

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

КАФЕДРА СИСТЕМНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ

**ОТЧЕТ О ВЫПОЛНЕНИИ УЧЕБНОЙ
(ПРОЕКТНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ) ПРАКТИКИ
НА ТЕМУ**

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

ВЫПОЛНИЛ:

Студент группы 21.М07-мм,
Смирнов Ю.К.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ:

д.ф.-м.н., профессор Граничин О.Н.

Санкт-Петербург

2022

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
1. Описание практической задачи	5
2. Методы решения конфликтов между агентами	7
3. Анализ существующих методов и решение задачи планирования	10
3.1. Метод ветвей и границ	10
3.2. Алгоритм Литтла	11
3.3. Метод случайного поиска	12
3.4. Метод Джонсона	13
4. Полученные практические результаты	17
5. Заключение	18
6. Дальнейшие цели и планы.	19
Список литературы	20

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.

Сегодня большинство организаций, занимающееся данной деятельностью, используют различные современные информационные системы и технологии, которые обеспечивают повышенную производительность и эффективную работу предприятий за счет автоматизации ключевых процессов. Под ключевыми процессами в данном случае понимается совершение разнообразных внутренних операций, таких как: ведения складского учета, хозяйственных операций, документооборота и реализации различных внутренних бизнес-процессов.

Ни для кого не секрет, что успех организации на рынке зависит от многих факторов, но ключевым, на мой взгляд, является два основных:

- первый представляет собой возможность построить долгосрочные и доверительные отношения со всеми возможными потенциальными клиентами через настраиваемый информационный сервис, который будет способен организовать не только связь между менеджером компании и заказчиком. А также обеспечить доступ к гибкой и функционально богатой системе для двух сторон. Со стороны клиент это даст возможность осуществления оформления договоров в реальном времени, с возможностью оформления, заключения и отслеживания статусов важных документов. Со стороны компании возможность осуществлять управление организационными процессами предприятия и автоматизировать процесс осуществления хозяйственных операций, с непосредственным внедрением во внутреннюю информационную систему предприятия.
- второй заключается в грамотном распределении трудового и материального ресурса на территории компании. Организация предоставляющие такие услуги как хранение и перевозка различных товаров несут большую ответственность перед клиентами, поэтому от грамотно продуманных логических и логистических действий зависит их успех и дальнейшее продвижение на рынке.

Зачастую большие компании имеют хорошо организованные сайты или приложение, позволяющие взаимодействовать с клиентами. А вот грамотная оптимизация и организация трудового процесса предприятия зачастую делается «на глазок», что ведет к простоям и отрицательно отображается в

доходах и успехе компании на рынке. Таким образом, тема, связанная с автоматизации оптимизации работы внутреннего двора является актуальной для исследования.

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.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Провести анализ существующих математических моделей, решающих проблему составления оптимального расписание по распределению ресурсов
2. Провести анализ существующих методов и решений разрешения конфликтов между агентами
3. Аплодировать разработанную систему на примере реальной задачи в условиях, возникающих на складском предприятии.

1. Описание практической задачи

Рассмотрим практическую задачу, показывающую целесообразность применения коалиций на базе описанного процесса производства на предприятии ОАО «Диета18».

В штатном режиме работы предприятия начальник склада, производит контроль по приемке и отгрузке товара со склада и управляет процессом из выполнения. Начальник смены курирует распределение ресурсов и средств на смену. Операторы - персонал, ведущие хозяйственный учет по заказам - работают в тандеме с начальником смены. Грузчики, штабелеры и контроллер качества – складской персонал, подчиняющиеся указанию начальника смены. Основной задачей является сбор и подготовка товара к отгрузке или приемки. По такой структуре производство на предприятии справляется с выполнением всех заказов в поставленный срок.

Предположим, что поступают крупные заказы на отгрузки в размере 320 заказов. Для одной смены – это достаточно крупный заказ, который вполне может превысить производительные возможности склада. В этом случае выполнение всех заказов в срок, выполняемых складским предприятием, находится под угрозой срыва. В связи с этим начальник смены рассчитывает необходимый объем технического оборудования и персонала, ставя перед ними задачу - выполнить все заказы в соответствии с установленными временными границами, указанные в договорах с контрагентами, а если – это сделать невозможно, то выполнить заказы с минимальными возможными санкциями для предприятия в целом.

