

**КОБЕНКО АЛЕКСАНДР ВЛАДИМИРОВИЧ**

**РАЗРАБОТКА МОДЕЛЕЙ И МЕХАНИЗМОВ СИНХРОНИЗАЦИИ  
ПОТОКОВ В СНАБЖЕНЧЕСКО-ПРОИЗВОДСТВЕННО-СБЫТОВОЙ  
СИСТЕМЕ ПРЕДПРИЯТИЯ**

05.02.22 – Организация производства (машиностроение)

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Работа выполнена на кафедре организации производства федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» (Самарский университет).

**Научный руководитель:**

**Гришанов Геннадий Михайлович** – доктор технических наук, профессор, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева», НИЧ-90, ведущий научный сотрудник.

**Официальные оппоненты:**

**Галкин Виктор Иванович** – доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», кафедра «Технологии и системы автоматизированного проектирования металлургических процессов», профессор;

**Махитько Вячеслав Петрович** – доктор технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ульяновский институт гражданской авиации имени главного маршала авиации Б.П. Бугаева», кафедра «Организация аэропортовой деятельности и информационных технологий», заведующий кафедрой.

**Ведущая организация:**

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «**Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)**», г. Москва.

Защита состоится 5 июня 2020 года в 10:00 на заседании диссертационного совета Д 212.215.03, созданного на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» по адресу: 443086, г. Самара, Московское шоссе, 34.

С материалами диссертации можно ознакомиться в библиотеке федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» и на сайте [http://ssau.ru/resources/dis\\_protection/kobenko](http://ssau.ru/resources/dis_protection/kobenko).

Автореферат разослан «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,  
кандидат технических наук, доцент

Ерисов Я.А.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования.** Конкурентоспособность крупных промышленных комплексов, состоящих из служб по сбыту, производству, снабжению, в огромной степени зависит от эффективности их функционирования. Синхронизация потоков как внутри каждой службы, так и между ними обуславливает уровень потенциала предприятия по расширению производства, рентабельности, устойчивости системы. Наиболее эффективным способом организации производства в машиностроении является поточное и ритмичное производство, синхронизированное по всем производственным процессам, начиная от поставки материалов и комплектующих и заканчивая поставкой готовой продукции прямому и конечному потребителю. Невыполнение требований по ритмичности и снижение уровня синхронизации приводят к неравномерной загрузке производственных мощностей, что влияет на возникновение скрытых непроизводительных потерь (перепроизводство, избыточные запасы, потери рабочего времени, простои рабочих участков и др.). Поэтому, организация ритмичного выпуска машиностроительной продукции является актуальной задачей.

Теория организации и управления динамикой материальных и информационных потоков составляет важный раздел исследования задач принятия решений, при реализации которых наибольшее распространение получили математические методы и методы динамического имитационного моделирования. В данной работе анализируются и исследуются дискретные динамические аналитические и компьютерные имитационные модели, в совокупности составляющие адаптивный механизм организации и управления потоками в сбытовой, производственной системах и системе поставок комплектующих предприятия.

Разработка методов, моделей и механизмов проектирования и синхронизации потоков в снабженческо-производственно-сбытовой системе становится актуальной научно-производственной темой исследования.

**Степень разработанности темы.** Проблемам аналитического и компьютерного моделирования производственных систем посвящено большое количество работ отечественных и зарубежных авторов. Среди них можно отметить таких авторов как Л. фон. Берталанфи, Х. Биннер, Д.А. Гаврилов, В.М. Глушков, П. Джексон, С.А. Думлер, Р.Р. Загидуллин, О.В. Козлова, Г.Г. Куликов, Д. О'Лири, А.Г. Мамиконов, Г.Л. Метт, В.А. Мизюн, К.В. Прангишвилли, А.В. Речкалов, Р.С. Седегов, Л.И. Смоляк, Р. Сталь, А.Н. Стерлигова, О.У. Уайт, М. Хаммер, К. Уилберт, Т. Уоллас, Д. Уотермен, Е.Б. Фролов, М.Ш. Цаленко, Дж. Чампи, Е.Г. Шульгейфер, Дж. Шрайбфедер, У.Р. Эшби.

Большой вклад в теорию организации и оптимизации производственных процессов машиностроительных производственных систем внесли В.П. Вороненко, Ю.М. Соломенцев, А.И. Сердюк, В.Г. Засканов, Г.М. Гришанов, В.В. Морозов, Дж. Корен и др. Проблемам организации и моделирования производственных процессов посвящены работы Д.В. Антипова, Г.Н. Калянова, А.А. Багриновского, И.Н. Хаймович, В.И. Ширяева, Дж. Форрестера, Э.Р. Харта и др. Исследованиям в

области проектирования и автоматизации производственных систем посвящены работы А.И. Сергеева, В.Н. Васильева, В.Ф. Горнева, В.В. Емельянова, Дж. Хартли и других ученых.

Отмеченные проблемы методического характера обусловили актуальность выбранного направления исследования и определили постановку цели и задачи диссертационной работы.

**Цель исследования** – синхронизировать материальные и информационные потоки в снабженческо-производственно-сбытовой системе на основе имитационных моделей и адаптивных механизмов, повышающих уровень устойчивости и эффективности функционирования промышленного предприятия

**Задачи исследования:**

1. Провести анализ условий обеспечения синхронизации материальных и информационных потоков в снабженческо-производственно-сбытовой системе производственного комплекса.

2. Разработать модель конкурентного взаимодействия на автомобильном рынке по комплектованию заказа со стороны потребителей с учетом функции спроса.

3. Разработать математические и имитационные модели синхронизации материальных и информационных потоков в сбытовой системе

4. Разработать математические и имитационные модели синхронизации материальных и информационных потоков в производственной системе

5. Разработать математические и имитационные модели синхронизации материальных и информационных потоков в системе поставок комплектующих.

