

КАРАБАЕВА МАРИАННА ЛЕОНИДОВНА

**ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ЦИКЛА ПРЕДПРИЯТИЯ**

Ульяновск, 2013

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1. ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОСТАВОК КОМПЛЕКТУЮЩИХ ИЗДЕЛИЙ НА ПРЕДПРИЯТИЕ	4
1.1. Постановка задачи	4
1.2 Анализ полученной модели	7
1.3 Оптимизационный эксперимент	10
1.4 Перечень рекомендуемых мер.....	12
2.ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ ПРЕДПРИЯТИЯ.....	13
2.1 Постановка задачи	13
2.2 Анализ полученной модели	16
2.3 Исследование влияния различных параметров разработанной модели	19
2.4 Перечень рекомендуемых мер.....	20
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	21

ВВЕДЕНИЕ

При организации современного производственного цикла предприятия возникает ряд сложных вопросов, требующих оперативного решения.

Логистические процессы требуют решения следующих задач: каким образом уменьшить себестоимость цепочки поставок, как ускорить движение комплектующих в цепочке, как добиться увеличения точности доставки в заданный срок, сведя к минимуму случаи дефицитов товара.

Когда проблема с оптимизацией поставок комплектующих решена, возникают другие задачи. Современное управление предприятиями исходит из того, что их деятельность не может считаться эффективной, если в процессе производства не осуществляется контроль качества продукции.

Производственные процессы подчиняются законам систем массового обслуживания, что позволяет использовать названный математический аппарат для моделирования работы предприятия.

В данной работе рассматривается производственный цикл предприятия, разделенный на две части:

- процесс поставок комплектующих изделий на предприятие
- собственно производственные процессы предприятия, включающие в себя:
 - пункты поставки комплектующих (цеха);
 - посты контроля модулей;
 - пункты сборки изделий;
 - стенды контроля изделий;
 - пункты приема изделий;
 - склад готовых изделий;
 - склад бракованных модулей.

Результатом работы являются модели производственного цикла предприятия, позволяющие выявить узкие места и повысить эффективность производственного цикла.

1. ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОСТАВОК КОМПЛЕКТУЮЩИХ ИЗДЕЛИЙ НА ПРЕДПРИЯТИЕ

1.1. Постановка задачи

Рассмотрим процесс поставок комплектующих изделий на предприятие про производству изделий, состоящих из отдельных модулей.

Для повышения конкурентоспособности цепочки поставок необходимо сочетание в ней как способности рентабельно поставлять комплектующие в принятых функциональных условиях, так и способности адаптироваться к инновационным условиям. Для достижения данной цели необходимо решить следующие задачи.

1. С целью оптимизации процесса поставки комплектующих изделий на предприятия разработать модель расширенной трехуровневой цепи поставок.
2. Разработать предложения о необходимых мерах по снижению общих издержек.

Цепочка поставок комплектующих изделий на предприятие представляет собой совокупность потоков и соответствующих им кооперационных и координационных процессов между различными объектами цепи.

Логистические процессы подчиняются законам систем массового обслуживания, что позволяет использовать названный математический аппарат для их моделирования.

Постановка задачи. Построить модель расширенной трехуровневой цепочки поставок. В модели задействованы n предприятий, грузообменный пункт (дистрибьютор), грузообразующий пункт (поставщик). Данные узлы расположены в заданных координатах и связаны маршрутами различной протяженности, по которым курируют транспортные средства с определенной скоростью. Издержки, временные и пространственные показатели выражаются в условных единицах без учета наименований.

Дополнительные сложности связаны с вероятностной структурой спроса и ограничениями по допустимому уровню сервиса. Спрос на комплектующие у предприятий и дистрибьютора генерируется по нормальному закону распределения с математическим ожиданием 80 и стандартным отклонением 18 каждый день. Дефицит более 1,5% недопустим. Заказы формируются при достижении определенного порогового уровня запасов. Срок доставки зависит от расстояний между узлами. Необходимо найти оптимальные значения параметров управления запасами и оптимальные координаты размещения дистрибьютора и поставщика.

В качестве **критерия эффективности** выбрано значение общих издержек предприятия, представляющих сумму транспортных издержек и затрат на хранение. Необходима его минимизация. Здесь приведены некоторые из формул для расчета критерия эффективности, записанные в идентификаторах исходных данных и результатов моделирования.

$$\text{totalCost} = \text{retHoldingcost} + \text{retTrcost} + \text{DCHoldingcost} + \text{DCTrcost}, \text{ где} \quad (1)$$

totalCost – общие издержки,

retHoldingcost – издержки на хранение,

retTrcost – транспортные издержки,

DCHoldingcost – издержки дистрибьютора на хранение,

DCTrcost – транспортные издержки дистрибьютора.

$$\text{DCStock} = \text{DCEOQ} + \text{DCROP}, \text{ где} \quad (2)$$

DCStock - текущий уровень запаса дистрибьютора

DCEOQ – размер заказа дистрибьютора,

DCROP – величина порогового запаса дистрибьютора.