Как уже рассказывалось в предшествующей учебно-практической работе существующие используемые на складских предприятиях приложения, как 1С:WMS – управление складом от компании Axelot, не дают гарантии, что выполнение всех заказов одновременно и в срок. Поэтому разработка мультиагентной системы по управления складскими ресурсами будет является достаточно актуальной темой исследования.

Преимущество разрабатываемой системы в том, что она сможет:

1. Организовать коалиции, используя общение агентов для составления совместного плана использования ресурсов и средств для выполнения поступивших заказов в срок и с минимальными потерями.
2. Адаптировать и грамотно использовать ресурсы и средства склада, распределять заказы в режиме реального времени.
3. Оценивать загруженность складского предприятия

В данной работе предлагается решение в виде настраиваемого системы сервиса для удаленного доступа и контроля управления складскими

нормативных актов, хозяйственных документов сможет автоматически распределить нагрузку между сотрудниками предприятия и организовать необходимые логические и логистические операции внутри организации.

Таким образом, исходя из актуальности и степени научной разработанности данной проблемы, можно сделать вывод о целесообразности проведения комплексных исследований по разработке ИС в компаниях занимающихся импортом товара из разных стран и дальнейшей его перепродажи на территории России.

2. Методы решения конфликтов между агентами.

В разрабатываемой мультиагентной системе агенты часто взаимодействуют с друг другом в нескольких случаях[1]:

1. Обмен данными при выполнении поставленной задачи
2. Обмен данными при возникновении чрезвычайной ситуации, которая подразумевает под собой перераспределение ресурсов и средств с учетом их ограниченности.

В этой главе более подробно разберем второй случай, так как он подразумевает под собой возникновения конфликта между группой агентов. Так, например, самый простой способ разрешения конфликта является голос старшего по рангу агента. В данной ситуации он вправе отобрать необходимые ему ресурсы у более младшего. А более сложный способ решения возникшей ситуации – это приговоры между агентами, которые будут направлены для достижения общего компромисса [1].

Для того, чтобы выбрать верный вариант разрешения конфликта между агентами, выдели следующие виды их взаимодействия [2].

1. Кооперация — это вид взаимодействия между агентами, подразумевающий под собой стратегию сотрудничества между агентами, отличительной чертой которого будет является объединением усилий, ресурсов и сред, направленных для достижения общей цели.
2. Конкуренция — это вид взаимодействия между агентами, подразумевающий под собой стратегию соперничество и борьбу, направленную на достижение наивысшего результата и получения наивысших выгод
3. Компромисс — это вид взаимодействия между агентами, подразумевающий под собой стратегию удовлетворения собственных как собственных, так и чужих потребностей.
4. Конформизм — это вид взаимодействия между агентами, подразумевающий под собой стратегию отказа одного агента от ресурсов и средств в пользу другого.
5. Эгоизм — это вид взаимодействия между агентами, подразумевающий под собой стратегию удовлетворения только собственных потребностей.
6. Безразличие — это вид взаимодействия между агентами, подразумевающий под собой стратегию удовлетворения, как собственных потребностей, так и потребности другого агента. Здесь агент не видит явной разнице между двумя вариантами.

7. Отрицание — это вид взаимодействия между агентами, подразумевающий под собой стратегию уклонение от какого-либо взаимодействия между агентами.

Для представления более полной картины по возможным взаимодействиям между агентами, учитывая их индивидуальные стратегии составил таблицу 1.