**Область исследования** соответствует п. 3 «Разработка методов и средств информатизации и компьютеризации производственных процессов, их документального обеспечения на всех стадиях» и п. 11 «Разработка методов и средств планирования и управления производственными процессами и их результатами» паспорта специальности 05.02.22 – Организация производства (по отраслям).

**Объект исследования:** материальный и информационный поток снабженческо-производственно-сбытовой системы промышленного комплекса автосборочных предприятий.

**Предмет исследования:** математические и имитационные модели и механизмы синхронизации материальных и информационных потоков в снабженческо-производственно-сбытовой системе промышленного комплекса

**Научная новизна** диссертационной работы определяется следующими положениями:

1. Разработаны математическая и имитационная модели синхронизации материальных и информационных потоков в сбытовой системе, описывающие механизмы синхронизации потоков формирования невыполненных заказов и потока формирования запасов готовой продукции на складе дилера. Модели позволяют обеспечить синхронизацию потоков за счет управления параметрами времени запаздывания выполнения заказов, объема невыполненных заказов и уровня запасов готовой продукции.

2. Разработаны математическая и имитационная модели синхронизации потоков в производственной системе, определяющие механизмы синхронизации сборочных операций и организации ритмично-циклической последовательности выпуска готовой продукции. Совокупность моделей позволяет снизить запасы комплектующих на сборочных операциях и запасы готовой продукции за счет управления параметрами скорости потока заказов от дилера и скорости потока отгрузки готовой продукции.

3. Разработаны математическая и имитационная модели синхронизации материальных и информационных потоков в системе поставок комплектующих, описывающие адаптивные механизмы синхронизации потока заказов комплектующих и потока поставок комплектующих на автосборочное производство и механизм формирования их запасов. Критерием достижения синхронизации потоков является равенство скорости потока поставки комплектующих и скорости потока заказов на поставку комплектующих. Разработанные модели отличаются от существующих тем, что синхронизация достигается за счет изменения скорости потока заказов и скорости потока поставок комплектующих, при этом подбирается оптимальная ритмичность поставок для снижения объема запасов комплектующих.

**Теоретическая значимость** работы заключается в развитии научных подходов и инструментария организации эффективного функционирования потоков в снабженческо-производственно-сбытовой системе промышленного комплекса за счет адаптивных механизмов синхронизации материальных и информационных потоков, что повышает устойчивость системы и улучшает ключевые производственные показатели потока, такие как уровень удовлетворенности спроса, скорость потоков, объем запасов комплектующих и готовой продукции.

**Практическая значимость** работы определяется реализацией аналитических и компьютерных моделей в дирекции по поставкам, в службе по продажам и маркетингу, в службе по производству автомобилей промышленного комплекса ПАО «АВТОВАЗ», а также возможностью применения разработанных методов и моделей на машиностроительных предприятиях по выпуску автомобилей.

#### **Положения, выносимые на защиту:**

1. Математическая модель конкурентного взаимодействия на автомобильном рынке по комплектованию заказа со стороны потребителей с учетом функции спроса.

2. Математическая и имитационная модели формирования потока невыполненных заказов в сбытовой системе предприятия и оценка чувствительности модели к изменению времени запаздывания, основанная на механизме формирования запасов на складе дилера.

3. Математические и имитационные модели синхронизации сборочных операций с оценкой эффективности работы конвейера и организацией ритмично-циклической последовательности выпуска автомобилей.

4. Математические и имитационные модели формирования запасов и синхронизация потоков в системе поставок комплектующих на сборочное производство, синхронизации потоков между производственной системой и системой поставок.

**Степень достоверности и обоснованности** научных положений диссертационной работы обусловлено корректным применением методов системной динамики, методов структурного моделирования, методов анализа чувствительности, методов теории организации, теории управления запасами и др. Достоверность предложенных решений подтверждается также положительным эффектом от их внедрения в сбытовую, производственную систему и систему поставок, комплектующих в промышленный комплекс ПАО «АВТОВАЗ».

**Апробация результатов исследования.** Результаты диссертационной работы докладывались на XIII Всероссийской школе-конференции молодых ученых «Управление большими системами» (г. Самара, 2016 г.) и Международной научно-практической конференции «Теоретико-методологические и практические проблемы интеграции, диверсификации и модернизации региональных промышленных комплексов» (г. Самара, 2017 г.).

**Публикации.** Результаты диссертации опубликованы в 8 печатных работах, из которых 1 монография, 5 статей в журналах, рекомендованных ВАК Минобрнауки России, 2 работы в материалах конференций.

**Структура и объем диссертации.** Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы, содержащего 187 наименований. Диссертация изложена на 170 страницах, содержит 62 рисунка и 6 таблиц.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность диссертационного исследования, сформулированы цель и задачи, дана общая характеристика работы, проведен выбор объекта и предмета исследования, указана научная новизна и практическая значимость результатов работы, определены выносимые на защиту научные положения и результаты.

**В первой главе** обоснованы тенденции в теории организации поточного производства на предприятии в условиях конкуренции, представлена структура рынка и модели комплектования заказа на автомобильном рынке, реализация которого осуществляется в соответствии со схемой информационных, материальных потоков в системе управления промышленным комплексом.

