агента	Цели	Ограничения
Агенты водитель	Цель данного агента заключается в координации и контроля водителя транспорта по территории предприятия,.	Установленные сроки, вес и размер погружаемой продукции, нормативы передвижения по территории предприятий
Агент Зоны	Выявление «узких мест» в расписании, управление активностью агентов системы, взаимодействие с внешними системами. Производить расчет нормативных норм, для агентов грузчиков, кладовщиков и задачи.	Время, отводимое на планирования, глубина цепочек перестановок в расписании
Агент сотрудник	Быть выполненным на подходящем ресурсе в указанные сроки за минимальное время. Контролировать и отслеживать состояние сотрудника, включая показатели здоровья.	Время и установленные нормативные акты (агатами зон)
Агент техника	Быть выполненным на подходящем ресурсе в указанные сроки за минимальное время. Контролировать и отслеживать состояние оборудования	Время и установленные нормативные акты (агатами зон)

### 3.2. Опыт применяя мутагенной системы

В ходе изучения дисциплины «Мультиагентные технологии», были получены навыки с программной средой JADE. JADE (Java Agent Development Framework) - это программная среда, полностью реализованная на языке Java. Он упрощает реализацию многоагентных систем с помощью промежуточного программного обеспечения, соответствующего спецификациям FIPA, и с помощью набора графических инструментов, поддерживающих фазы отладки и развертывания.

Главной особенностью системы JADEв том, что она может быть распределена по машинам (которым даже не нужно совместно использовать одну и ту же ОС), а конфигурацией можно управлять через удаленный графический интерфейс. Конфигурацию можно даже изменить во время выполнения, перемещая агентов с одной машины на другую, когда это необходимо. JADE полностью реализован на языке Java, и минимальные системные требования — это версия 5 JAVA (среда выполнения или JDK).

В ходе текущего семестра были написано две программы, позволяющие вычислить среднее арифметическое число, между числами, которые были загаданы агентами. Две работы принципиально отличались по своему принципу. Первая работа предполагала создание системы с централизованной агентом, который основываясь на результате подчиненных ему объектов смог бы посчитать среднее арифметическое число. Вторая же предполагала достичь результат в децентрализованной систему, используя протокол локального голосования. Результат работы отображен на рисунках 3.3 – 3.7.