Оптимальным решением для моделирования объектов цепи представляется **агентное имитационное моделирование**, средой для разработки которого служит программа AnyLogic.

Агентное моделирование является более сложным типом моделирования в отличие от дискретно-событийного и системной динамики. Оно исследует поведение децентрализованных агентов и его влияние на

поведение всей системы в целом. Участники цепочки поставок могут быть представлены как агенты со своими индивидуальными целями и правилами. Основа такой модели является более глубоким и технологичным фундаментом, выдавая пользователю индивидуально разработанную анимацию, лаконичную, но при этом максимально полезную и понятную.

1.2 Анализ полученной модели

Полученная модель с высокой точностью отражает реальные результаты процесса поставок комплектующих изделий на предприятие. Она включает в себя несколько функциональных областей просмотра.

На начальной области просмотра предоставлены **исходные данные** процесса моделирования, включающие такие параметры, как координаты поставщика, допустимый уровень дефицита и другие. Параметры можно изменять в ходе выполнения модели, исследуя их влияние.

Событийная часть основана на модульном моделировании (рис.1). Главный активный класс Main создан для описания высокоуровневого объекта – цепи поставок. В него включены объявленные агентами классы нижнего уровня Предприятие, Дистрибьютор, Поставщик, Транспортные средства. Все они помещены в общую среду Environment (рис.2), которая определена на уровне класса Main для установления свойств агентов.



Рис. 1. Событийная часть модели.

Для обозрения и анализа результатов моделирования создан **сегмент «Результаты моделирования»**. Получаемые данные для удобства разделены на две группы: учет возникновения дефицита на предприятиях и учет издержек.

Создана основа «управляющего контура» модели, исполненная в виде **диаграммы действий** с объемным алгоритмом, так как система работает по сложной «тянущей» схеме движения материального потока (рис. 3). При каждом событии проверяется состояние всех элементов цепи, так как в один день дистрибьютору могут поступить заказы от нескольких предприятий, и не всегда имеющегося запаса хватит для обслуживания спроса. Алгоритм построен с помощью встроенных средств AnyLogic. Модули диаграммы действий реализованы в рамках нотации языка графического описания UML.