Для обеспечения оптимальной эффективности функционирования промышленного комплекса предложены его целевые показатели. Показано, что структура промышленного комплекса состоит из цепи поставок автокомпонентов, производственной цепи и дилерской сети по продажам, объединенных между собой информационными и материальными потоками. Основу снабженческо-производственно-сбытовой системы промышленного комплекса составляют материальные и информационные потоки, схема которой изображена на рисунке 1. На схеме представлены два потока в виде потока заказов и потока изделий, которые в точках их пересечения должны быть синхронизированы. При этом существует проблема внутреннего противоречия в цепях промышленного комплекса. Наиболее ярко противоречия в многоуровневой цепи проявляются в решении проблем синхронизации потоков:

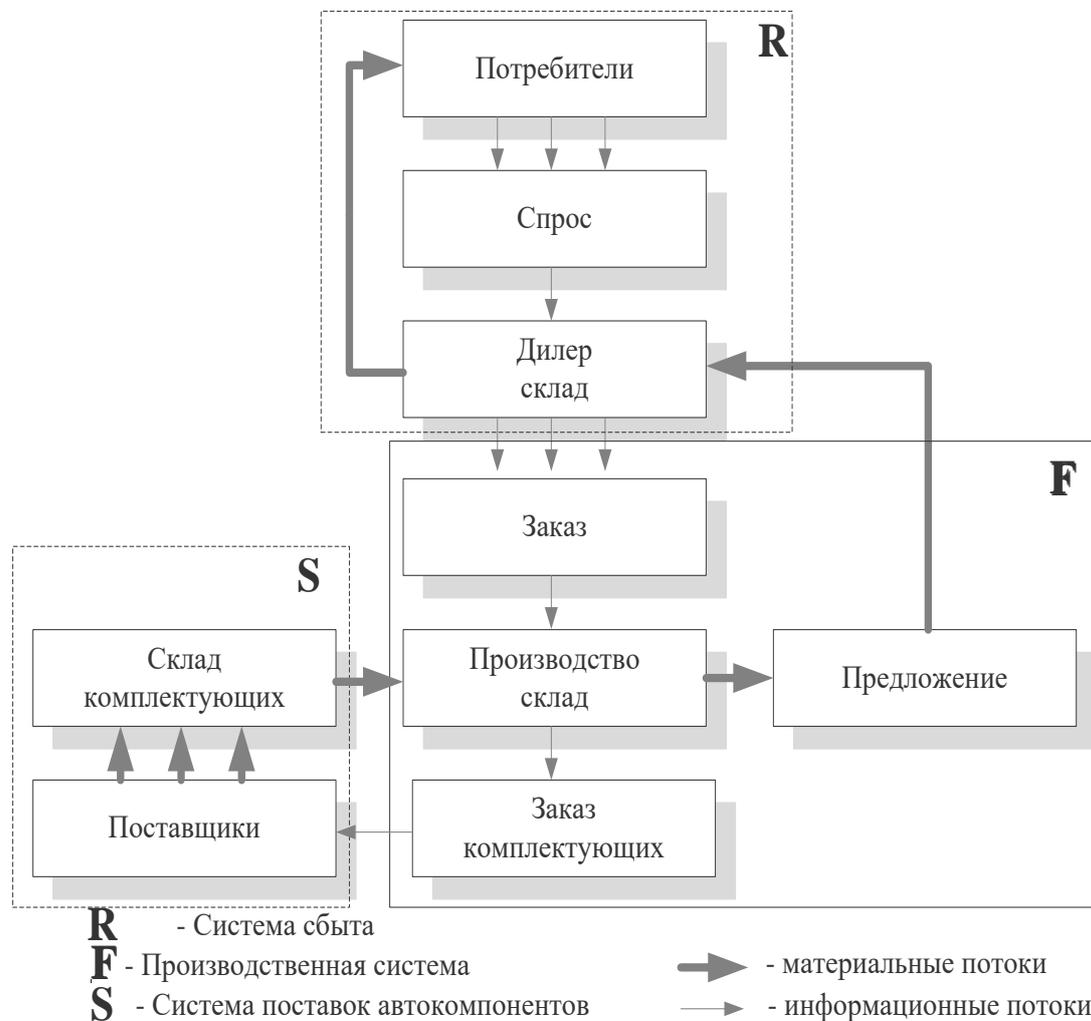


Рисунок 1 – Схема информационных и материальных потоков в снабженческо-производственно-сбытовой системе предприятия

1. Проблема синхронизации потоков в сбытовой системе заключается в том, что из-за разности в скоростях потока поступающих заказов от потребителей, потока отгружаемой продукции и потока формирования запасов на складе у дилера увеличивается объем невыполненных заказов и увеличивается объем запасов автомобилей на складах у дилера. Это приводит к ухудшению показателей уровня удовлетворенности спроса, объем запасов готовой продукции на складах у дилера, затрат на формирования и хранения запасов готовой продукции.

2. Проблема синхронизации потоков в производственной системе заключается в том, что из-за не синхронной работы сборочных операций возникают избыточные запасы комплектующих, либо простои сборочных операций по причине отсутствия комплектующих. Также из-за разности в скорости заказов на производство и скорости производства готовой продукции возникают запасы готовой продукции. При этом увеличивается объем невыполненных заказов дилера и объем запасов готовой продукции на складах автосборочного предприятия.

3. Проблема синхронизации потоков в системе поставок автокомпонентов заключается в том, что из-за разности в скоростях потока заказов комплектующих от автосборочного предприятия поставщику и потока поставки комплектующих от по-

ставщика на автосборочное производство увеличивается время запаздывания выполнения заказа и объем невыполненных заказов.

Разработана модель конкурентного взаимодействия между участниками рынка. Общий подход комплектования заказа в рыночных условиях проиллюстрирован на примере модели конкурентного взаимодействия между двумя предприятиями (дуопольный рынок). При известных функциях спроса модель задачи выбора цены автомобиля каждым предприятием при максимизации объема продаж имеет вид:

$$f_i(P_i, D_i(P_i, P_j)) = P_i D_i(P_i, P_j) = P_i(D_0 - a_i P_i + k_i p_j) \rightarrow \max_{P_i}, i, j = 1, 2, i \neq j,$$

где  $D_0$  – объем рынка изделий;  $a_i, i = 1, 2$  – скорость убывания функции спроса  $i$ -го предприятия;  $k_i, i = 1, 2$  – скорость возрастания функции спроса  $i$ -го предприятия.