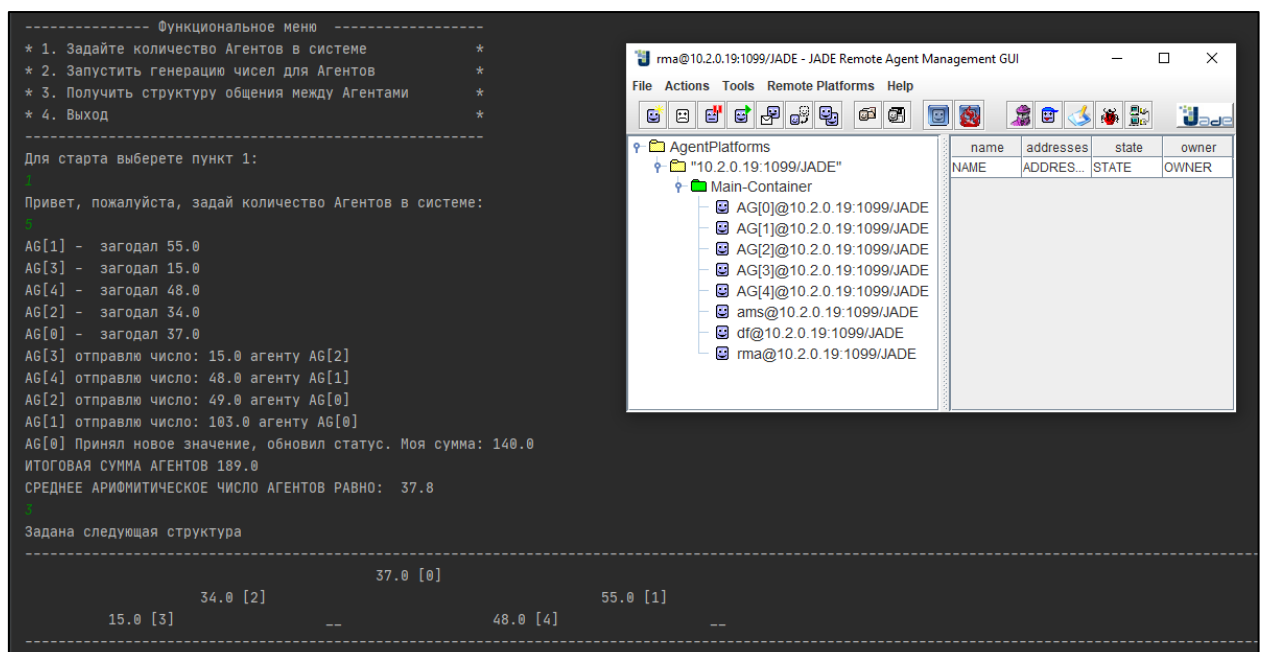


Рис.3.3 Результат работы программы (Для 5 агентов / Итерация №1).

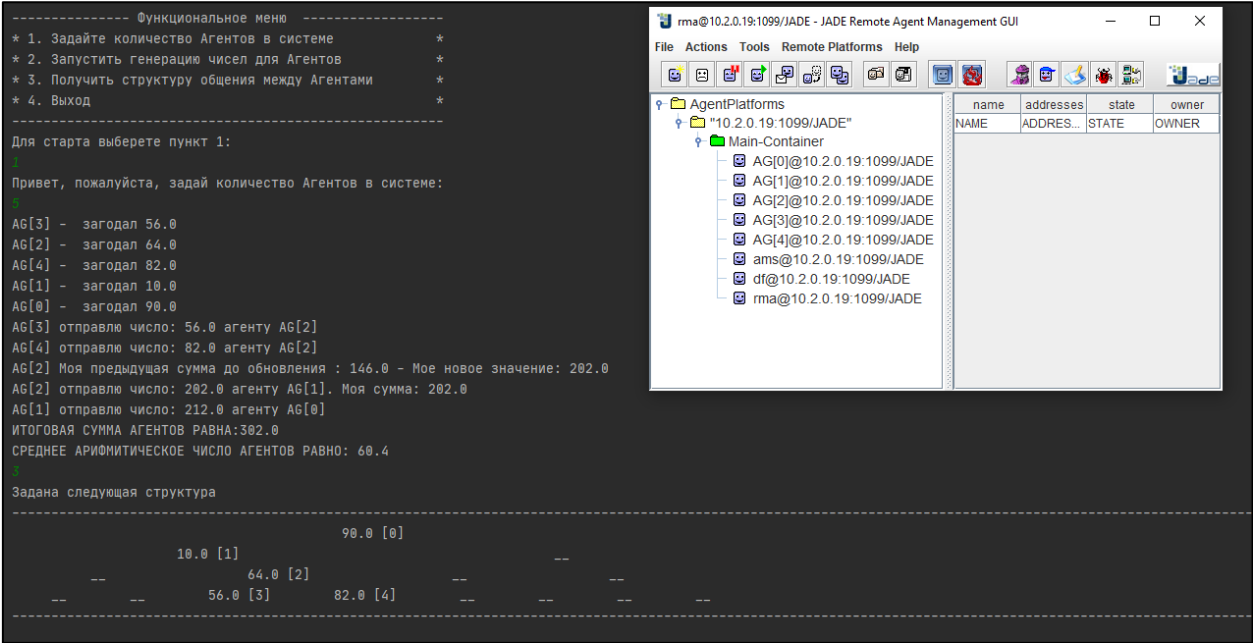


Рис 3.4. Результат работы программы (Для 5 агентов / Итерация №2).