		Стратегия агента №1						
		Кооперация	Конкуренция	Компромисс	Конформизм	Эгоизм	Безразличие	Отрицание
Стратегия агента №2	Кооперация	Кооперация	Кооперация	Компромисс	Конформизм	Эгоизм	Безразличие	Отрицание
	Конкуренция	Конкуренция	Конкуренция	Конкуренция	Конформизм	Эгоизм	Безразличие	Отрицание
	Компромисс	Компромисс	Компромисс	Компромисс	Конформизм	Эгоизм	Безразличие	Отрицание
	Конформизм	Конформизм	Конформизм	Конформизм	Конформизм	Эгоизм	Безразличие	Отрицание
	Эгоизм	Эгоизм	Эгоизм	Эгоизм	Эгоизм	Эгоизм	Безразличие	Отрицание
	Безразличие	Безразличие	Безразличие	Безразличие	Безразличие	Безразличие	Безразличие	Безразличие
	Отрицание	Отрицание	Отрицание	Отрицание	Отрицание	Отрицание	Отрицание	Отрицание

Из составленной таблицы видно, что стратегии одного агента обладает определенной силой подавления желания второго агента. В разрабатываемой системе будет неправильным решением выбрать бесконфликтную среду, так как она будет не эффективной. Более эффективным будет выбор решения, в котором агент на основе поставленной перед ним задачей будет выбирать доминирующий способ взаимодействия с другими агентами, тем самым решая возможные конфликты.

Составим таблицу, в которой покажем взаимодействия агентов между собой по формированию коалиций.

Стратегия агента	Готовность урегулирования конфликта на общих ресурсах и средствах	Готовность к переговорам по разделению ресурсов и средств в пользу другого	Решение агента
Кооперация	+	+	Возможно
Конкуренция	-	-	Невозможно
Компромисс	+	+	Возможно
Конформизм	+	+	Возможно
Эгоизм	-	-	Невозможно
Безразличие	-	-	Невозможно
Отрицание	-	-	Невозможно

3. Анализ существующих методов и решение задачи планирования

Для выбора необходимого метода к составлению плана выполнения работ, сформулировал следующие требования:

1. Метод должен иметь вычислительную простоту, подходящую для создания имитационного моделирования
2. Метод должен быть ориентирован на решение поставленных практических задач.
3. Метод должен составлять оптимальное по времени расписание

Установив необходимые требования, провел отбор наиболее известных методов, приближенным и соответствующем установленным выше требованиям.

3.1. Метод ветвей и границ.

Впервые метод ветвей и границ был предложен Лендом и Дойгом [3] в 1960 для решения общей задачи целочисленного линейного программирования. Интерес к этому методу и фактически его “второе рождение” связано с работой Литтла, Мурти, Суини и Кэрела [4], посвященной задаче коммивояжера [5]. Начиная с этого момента, появилось большое число работ, посвященных методу ветвей и границ и различным его модификациям. Столь большой успех объясняется тем, что авторы первыми обратили внимание на широту возможностей метода, отметили важность использования специфики задачи и сами воспользовались спецификой задачи коммивояжера.

В основе метода ветвей и границ лежит идея последовательного разбиения множества допустимых решений на подмножества (стратегия “разделяй и властвуй”). На каждом шаге метода элементы разбиения подвергаются проверке для выяснения, содержит данное подмножество оптимальное решение или нет. Проверка осуществляется посредством вычисления оценки снизу для целевой функции на данном подмножестве. Если оценка снизу не меньше *рекорда* — наилучшего из найденных решений, то подмножество может быть отброшено. Проверяемое подмножество может быть отброшено еще и в том случае, когда в нем удастся найти наилучшее решение. Если значение целевой функции на найденном решении меньше рекорда, то происходит смена рекорда. По окончании работы алгоритма рекорд является результатом его работы [6].

Если удастся отбросить все элементы разбиения, то рекорд — оптимальное решение задачи. В противном случае, из не отброшенных подмножеств выбирается наиболее перспективное (например, с наименьшим значением нижней оценки), и оно подвергается разбиению. Новые подмножества вновь подвергаются проверке и т.д.

Другой способ уменьшения трудоемкости алгоритма состоит в искусственном завышении нижней оценки. Предположим, что нас интересует не только оптимальное решение, но и приближенные решения с относительной погрешностью не более e . Тогда завышение нижней оценки в $(1 + e)$ раз приводит к желаемому результату.