Для определения равновесных цен сформирована система уравнений и определены для каждого предприятия равновесные значения объемов выпуска автомобилей:

$$D_1^0 = x_1^p = \frac{D_0 a_1 (2a_2 + k_1)}{4a_1 a_2 - k_1 k_2}, D_2^0 = x_2 = \frac{D_0 a_2 (2a_1 + k_2)}{4a_1 a_2 - k_1 k_2}.$$

Для устойчивости конкурентного автомобильного рынка и существования точки равновесия необходимо, чтобы соотношения между параметрами функции спроса  $D_0, a_1, a_2, k_1, k_2$  обеспечивали выполнение следующего неравенства:

$$(2a_1 > k_1) \wedge (2a_2 > k_2).$$

Предложенный подход позволяет скомплектовать заказ на выпуск автомобилей любой модели при известной функции спроса, что является отправной точкой для решения задач по синхронизации материальных и информационных потоков снабженческо-производственной-сбытовой системы.

**Во второй главе** сформированы и исследованы динамика изменения потока невыполненных заказов со стороны покупателей, уровень текущего и желательного запаса на складе дилера, формирование процедуры усреднения, динамика потока отгрузки изделий покупателям со склада дилера и величины общего переменного запаздывания выполнения заказов дилером, решена проблема синхронизации между потоками заказов со стороны покупателей и потоком отгрузки изделий из производства в сбытовую систему.

При моделировании динамики материальных потоков в задачах прогнозирования результатов деятельности предприятия необходимо учитывать нелинейность изменения траекторий потоков. Свойством нелинейности обладают логистические уравнения модели Лотки-Вольтерры. В процессе моделирования динамики материальных и информационных потоков основным нелинейным свойством является эффект его насыщения, что превращается в требование диссипативности моделей. Диссипативность моделей означает, что модель потока демпфирует неожиданные изменения в его развитии и поэтому модели Лотки-Вольтерры обладают свойством диссипации, что позволяет широко использовать их для описания динамики изменения материальных и информационных потоков.

Для обеспечения целевых показателей эффективности в сбытовой системе промышленного комплекса необходимо синхронизировать материальные и информационные потоки. Для синхронизации материальных и информационных потоков в

сбытовой системе промышленного комплекса важно управлять двумя ключевыми параметрами: 1) величина запаздывания в процессе реализации заказов в сбытовой системе; 2) объем невыполненных заказов в сбытовой системе. При этом величина запаздывания влияет на объем не выполненных заказов.

При моделировании в основу положены подходы, описанные в работах Дж. Форрестера и В. Вольтерры. Сформирована дискретная динамическая имитационную модель механизма аналитического проектирования сбытовой системы:

$$\begin{aligned}
 x_{UO}^R(t+1) &= x_{UO}^R(t) + c_{UO}^R x_{UO}^R(t) \Delta t (v_{RR}^R(t) - v_{SS}^R(t)), \\
 z_{IA}^R(t+1) &= z_{IA}^R(t) + c_{IA}^R x_{IA}^R(t) \Delta t (v_{SR}^R(t) - v_{SS}^R(t)), \\
 v_{SS}^R(t) &= \frac{x_{UO}^R(t+1)}{h_{DF}^R(t)}, 0 < z_{IA}^R(t) \leq A, \\
 z_{ID}^R(t) &= \beta v_{RS}^R(t), h_{DF}^R(t) = h_{DH}^R + h_{DU}^R \frac{z_{ID}^R(t)}{z_{IA}^R(t)}, \\
 v_{RS}^R(t+1) &= v_{RS}^R(t) + \Delta t \left( \frac{1}{h_{DR}^R} \right) (v_{RR}^R(t) - v_{RS}^R(t)), \\
 v_{RR}^R(t) &= const, x_{UO}^R(0) = v_{RR}^R(0), x_{UO}^R(t) \geq 0, z_{IA}^R(0) = \beta v_{RS}^R(0), \\
 z_{IA}^R(t) &\geq 0, \beta = const, t = 0, 1, 2 \dots,
 \end{aligned} \tag{1}$$

где  $x_{UO}^R(t)$  – объем потока невыполненных заказов в сбытовой системе;  $v_{RR}^R(t)$  – величина скорости входящего потока заказов на изделия со стороны покупателей, характеризующая спрос на изделия;  $v_{SR}^R(t)$  – величина скорости входящего потока поставки изделий в сбытовую систему из производственной системы предприятия;  $v_{SS}^R(t)$  – величина скорости исходящего потока отгрузки изделий покупателям, на единицу времени запаздывания при реализации заказов в сбытовой системе;  $h_{DF}^R(t)$  – величина запаздывания в процессе реализации заказов в сбытовой системе;  $z_{IA}^R(t)$  – фактический запас в сбытовой системе;  $\Delta t$  – временной шаг интегрирования.

Полученная модель механизма аналитического проектирования сбытовой системы позволяет выявить влияние потоков невыполненных заказов на величину потока запасов изделий на складе дилера и на этой основе исследовать динамику изменения потоков отгрузки изделий покупателям, формирования потока заказов, направляемых дилером в производственную систему для их реализации. Для реализации модели (1) сформирована компьютерная имитационная модель механизма проектирования сбытовой системы (рисунок 2).