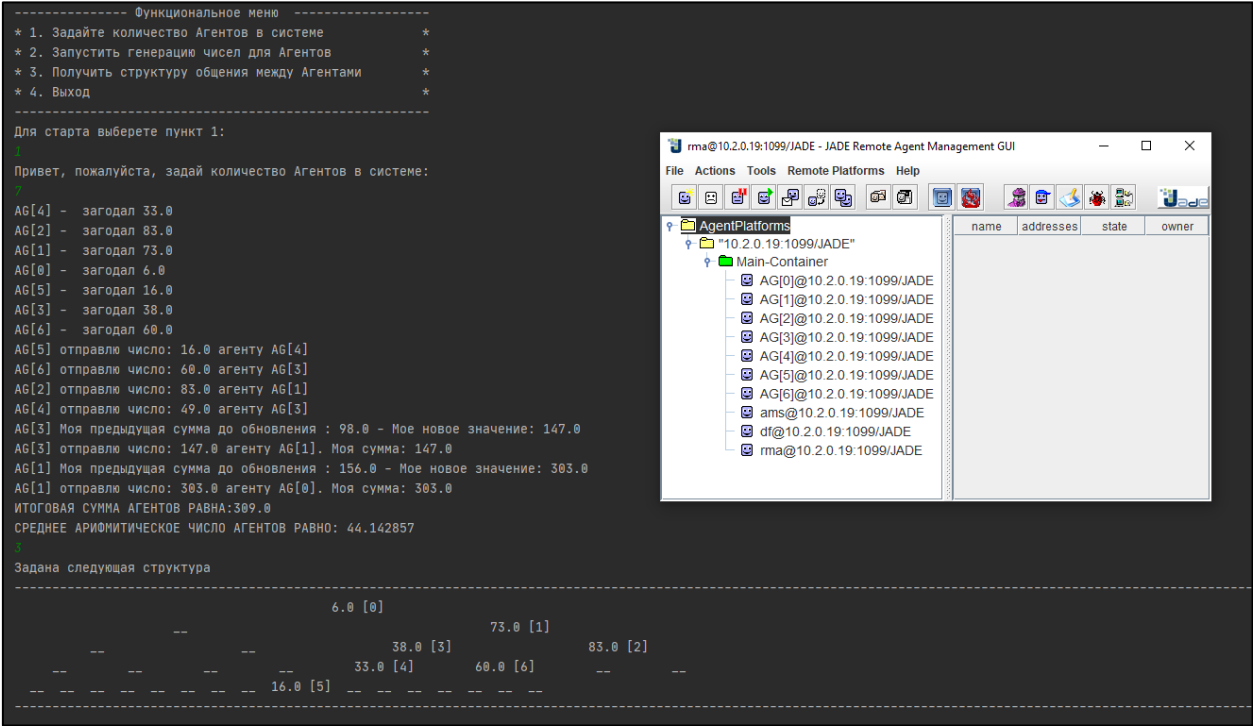


Рис. 3.5. Результат работы программы (Для 7 агентов / Итерация №1).