Вывод: при выполнении анализа рассмотренного выше метода можно сделать вывод о его вычислительной сложности. Применение данного метода в разрабатываемой системе может наложить серьезные требования к вычислительным ресурсам, поэтому было принято отложить данный метод.

3.2. Алгоритм Литтла

Данный алгоритм используется для поиска оптимального гамильтонова контура в графе, имеющем N вершин, причем каждая вершина i связана с любой другой вершиной j двунаправленной дугой. Каждой дуге приписан вес $C_{i,j}$, причем веса дуг строго положительны ($C_{i,j} \geq 0$). Веса дуг образуют матрицу стоимости. Все элементы по диагонали матрицы приравнивают к бесконечности ($C_{i,i} = \infty$). [7]

В случае, если пара вершин i и j не связана между собой (граф не полносвязный), то соответствующему элементу матрицы стоимости приписываем вес, равный длине минимального пути между вершинами i и j . Если в итоге дуга (i, j) войдет в результирующий контур, то ее необходимо заменить соответствующим ей путем. Матрицу оптимальных путей между всеми вершинами графа можно получить, применив алгоритм Данцига или Флойда.

Алгоритм Литтала является частным случаем применения метода "**ветвей и границ**" для конкретной задачи. Общая идея тривиальна: нужно разделить огромное число перебираемых вариантов на классы и получить оценки (снизу – в задаче минимизации, сверху – в задаче максимизации) для этих классов, чтобы иметь возможность отбрасывать варианты не по одному, а целыми классами. Трудность состоит в том, чтобы найти такое разделение на классы (ветви) и такие оценки (границы), чтобы процедура была эффективной [7].

1. В каждой строке матрицы стоимости найдем минимальный элемент и вычтем его из всех элементов строки. Сделаем это и для столбцов, не содержащих нуля. Получим матрицу стоимости, каждая строка и каждый столбец которой содержат хотя бы один нулевой элемент.
2. Для каждого нулевого элемента матрицы $C_{i,j}$ рассчитаем коэффициент $\Gamma_{i,j}$, который равен сумме наименьшего элемента i строки (исключая элемент $C_{i,j}=0$) и наименьшего элемента j столбца. Из всех коэффициентов $\Gamma_{i,j}$ выберем такой, который является максимальным $\Gamma_{k,l} = \max\{\max(\Gamma_{i,j})\}$. В гамильтонов контур вносится соответствующая дуга (k,l) .

3. Удаляем k -тую строку и столбец l , поменяем на бесконечность значение элемента $C_{l,k}$ (поскольку дуга (k,l) включена в контур, то обратный путь из l в k недопустим).
4. Повторяем алгоритм шага 1, пока порядок матрицы не станет равным двум.
5. Затем в текущий ориентированный граф вносим две недостающие дуги, определяющиеся однозначно матрицей, порядка 2. Получаем гамильтонов контур.

В ходе решения ведется постоянный подсчет текущего значения **нижней границы**. Нижняя граница равна сумме всех вычтенных элементов в строках и столбцах. Итоговое значение нижней границы должно совпасть с длиной результирующего контура.

Вывод. Данный метод также, как и предыдущий представляет вычислительно сложным для принятия оптимальных решений в разрабатываемой мультиагентной системе.

3.3. Метод случайного поиска

Алгоритм случайного поиска относится к алгоритмам нелинейного математического программирования. Такие алгоритмы снискали себе широкую популярность при решении практических инженерных задач. Простейший алгоритм – локальный неадаптивный алгоритм случайного поиска следующий [8]

1. Задаем начальную точку, представленную вектором X_0 , объявляем ее текущей и вычисляем в ней значений целевой функции.
2. Текущей точке придаем приращение в виде случайного вектора ΔX и вычисляется значение целевой функции.
3. Если значение целевой функции улучшилось, то данную точку делаем текущей.
4. Проверить условие останова. Если оно выполняется, то переходим на шаг 5, в противном случае на шаг 2.
5. Останов.