На рисунке 3 представлены графики траекторий изменения параметров модели механизма аналитического проектирования сбытовой системы при увеличении объема спроса на 10% в момент времени  $t = 5$  нед. Сравнивая траекторию изменения объема невыполненных заказов  $x_{UO}^R(t)$  с траекторией разности между величинами скоростей потоков заказов и отгрузки изделий покупателям  $(v_{RR}^R(t) - v_{SS}^R(t))$ , отметим, что с уменьшением разности между скоростями потоков объем невыполненных заказов уменьшается до установившегося значения равного  $x_{UO}^R(t) = 3366$  шт. При этом в момент времени  $t = 11$  нед. объем невыполненных заказов достигает максимального значения равного  $x_{UO}^R(t) = 3545$  шт., а разность становится равной

нулю  $(v_{RR}^R(t) - v_{SS}^R(t)) = 0$ . Графики траекторий объемов запасов  $z_{IA}^R(t)$  и величина разности между скоростями потоков  $(v_{SR}^R(t) - v_{SS}^R(t))$  имеют обратный характер. Как следует из результатов моделирования время переходного процесса составляет 24 нед., разность между потоками при  $t > 24$  недели равна нулю, а величина потока запасов и объема невыполненных заказов достигают новых установившихся значений. Это означает, что имитационная модель механизма обеспечивает синхронизацию потоков и устойчивость системы сбыта.

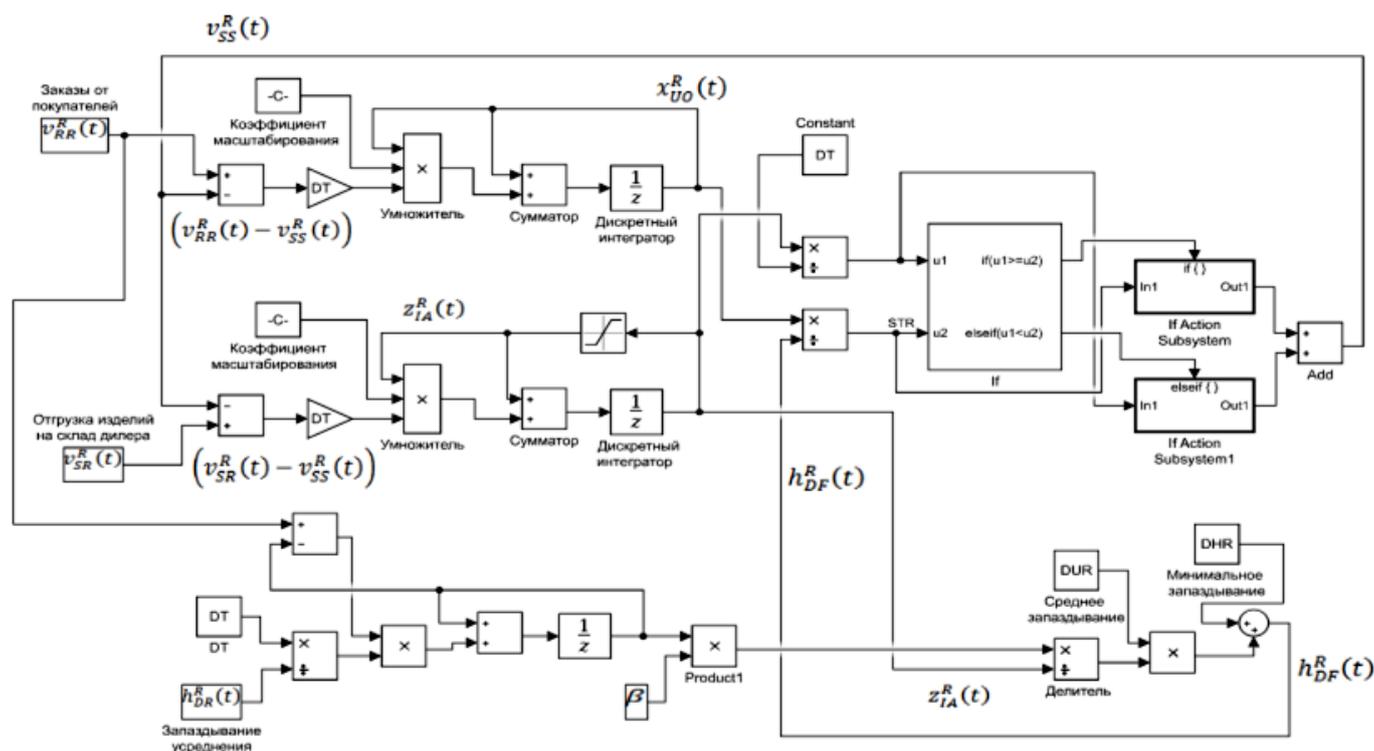


Рисунок 2 – Имитационная модель механизма синхронизации потоков в сбытовой системе