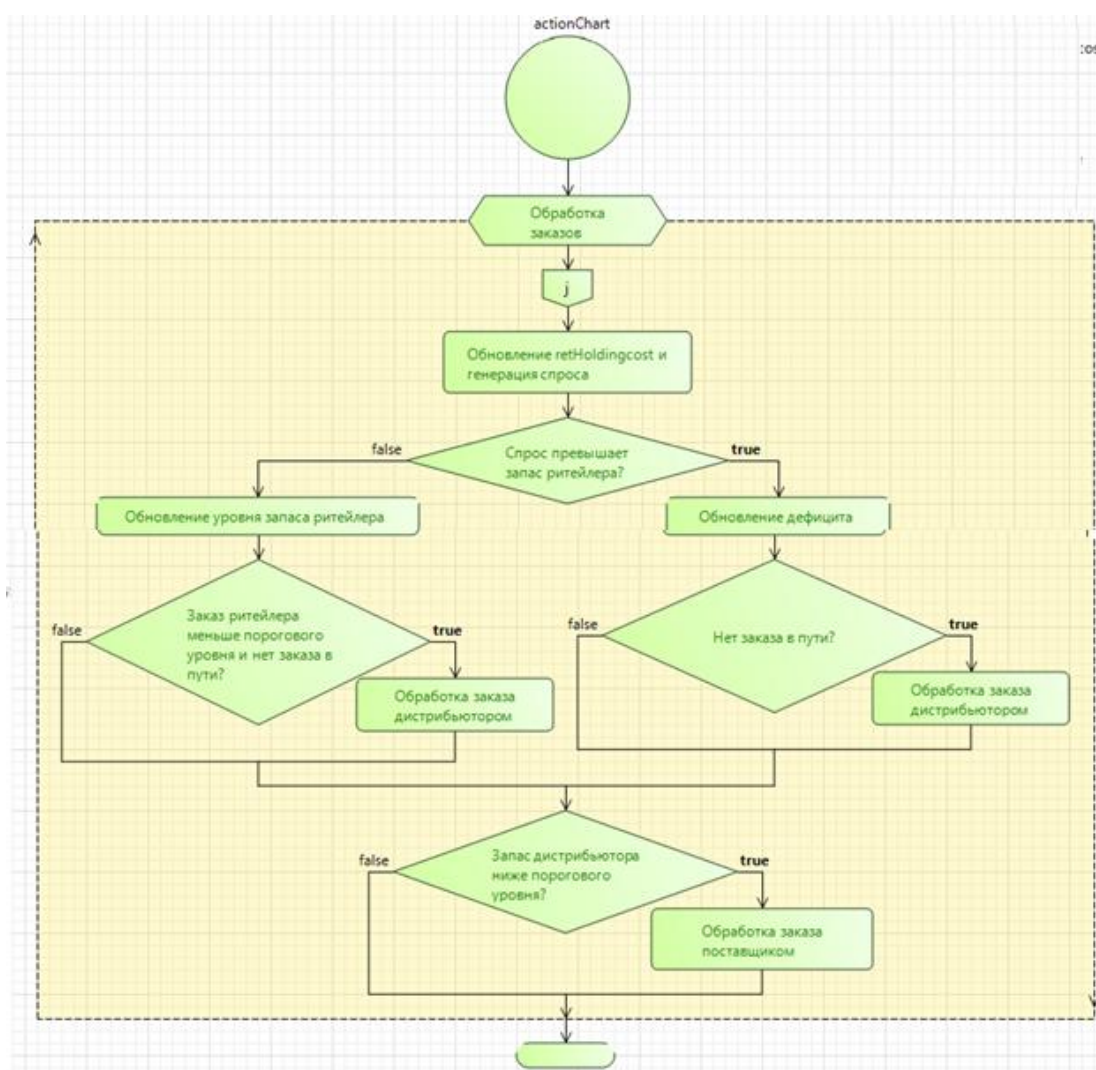


Рис.3. Диаграмма действий.

Для каждой циклических конструкций, модулей принятия решения, переменных, массивов, динамических событий разработан и прописан код на языке **Java**.

Временные графики в окне класса Main показывают, как варьируется спрос предприятий и дистрибьютора в зависимости от периода, с учетом инициализированных внутри графиков уровней запасов (рис.4).

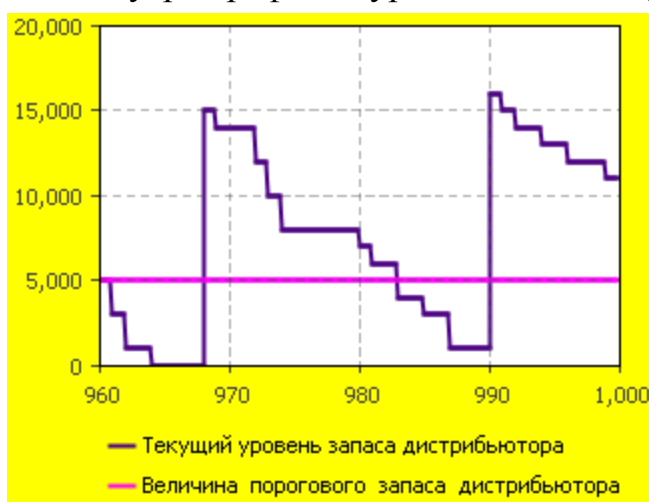


Рис. 4. Временной график для отображения динамики уровня изменения запасов дистрибьютора во времени.

Снижение общего уровня издержек будет зависеть **от 6 параметров:**

- Пороговый уровень запасов предприятия
- Размер заказа предприятия при пополнении запаса
- Координаты дистрибьютора
- Пороговый уровень запасов дистрибьютора
- Размер заказа дистрибьютора при пополнении заказа
- Координаты поставщика

Далее найдем оптимальные значения вышеперечисленных параметров.

1.3 Оптимизационный эксперимент

Для поиска оптимальных значений параметров моделирования, при которых достигается наилучшее значение целевой функции – общих издержек, создан **оптимизационный эксперимент**. Предусмотрена возможность экспорта результатов в файл Excel для дальнейшего анализа.

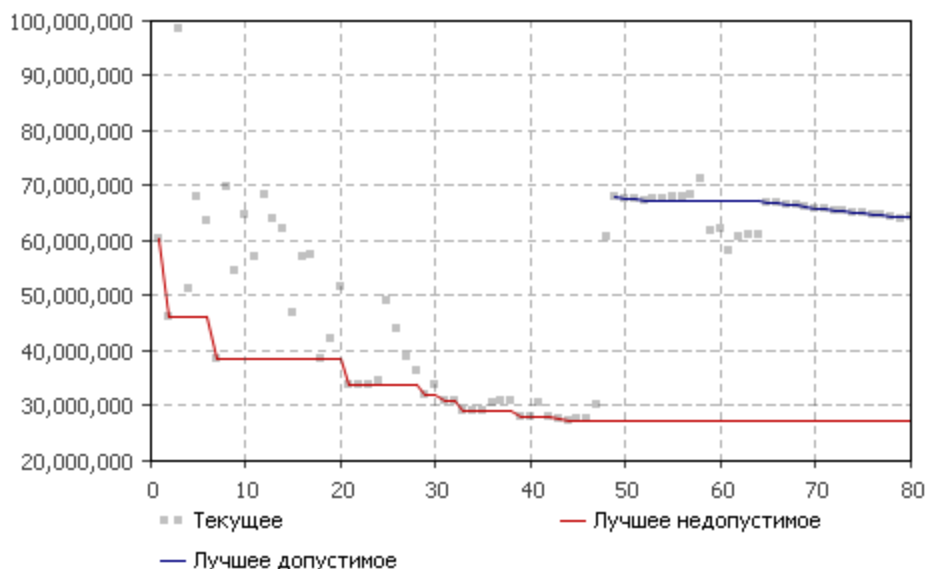


Рис. 5. Графические результаты оптимизационного эксперимента.