Достоинствами данного алгоритма являются его простота, устойчивость и интуитивная понятность. Недостатками – низкая скорость сходимости, а также неопределенность в выборе условия останова.

Существуют также адаптивные алгоритмы случайного поиска локального экстремума, обладающие более высокой скоростью сходимости [9].

Гораздо более эффективными и хорошо зарекомендовавшими себя на практике являются адаптивные алгоритмы случайного поиска глобального экстремума. Их основная идея заключается в том, что поиск ведется не из какой-то одной

начальной точки, а по всей области, и в процессе его выполнения изменяется закон распределения генерации вектора рабочих параметров (точек, в которых вычисляется значений целевой функции). Обычно на начальных этапах распределение является равномерным, а затем плотность вероятности увеличивается в районе предполагаемого оптимума. Следует заметить, что многие из этих алгоритмов хорошо зарекомендовали себя при решении задач как непрерывной, так и дискретной и дискретно-непрерывной оптимизации, а, следовательно, может использоваться при параметрическом, структурном и структурно-параметрическом синтезе объектов [10].

Вывод: Данный метод в отличии от предыдущих является алгоритмическим простым, но его выполнение может занять достаточно долгое время. Учет этот метод, как возможный для применения.

3.4. Метод Джонсона

Для эффективной работы технических, экономических, административных и иных систем важно оптимальное планирование их работы. Решением этой задачи занимается современная теория расписаний. Ее возникновение связывают с работой С.М. Джонсона [1], в которой впервые была решена задача Беллмана– Джонсона оптимального по быстродействию упорядочения работ в конвейерных системах

Оставление плана работ для случая, когда имеется система с двумя множествами ресурсов и средств является отдельной задачей, решённой в рамках теории составления расписания. Рассмотрим данный метод в связи с возможностью использования данных результатов теории составления расписания для практической задачи, поставленной в рамках производства.

Пусть имеется система, состоящая из n работ и m множеств ресурсов и средств, используемых для выполнения этих работ. Так как отгрузка и приёмка товаров представляют собой процесс конвейерного типа, т.е. использования ресурсов и средств в процессе выполнения работы одинакова для каждой работы. Если какое-то множество ресурсов и средств не используется в работе, то значения основного критерия для этой работы будет равно нулю. В качестве основного критерия будет рассматриваться время, также возможное использование других критериев, например, деньги.

Введем следующие обозначения:

n – количество работ;

m – количество множеств ресурсов и средств.

F – критерий минимизации максимальной деятельности выполнения работ

Пусть A_i – длительность работы первого множества ресурсов и средств для i -й работы; B_i – длительность работы второго множества ресурсов и средств для i -й работы; C_i – длительность работы третьего множества ресурсов и средств для i -й работы; D_i – длительность работы четвертого множества ресурсов и средств для i -й работы; F_i – длительность прохождения i – работы.

Важном модели состоит в том, что один объект из множества ресурсов и средств в каждый момент времени выполняет не более одной работы и одна работа не может выполняться двумя множествами одновременно.

Считаем, что все A_i, B_i, C_i, D_i нам известен, т.е. трудоемкость выполнения работ заранее известна. Задача – упорядоченность n работ таким образом, чтобы минимизировать максимальную длительность прохождения работы F_{max} . [12]

$$F_{max} \geq \sum_{i=1}^n A_i + B_i + C_i + D_i \quad (1.1)$$

$$F_{max} \geq A_1 + \sum_{i=1}^n B_i + C_i + D_i \quad (1.2)$$

Так как суммы не зависят от последовательности выполнения работ, то минимизировать F_{max} можно лишь путем минимизации выполнения работ за счет их упорядочивания. Из (1.1) следует, что

$$F_{max} \geq \sum_{i=1}^n A_i + B_i + C_i + D_i + X$$

Здесь X – это суммарное время простое ресурсов и средств при выполнении всех работ.