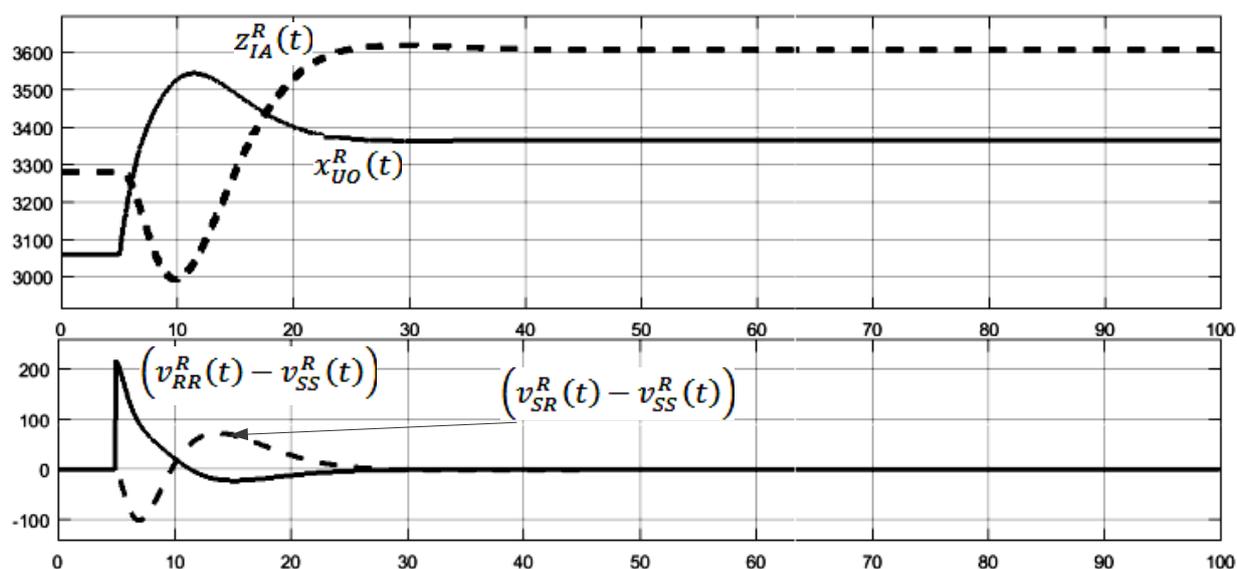


Рисунок 3 – График траекторий изменения параметров модели механизма аналитического проектирования сбытовой системы

В работе разработана и исследована на чувствительность динамическая модель формирования объемов невыполненных заказов  $x_{UO}^R(t)$  к изменению времени запаздывания  $h_{DF}^R(t)$ . Оценка чувствительности выходных параметров сбытовой системы к изменению внутренних параметров модели механизма синхронизации позволяет выявить в каждый момент времени изменение состояния системы и на этой основе обеспечить процесс синхронизации потоков.

В третьей главе рассмотрена проблема синхронизации материальных и информационных потоков между сбытовой и производственной системой. Для этого осуществлено моделирование производственной системы по выпуску изделий с учетом ее организационных особенностей. Производственная система включает подразделения, обеспечивающие непосредственное производство изделий, склад товарной продукции, связанный со складами дилеров; потоки объемов выпускаемой продукции (материальные потоки) и потоки заказов (информационные потоки), получаемые производством от дилеров сбытовой системы. Динамика взаимодействия в производственной системе материальных и информационных потоков представлена в виде системы дискретных динамических логистических уравнений механизма аналитического проектирования и синхронизации потоков в производственной системе:

$$\begin{aligned}
 x_{UO}^F(t+1) &= x_{UO}^F(t) + c_{UO}^F x_{UO}^F(t) \Delta t (v_{RR}^F(t) - v_{SS}^F(t)), \\
 z_{IA}^F(t+1) &= z_{IA}^F(t) + c_{IA}^F z_{IA}^F(t) \Delta t (v_{SR}^F(t) - v_{SS}^F(t)), \\
 v_{ST}^F(t) &= \frac{x_{UO}^F(t)}{h_{DF}^F(t)}, v_{NI}^F(t) = \frac{z_{IA}^F(t)}{\Delta t}, \\
 v_{SS}^F(t) &= \begin{cases} v_{ST}^F(t), & \text{если } v_{NI}^F(t) \geq v_{ST}^F(t) \\ v_{NI}^F(t), & \text{если } v_{NI}^F(t) < v_{ST}^F(t) \end{cases} \quad (2) \\
 h_{DF}^F(t) &= h_{DH}^F + h_{DU}^F \frac{z_{ID}^F(t)}{z_{IA}^F(t)}, z_{ID}^F(t) = \beta^F v_{RS}^F(t), \\
 v_{RS}^F(t+1) &= v_{RS}^F(t) + \Delta t \left( \frac{1}{h_{DR}^F} \right) (v_{RR}^F(t) - v_{RS}^F(t)), \\
 \beta^F &= const, t = 0, 1, 2 \dots,
 \end{aligned}$$

где  $x_{UO}^F(t)$  – объем потока невыполненных заказов производством;  $v_{RR}^F(t)$  – скорость потока заказов, получаемых производством со стороны дилеров;  $v_{SS}^F(t)$  – скорость потока отгрузки изделий с заводского склада в сбытовую систему;  $z_{IA}^F(t)$  – текущий запас на заводском складе;  $v_{SR}^F(t)$  – производительность выпуска изделий, отгружаемых на заводской склад;  $c_{UO}^F, c_{IA}^F$  – коэффициенты масштабирования;  $h_{DF}^F(t)$  – величина времени общего переменного запаздывания выполнения заказов производством;  $v_{ST}^F(t)$  – вспомогательная переменная, характеризующая скорость отгрузки изделий с заводского склада в сбытовую систему на единицу времени общего переменного запаздывания выполнения заказов производством;  $v_{NI}^F(t)$  – предельная скорость потока отгрузки изделий из производственной в сбытовую систему;  $h_{DH}^F$  – время минимального запаздывания выполнения заказов производством;  $h_{DU}^F$  – время среднего запаздывания выполнения заказов производством в случае отсутствия на заводском складе

изделий;  $z_{ID}^F(t)$  – объем желательного запаса на заводском складе;  $\beta^F$  – коэффициент пропорциональности;  $v_{RS}^F(t)$  – величина средней скорости потока заказов в производство со стороны сбытовой системы;  $h_{DR}^F$  – время запаздывания процедуры усреднения скорости заказов в производство со стороны сбытовой системы.

В полученной имитационной модели (2) механизма аналитического проектирования и организации производственной системы отражены два основных потока, характеризующих объем заказов в производственную систему, поступающих от дилера, и поток отгрузки изделий в сбытовую систему. Модель механизма функционирования производственной системы позволяет выявить влияние потоков невыполненных заказов на величину потока запасов изделий на производственном складе и на этой основе исследовать динамику изменения потоков отгрузки изделий в сбытовую систему.

Для реализации модели (2) сформирована блок-схема модели механизма аналитического проектирования и организации производственной системы (рисунок 4). В основу полученной имитационной модели положен аппарат конечно-разностных уравнений с дискретизацией времени по неделям, позволяющий сформировать базовые уравнения для определения взаимосвязанных потоков отгрузки изделий в сбытовую систему и поступления заказов и оценить уровень синхронизации их в производственной системе. Отметим, что оценка уровня синхронизации обеспечивается в модели величиной разности между скоростями потоков заказов и отгрузки изделий, а также между скоростями входных и выходных потоков на производственном складе.