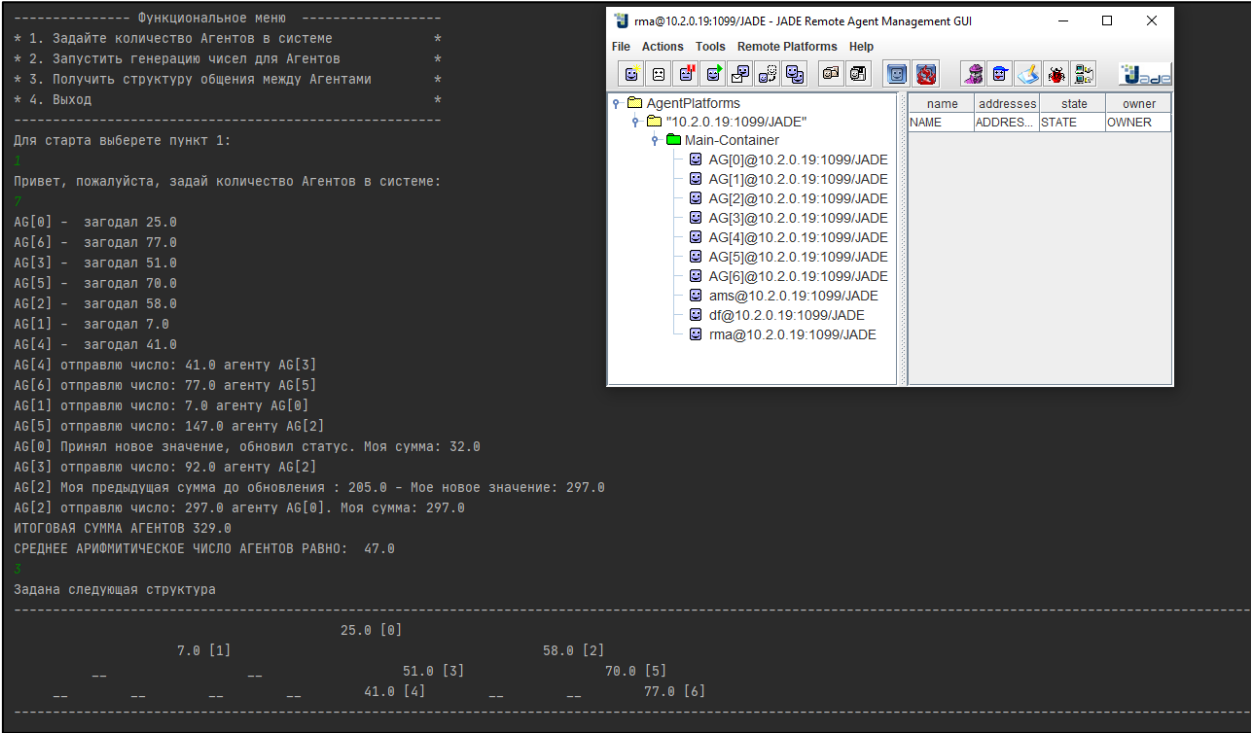


Рис. 3.6. Результат работы программы (Для 7 агентов / Итерация №2)

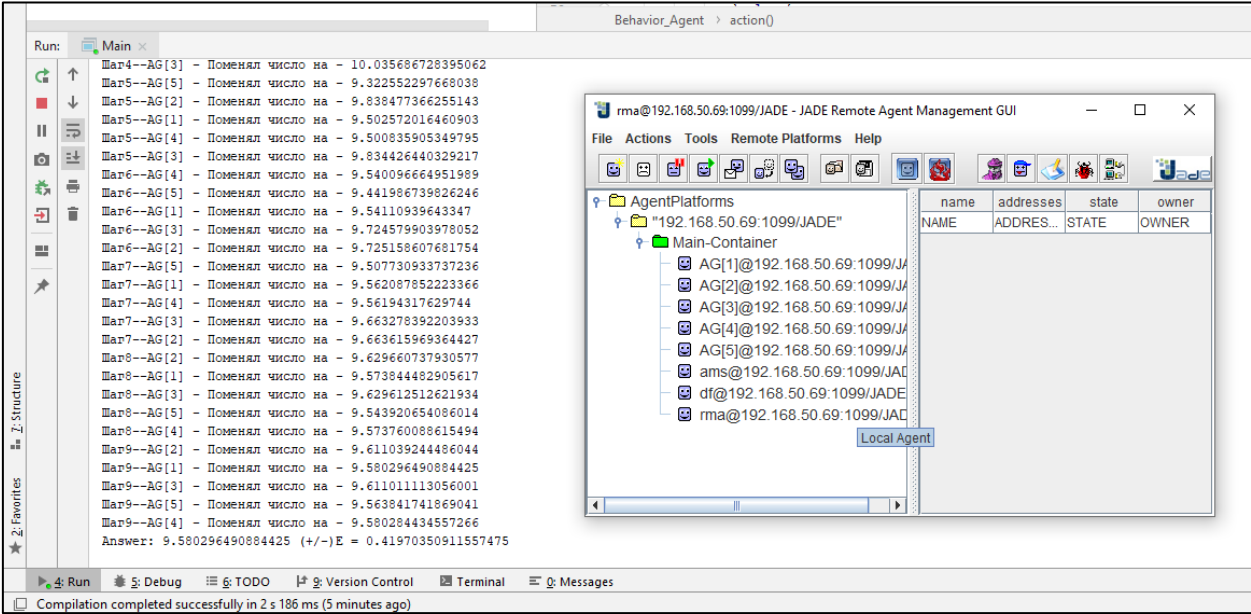


Рис. 3.7 Результат работы программы (Для 5 агентов). (Программа 2)

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В ходе практической работы рассмотрены методы и средства необходимые для реализации системы, на основе которых можно решить задачи связанные с оптимизации управления, планирования и контролем использования ресурсов складскими предприятиями на основе мультиагентных технологий.