Выведем алгоритм, составления плана работ (расписания) на основе метода Джонсона, где минимизируем максимальную длительности прохождения в конвейерной системе из одной, двух, трех и так далее ступеней. Здесь под ступенью будем понимать один из этапов прохождения процесса отгрузки или приемки (см. рис 1)

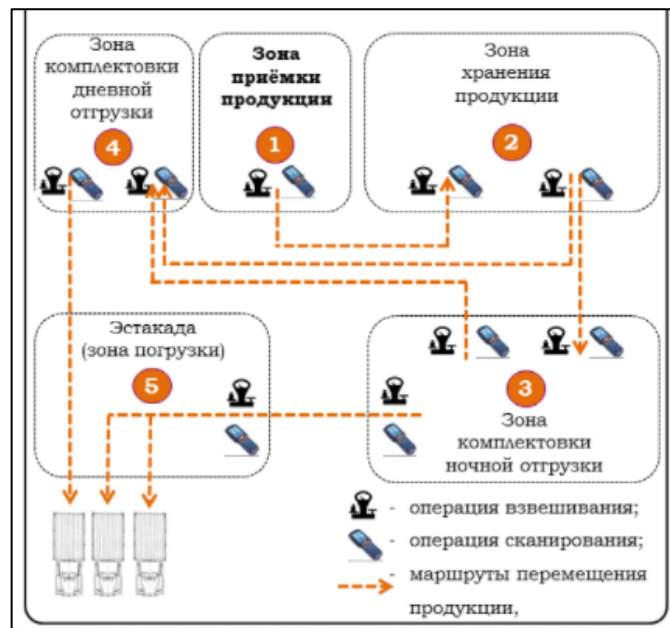


Рис 1. Схема производственных бизнес -процессов складской логистики

Для общего понимания рассмотрим данный алгоритм для двух станков, а затем обобщим данный метод и рассмотрим решения для 4 станков.

Сначала обратим внимание на порядок обработки деталей на первом и втором и последующих станках – он должен совпадать, потому что детали для второго станка становятся доступными только после обработки на первом, а при наличии нескольких доступных для второго станка деталей время их обработки будет равно сумме их b_i независимо от их порядка — то выгоднее всего отправлять на второй станок ту из деталей, которая раньше других прошла обработку на первом станке.

Рассмотрим порядок подачи деталей на станки, совпадающий с их входным порядком: $1, 2, \dots, n$.

Обозначим через время простоя второго станка непосредственно перед обработкой i -ой детали (после обработки $i - 1$ -ой детали). Наша цель — минимизировать суммарный простой:

$$F(x) = \sum x_i \rightarrow \min$$

Для первого заказа получим следующее время:

$$x_1 = a_1$$

Для второго заказа время простоя будет составлять:

$$x_2 = \max((a_1 + a_2) - (x_1 + b_1), 0)$$

Т.к. он будет готов к отправке на второй этапе в момент времени $(a_1 + a_2)$, а сама вторая ступень будет освобождена в момент времени $(x_1 + b_1)$.

Таким образом, общий вид для x_i будет выглядеть так:

$$x_k = \max \left(\sum_{i=1}^k a_i - \sum_{i=1}^k b_i - \sum_{i=1}^k x_i \right)$$

Посчитаем теперь суммарный простой, он имеет вид:

$$F(x) = \max_{k=1 \dots n} K_k,$$

где

$$K_k = \sum_{i=1}^k a_i - \sum_{i=1}^k b_i$$

Выведем алгоритм, составления плана выполнения заказов на складском предприятии на основе теоремы Джонсона:

1. Устанавливаем последовательность минимумов по выполнению заказа. Если какой-то заказ не участвует на какой-либо этапе сборки, то его все равно учитываем, ставя длительность выполнения равное 0. Это делать необходимо для обеспечения общности подсчетов.
2. Формируем расписание в виде таблицы. Необходимо найти минимумы a_i и b_i . Если разность a_i и b_i будет меньше нуля, то соответствующий заказ будет выполняться первым, при первом проходе цикла
3. Иначе, если разность a_i и b_i будет равна больше нуля, то размещаем выполнения данного заказа в конец списка
4. Исключаем из списка, учтенные заказы и повторяем алгоритм

Таким образом, упорядочивание работ по данному алгоритму, будет являться оптимальным и минимизирует максимальную длительность прохождения сборки заказов на складском предприятии.