Для сравнения результатов проведен аналитический расчет параметров с использованием **логистических формул**. Расчет производится в программе Excel.

1. Расчет параметров порогового уровня запасов и оптимального размера заказа и их анализ для предприятий и дистрибьютора. В итоге обнаруживается, что созданные в Excel аналитические и оптимизационные кривые показателей предприятий практически совпадают. Также присутствует малое отличие результатов для дистрибьютора. Это означает, что полученные в результате моделирования данные дают нам действительный выигрыш, и подтверждает адекватность модели.

2. Расчет оптимальных координат дистрибьютора. На созданном в Excel графике схематично представлено расположение всех предприятий и 4 варианта расположения дистрибьютора: по аналитическим, заданным, оптимизационным и произвольно выбранным координатам. Выгодным считается наиболее равномерное ото всех предприятий расположение

дистрибьютора. Данному условию больше всех удовлетворяют оптимизационные и аналитические координаты, которые практически совпадают.

3. Варьирование параметров координат поставщика в ходе выполнения модели. Было осуществлено 5 различных прогонов, наименьшее значение общие издержки имеют при прогоне №5. На построенном графике отражено расположение предприятий, дистрибьютора и 5 вариантов расположения поставщика. Видно, что вариант №5 является самым удаленным от дистрибьютора.

Исходя из вышесказанного, можно поставить на построенные графики любые предлагаемые координаты узла и оценить оптимальность его расположения.

1.4 Перечень рекомендуемых мер

Таким образом, для уменьшения общих издержек необходимо принятие мер по **следующим направлениям:**

1. Выбор предприятиями дистрибьютора и дистрибьютором поставщика с максимально выгодным расположением. Вследствие этого будут уменьшаться расстояние и время заказа в пути, что приведет к снижению транспортных издержек.

2. Тщательный анализ и просчет величин размера заказа и порогового уровня. Это приведет к уменьшению поступления лишнего товара и уровня дефицита, и, как следствие, расходов на хранение.

При успешном выполнении перечисленных рекомендаций величина общих издержек падает, и цепочка поставок начинает работать с большей эффективностью.

Полученные данные пригодны для логистов как показатели четкости организации работы цепочки поставок, в том числе для организации транспортировки и т. д.

2.ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ ПРЕДПРИЯТИЯ

2.1 Постановка задачи

Следующим шагом исследования служит непосредственное рассмотрение функционирования предприятия по производству изделий, состоящих из отдельных модулей. **Себестоимость полученных изделий**, то есть издержки, понесённые предприятием на его производство и реализацию, напрямую зависит от эффективности производственного процесса предприятия.

Для достижения данной цели необходимо решить **следующие задачи**.

1. Разработать имитационную модель функционирования предприятия при изготовлении изделий из модулей.
2. Исследовать влияние различных параметров производства на себестоимость изделий.
3. Сделать вывод о необходимых мерах по снижению себестоимости продукции.

Постановка задачи: предприятие имеет n цехов, производящих n типов модулей. Интервалы выпусков – случайные. Перед сборкой каждый модуль проверяется на n постах, длительности контроля – случайные. На каждом посту бракуется определенный процент модулей. Они удаляются в брак. Не забракованные модули поступают на один из пунктов сборки, на каждом пункте собирается одновременно только одно изделие из n модулей всех видов. Время сборки случайное. Далее изделие поступает на один из стендов выходного контроля, где часть изделий бракуется. Забракованное изделие отправляется в цех сборки, и неработоспособные модули заменяются новыми. Затем изделие вновь поступает на один из стендов выходного контроля. Модули, замененные более одного раза, удаляются. Прошедшие стенд выходного контроля изделия поступают в отдел приемки. Там бракуется определенный процент изделий, которые направляются вновь на

стенд выходного контроля и снова проверяются. Принятые изделия направляются на склад.

В качестве критерия эффективности выбран **коэффициент повышения себестоимости изделия**. Чем ниже себестоимость изделия, тем эффективнее поставлен производственный процесс предприятия. Здесь показаны формулы для расчета критерия эффективности, записанные в идентификаторах исходных данных и результатов моделирования.

$$K_c = \text{coefIncrCostIzd} = C_{\max} / C_{\min}, \text{ где} \quad (3)$$

$$C_{\min} = [(stKomplBlock1 + stKomplBlock2 + stKomplBlock3 + stKomplBlock4) + stSborki + stKontrIzd + stPriemIzd] \cdot kolGotIzd - \text{минимальная себестоимость изделий}, \quad (4)$$

$$C_{\max} = \text{costKomplBlock} + \text{costIzgBlock} + \text{costTestBlock} + \text{costSborki} + \text{costTestIzd} + \text{costPriemkiIzd} + \text{costBrakBlock} - \text{себестоимость продукции в случае наличия брака}. \quad (5)$$

Структура модели предприятия по изготовлению изделий представлена на рис. 2. Предприятие представляет собой многоканальную многофазную систему массового обслуживания разомкнутого типа, хотя на отдельных ее фазах имеются обратные связи.