Были достигнуты поставленные задачи:

1. Провести анализ существующих решений
2. Провести анализ и сравнить технологий для реализации системы
3. Провести обзор на современные подходы и методы решения задач планирования
4. Разработать структуру мультиагентного метода

Решения автономных систем для управления ресурсами предприятия открывают новые возможности для повышения качества и эффективности бизнеса. Разрабатываемое промышленные приложения обеспечит многофункциональные возможности управления ресурсами в условиях высокой неопределенности.

**Дальнейшие цели и планы.**

1. Продолжить изучение интеллектуальных систем п контроля и планирования
2. Приступить к программной разработке системы
3. Рассмотреть концепции общения клиентов
4. Продолжить разрабатывать структуру и архитектуру системы
5. Разработать онтологию и сцены подходящих для предприятия складского типа



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. И.Ю. Тюрин, А.С. Вылегжанин, М.В. Андреев, Э.В. Кольбова, П.О. Скобелев, Я.Ю. Шепилов. Результаты внедрения и перспективы развития мультиагентной системы для оперативного управления инструментальным цехом ОАО «ИЖЕВСКИЙ МОТОЗАВОД – АКЦИОН ХОЛДИНГ» // Труды XIV Международной конференции «Проблемы управления и моделирования в сложных системах», Самара, 22-25 июня 2012г. – Самара: Самарский научный центр РАН, 2012. – С. 735-740.
2. В.Ф. Шпилевой, П.О. Скобелев, Е.В. Симонова, А.В. Царев, С.С. Кожевников, Э.В. Кольбова, И.В. Майоров, Я.Ю. Шепилов. Разработка мультиагентной системы «Smart Factory» для оперативного управления ресурсами в режиме реального времени // Информационно-управляющие системы. – 2013. №6(67). – С. 91-98.
3. А.В. Шишов, А.С. Вылегжанин, Д.В. Павлова, О.И. Храмова, Я.Ю. Шепилов. Разработка и внедрение АСУ «Кузнецов» с применением сетецентрического подхода и мультиагентных технологий // XII Всероссийское совещание по проблемам управления ВСПУ-2014, Москва, 16 – 19 июня 2014 г.
4. С.С. Кожевников, А.Ю. Гребешков, П.Н. Герасимов, О.В. Ширяева. Разработка прототипа гибридной интеллектуальной системы планирования производства, объединяющей классические математические методы и мультиагентные технологии // Труды XVIII Международной конференции «Проблемы управления и моделирования в сложных системах», Самара, 20-25 сентября 2016 г. – Самара: ОФОРТ, 2016. – С. 202-206.
5. Лада А. Н., Майоров И. В. Мультиагентный метод построения сменно-суточных заданий для задачи планирования производственных ресурсов в реальном времени. Информационно-управляющие системы, 2018, № 5, с. 112–119. doi:10.31799/1684-8853-2018-5-112-119.
6. Танаев, В.С. Введение в теорию расписаний / В.С. Танаев, В.В. Шкурба. – М.: Наука, 1975. – 256 с.
7. Васильев, А.Н. Методы создания цифровых двойников на основе нейросетевого моделирования / А.Н. Васильев, Д.А. Тархов, Г.Ф. Малыхина // Современные информационные технологии и ИТ образование. – 2018. –Т. 14, № 3. – Р. 521-532.
8. Городецкий, В.И. Поведенческие модели кибер-физических систем и групповое управление, Основные понятия / В.И. Городецкий // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2019. – № 1. – С. 144-160. 64. Bao, Q. Ontology-based modeling of part digital twin oriented to assembly // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture. – 2020. – P. 1-1