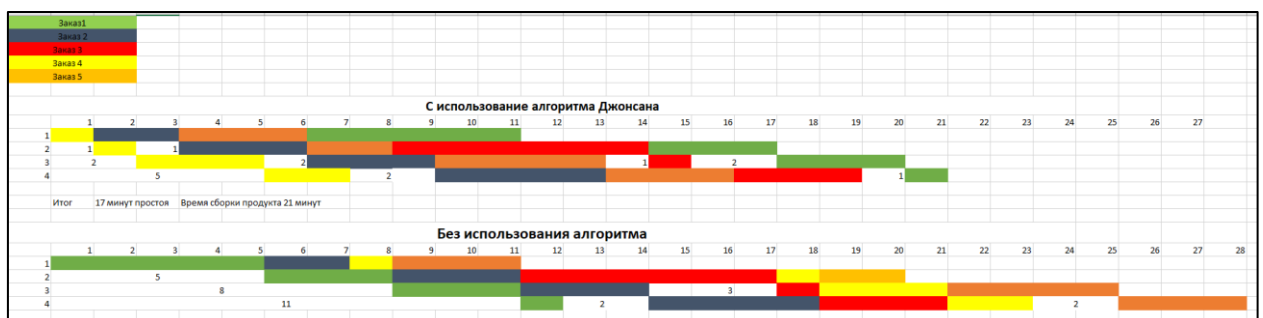


Рис 2. Составление плана сборки заказов на различных этапах

4. Полученные практические результаты

Результат аплодирования разработанную систему на примере реальной задачи в условиях, возникающих на складском предприятии.

В ходе выполнения практической работы были получены результаты, с которыми можно ознакомиться, перейдя по ссылке на GitHub репозиторий:

<https://github.com/SmukerSPB/MT>

5. 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.

Были достигнуты поставленные задачи:

- Проведен анализ существующих математических моделей, решающих проблему составления оптимального расписания по распределению ресурсов
- Проведен анализ существующих методов и решений разрешения конфликтов между агентами
- Продемонстрирован пример работы системы задачи в условиях4.

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

6. Дальнейшие цели и планы.

1. Разработать базу знаний для агентов
2. Рассмотрена теорию систем массового обслуживания, её область применения и классификация систем.
3. Реализовать собственную систему массового обслуживания, для расчета бригад на смену
4. Разработать полноценную мультиагентную систему

Список литературы

1. Черняховская Л.Р. Моделирование систем. Конспект лекций / УФА: Уфимский государственный авиационный технический университет, 2007. – 81с.
2. Андрейчиков, А.В. Интеллектуальные информационные системы : учебник / А.В. Андрейчиков, О.Н. Андрейчикова. – М. : Финансы и статистика, 2004. – 424 с.
3. Land A.H., and Doig A.G. An automatic method of solving discrete programming problems. *Econometrica*. v28 (1960), pp 497-520.
4. Little J.D.C., Murty K.G., Sweeney D.W., and Karel C. An algorithm for the traveling salesman problem. *Operations Research*. v11 (1963), pp 972-989.
5. Корбут А.А., Финкельштейн Ю.Ю. Дискретное программирование М. Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит. 1969.
6. Береснев В.Л., Гимади Э.Х., Дементьев В.Т. Экстремальные задачи стандартизации. Новосибирск. Наука, 1978.
7. [Электронный ресурс] <https://uchimatchast.ru/teoriya/algorithm-little-metod-resheniya-zadachi-kommivoyazhera/>, дата обращения 31.05.2022
8. Сушков Ю.А. Об одном способе организации случайного поиска. *Автоматика и вычислительная техника*, 1974, № 6, 41-48.
9. Растринин Л.А. Статистические методы поиска. М.: Наука, 1968.
10. Жиглявский А.А. Математическая теория глобального случайного поиска. М.: Изд-во. ЛГУ, 1985.
11. Жиглявский А.А., Жилинская А.Г. Методы поиска глобального экстремума. М.: Наука, 1991