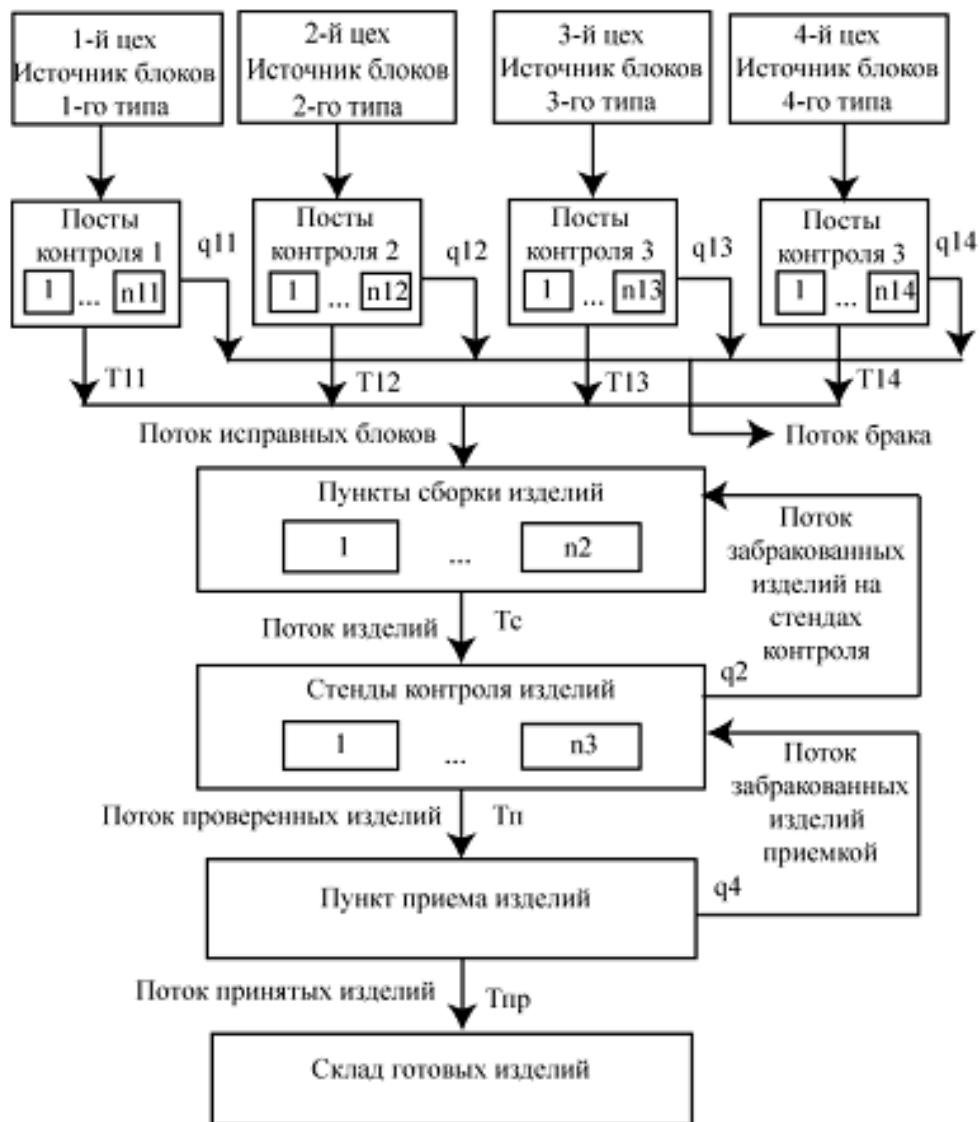


Рис. 6. Структура модели

2.2 Анализ полученной модели

Полученная модель с высокой точностью отражает реальные результаты процессов функционирования предприятия.

На начальной области просмотра предоставлены исходные данные процесса моделирования изготовления изделий из модулей, включающие такие параметры, как средние интервалы выпуска модулей цехами, стоимость сборки одного изделия и другие. Параметры можно изменять в ходе выполнения модели, исследуя их влияние на процесс производства.