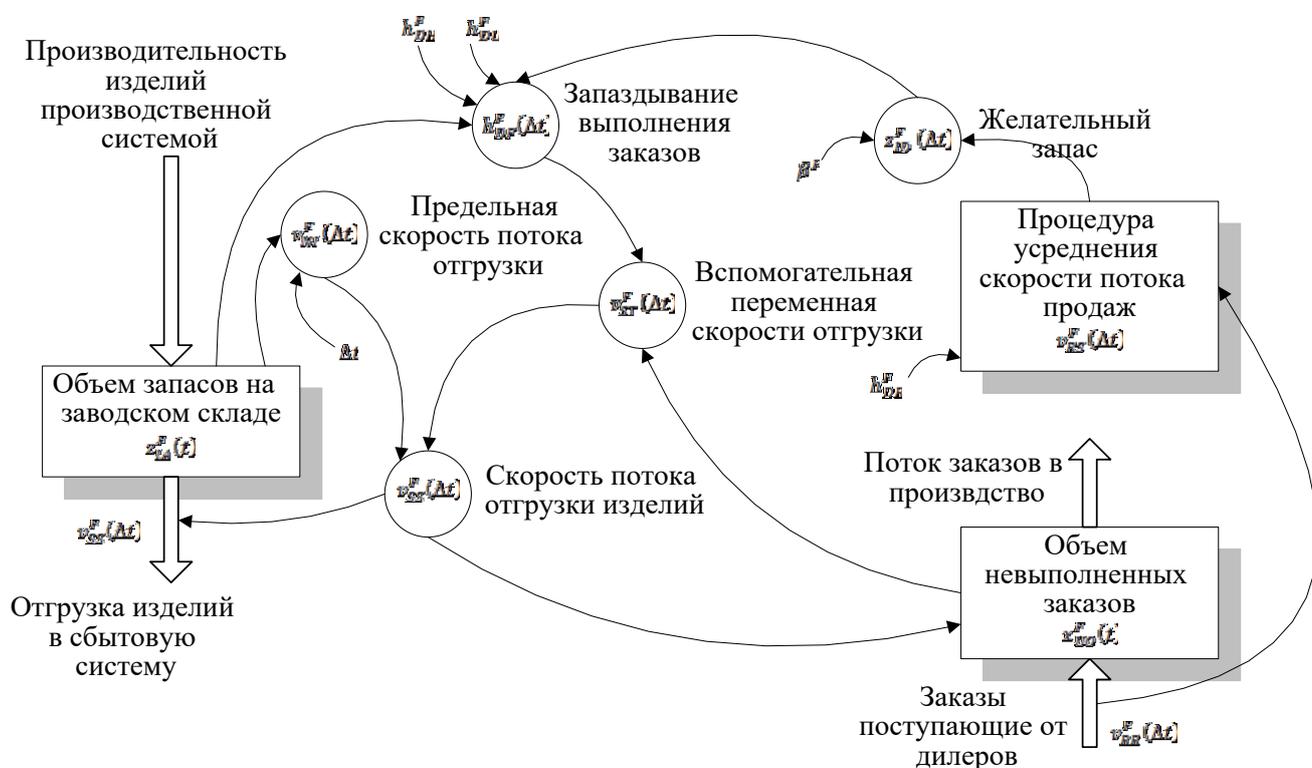


Рисунок 4 – Блок-схема потоков в производственной системе

На рисунке 5 представлены траектории изменения величин объемов невыполненных заказов в производственной системе  $x_{UO}^F(t)$  и величины разности между

скоростями потоков заказов и отгрузки изделий  $(v_{RR}^F(t) - v_{SS}^F(t))$ . Из рисунка 5 следует, что при отрицательном значении разности между скоростями объем невыполненных заказов в производственной системе уменьшается на интервале времени от 13 нед. При положительной разности  $(v_{RR}^F(t) - v_{SS}^F(t)) > 0$  объем невыполненных заказов в производственной системе увеличивается и достигает максимального значения равного  $x_{UO}^F(t) = 5100$  шт. Из полученных траекторий изменения величин объемов невыполненных заказов в производственной системе  $x_{UO}^F(t)$  и величины разности между скоростями потоков заказов и отгрузки изделий  $(v_{RR}^F(t) - v_{SS}^F(t))$  следует, что система формирования объемов невыполненных заказов является устойчивой во времени. Устойчивость системы объясняется тем, что разность между скоростями потоков заказов и отгрузки изделий стремится к нулю, что означает полную синхронизацию между потоками.