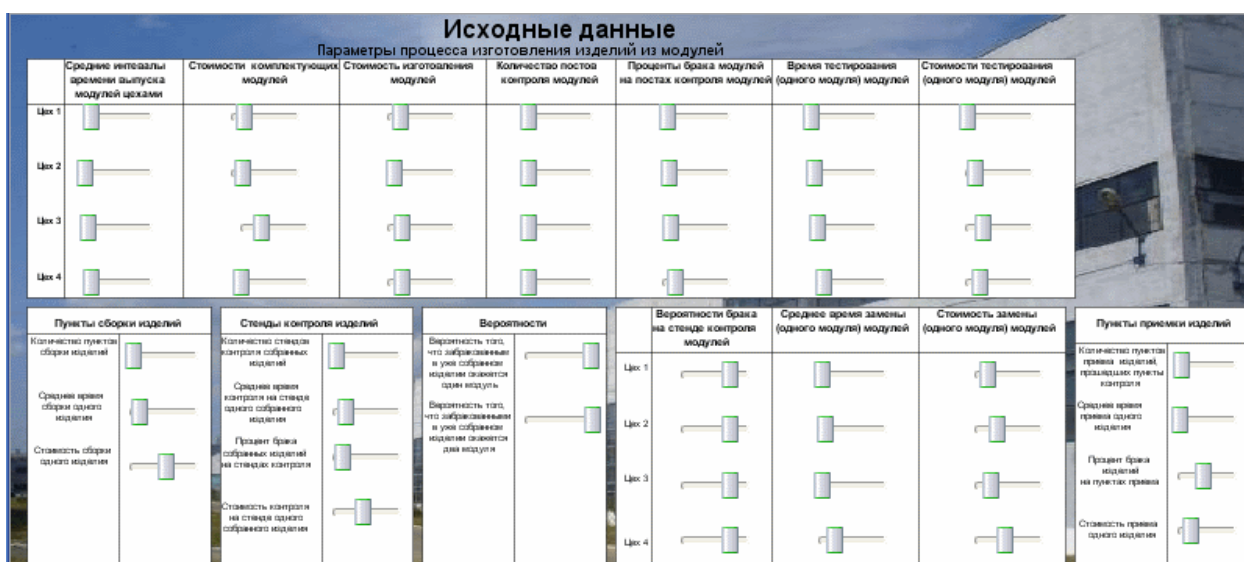


Рис. 7. Исходные данные

Далее создана событийная часть модели - структурная схема предприятия, состоящего из нескольких отделов. Для записи и хранения параметров модулей и изделий в дополнительные поля заявок создан нестандартный класс заявки Product.



Рис. 8. Структурная схема предприятия

Для размещения элементов, имитирующих работу постов контроля модулей, создан новый класс активного объекта Test. Каждый цех имеет посты контроля модулей одного типа. Они предназначены для приема модулей из цеха, тестирования их, отправки исправных модулей на пункты сборки изделий, а брака — на склад забракованных модулей.

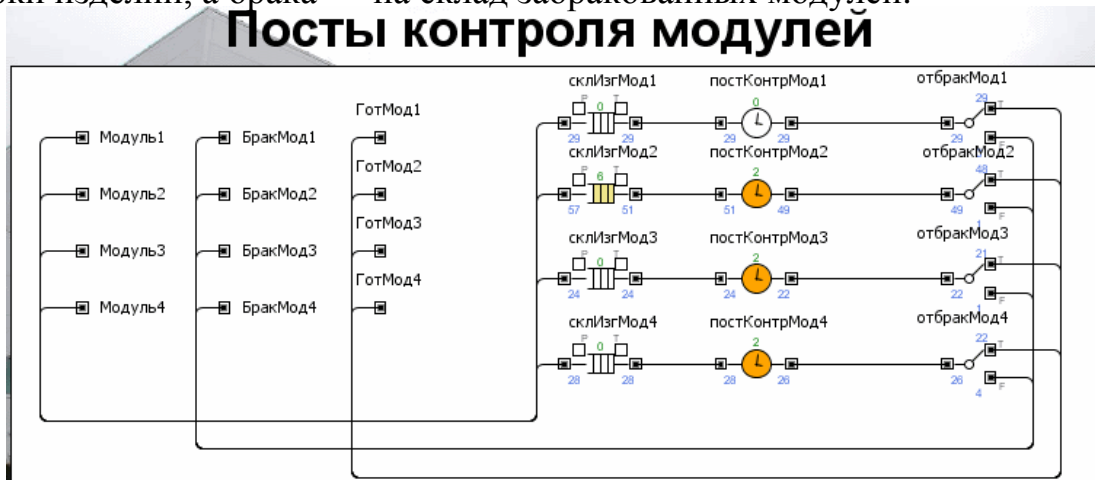


Рис. 9. Посты контроля модулей.

Для размещения элементов имитации работы пунктов сборки изделий создан новый класс активного объекта Sborka. Пункты сборки изделий предназначены для приема прошедших тестирование модулей с постов контроля, сборки изделий из модулей, замены забракованных модулей и отправки их на склад забракованных модулей.

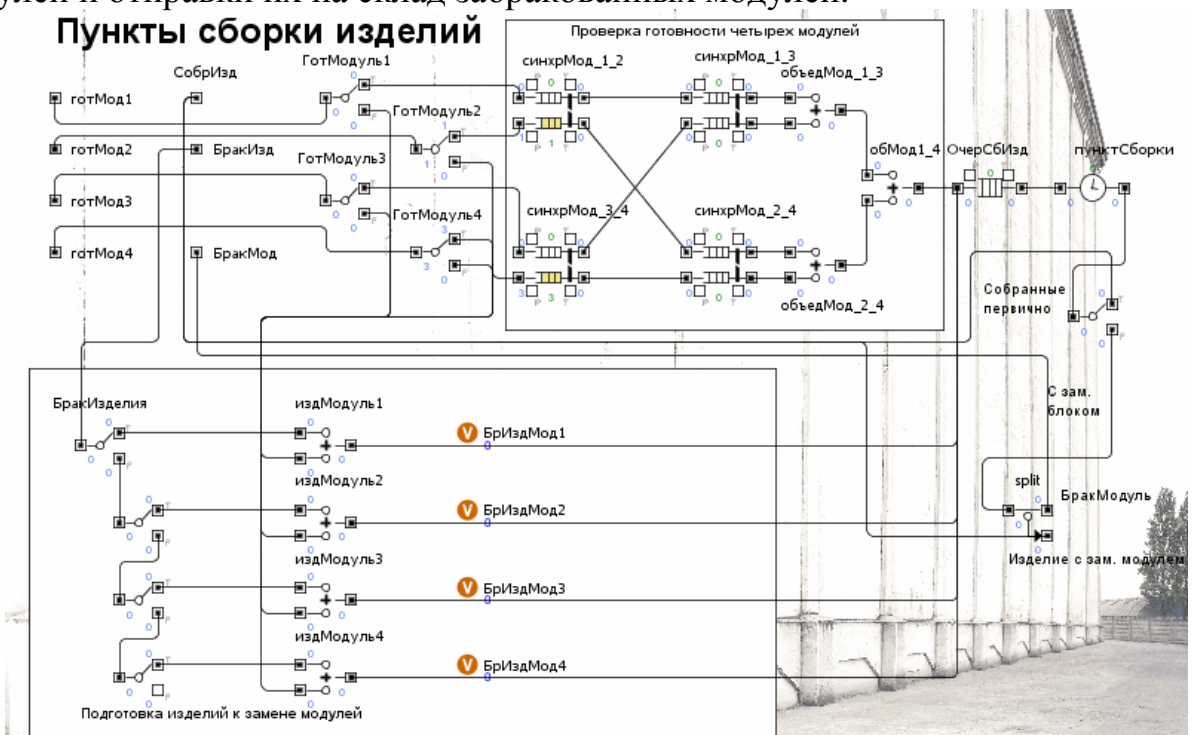


Рис. 10. Пункты сборки изделий.

Для обозрения и анализа результатов моделирования создан сегмент «Результаты моделирования». Данные, полученные в процессе выполнения моделирования, для удобства разделены на две группы: данные о количестве подготовленных и забракованных блоков и изделий и стоимостные показатели функционирования предприятия.

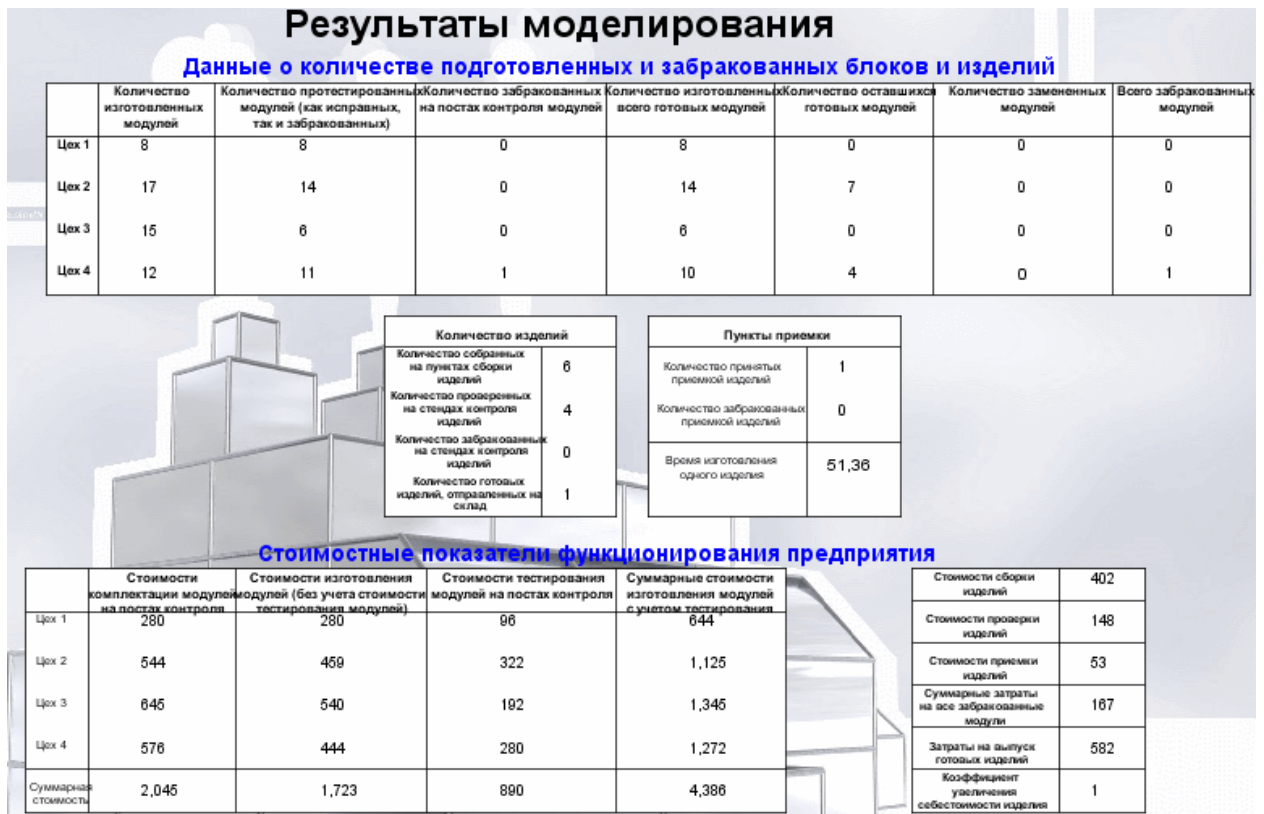


Рис. 11. Результаты моделирования.

2.3 Исследование влияния различных параметров разработанной модели

Ниже представлены основные результаты прогона модели в заданных начальных условиях. **Исследуем влияние различных параметров разработанной модели** на себестоимость изделий и сделаем вывод о необходимости принятия тех или иных мер, пользуясь выбранным критерием эффективности.

Все параметры, влияющие на коэффициент повышения себестоимости изделий, разделены на 5 категорий:

- Качество производимых модулей
- Качество контроля за браком
- Загруженность подразделений
- Время работы производственных подразделений
- Стоимость производственных подпроцессов

При начальных условиях работы предприятия коэффициент повышения себестоимости изделий составил 1,148. Далее был осуществлен ряд прогонов модели с вариациями параметров в соответствии с выделенными категориями. Были выявлены слабые места процесса производства и определены значения параметров, при которых коэффициент эффективности достигает наилучшего результата.

При понижении процента бракованных модулей и изделий коэффициент повышения себестоимости изделий составил 1,037.

При понижении вероятности обнаружения брака модулей и изделий коэффициент повышения себестоимости изделий составил 1,388.

При увеличении количества подразделений предприятия коэффициент повышения себестоимости изделий составил 1,088.

При уменьшении времени работы подразделений предприятия коэффициент повышения себестоимости изделий составил 1,098.

При уменьшении стоимости производственных подпроцессов коэффициент повышения себестоимости изделий составил 1,101.

2.4 Перечень рекомендуемых мер

Таким образом, для уменьшения себестоимости изделий необходимо, во-первых,

1. Тщательнее отслеживать процесс производства модулей в цехах для устранения брака.
2. Повысить качество контроля над выявлением брака в модулях и изделиях.
3. Снизить загруженность подразделений путем увеличения их количества.
4. Выработать оптимальное минимальное время работы подразделений с каждым изделием либо модулем.
5. Снизить стоимость производственных подпроцессов.

При успешном выполнении перечисленных рекомендаций величина коэффициента повышения себестоимости изделий падает, и предприятие начинает работать с большей эффективностью.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании проведения теоретических и экспериментальных исследований в работе получены следующие научные результаты:

1. Разработана имитационная модель производственного цикла предприятия, включающая процесс поставок комплектующих изделий на предприятие, производственные процессы предприятия.
2. Предложены меры для увеличения эффективности производственного цикла предприятия, которые могут быть успешно внедрены на практике.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. XJ technologies. Имитационное моделирование для науки и бизнеса [Электронный ресурс] // URL: <http://www.xjtek.ru>
2. "Anylogic" - программа имитационного моделирования. [Электронный ресурс] // URL: <http://www.anylogic.ru>
3. Боев В. Д., Кирик Д. И., Сыпченко Р. П. Компьютерное моделирование: Пособие для курсового и дипломного проектирования. — СПб.: ВАС, 2011. — 348 с.
4. Данилец, Е.В. Имитационное моделирование систем управления качеством в экономике / Е.В. Данилец // Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы. - <http://www.aeecs.org>
5. Синябрюхова, Е.Ю. Имитационное моделирование транспортной сети грузоперевозок / Е.Ю. Синябрюхова // Национальное общество имитационного моделирования. - <http://www.simulation.su>