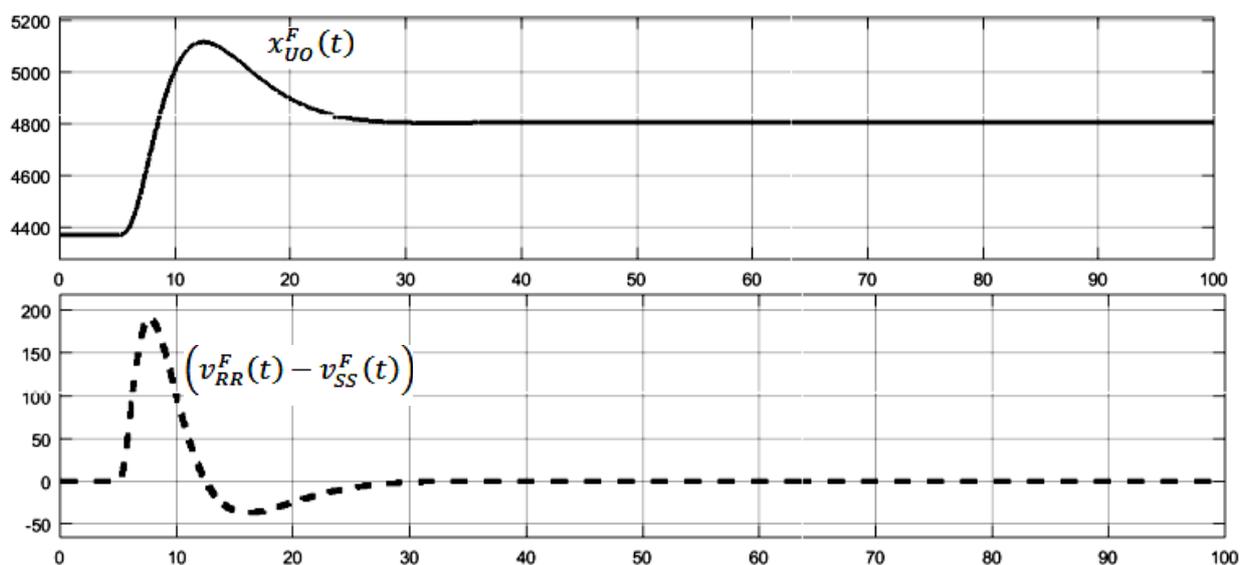


Рисунок 5 – График траекторий изменения величин объемов невыполненных заказов в производственной системе  $x_{UO}^F(t)$  и величины разности между скоростями потоков заказов и отгрузки изделий  $(v_{RR}^F(t) - v_{SS}^F(t))$

На рисунке 6 представлены траектории изменения величин объемов запасов на товарном складе предприятия  $z_{IA}^F(t)$  и величины разности между скоростями входных и выходных потоков на товарном складе предприятия  $(v_{SR}^F(t) - v_{SS}^F(t))$ . Из рисунка следует, что при положительной разности  $(v_{SR}^F(t) - v_{SS}^F(t)) > 0$  объем запасов на товарном складе в производственной системе увеличивается и достигает установившегося значения равного  $z_{IA}^F(t) = 9600$  шт. Из полученных траекторий изменения величин объемов запасов на товарном складе в производственной системе  $z_{IA}^F(t)$  и траектория изменения величины разности между скоростями входных и выходных потоков изделий  $(v_{SR}^F(t) - v_{SS}^F(t))$ , следует, что система формирования

объемов запасов на товарном складе предприятия является устойчивой во времени. Устойчивость системы объясняется тем, что разность между скоростями входных и выходных потоков изделий стремится к нулю, что означает полную синхронизацию между потоками.

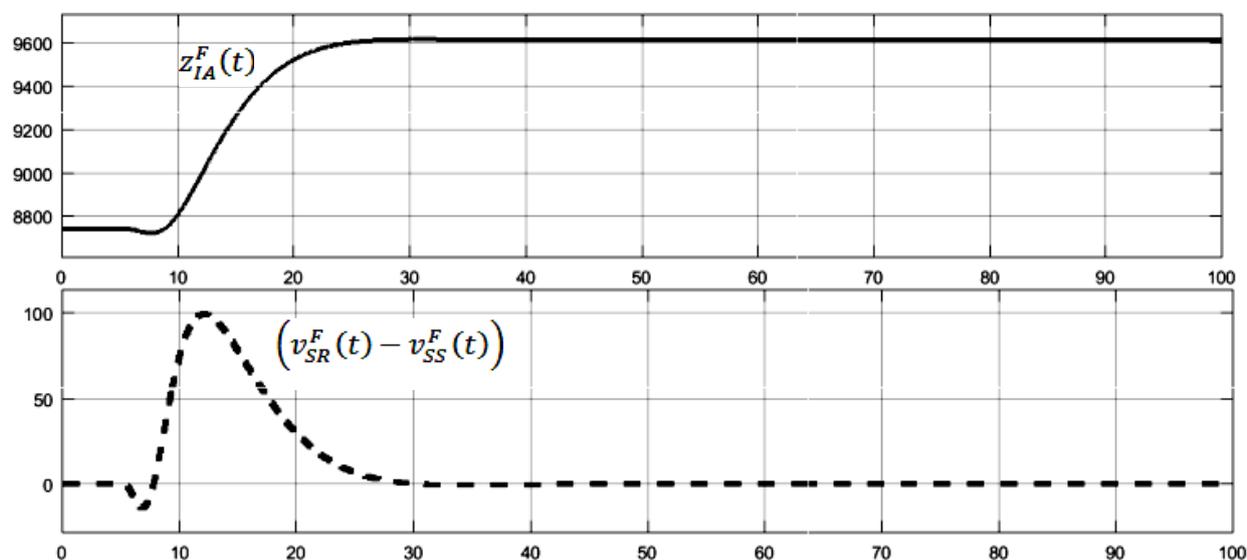


Рисунок 6 – График траекторий изменения величин объемов запасов на товарном складе предприятия  $z_{IA}^F(t)$  и траектория изменения величины разности между скоростями входных и выходных потоков на товарном складе предприятия  $(v_{SR}^F(t) - v_{SS}^F(t))$

На рисунке 7 представлены траектории изменения скорости потока заказов, получаемых производством со стороны дилеров  $v_{RR}^F(t)$ , величины средней скорости потока заказов в производство со стороны сбытовой системы  $v_{RS}^F(t)$  и скорость потока отгрузки изделий, осуществляемые с заводского склада в сбытовую систему  $v_{SS}^F(t)$ . Как следует из траекторий изменения скоростей потоков, каждая из величин стремится к установившемуся значению равному  $v_{RR}^F(t) = v_{RS}^F(t) = v_{SS}^F(t) = 2400$  шт./нед. Скорости каждого из потоков в установившемся состоянии равны между собой, что свидетельствует о том, что дискретная динамическая производственная система является устойчивой.

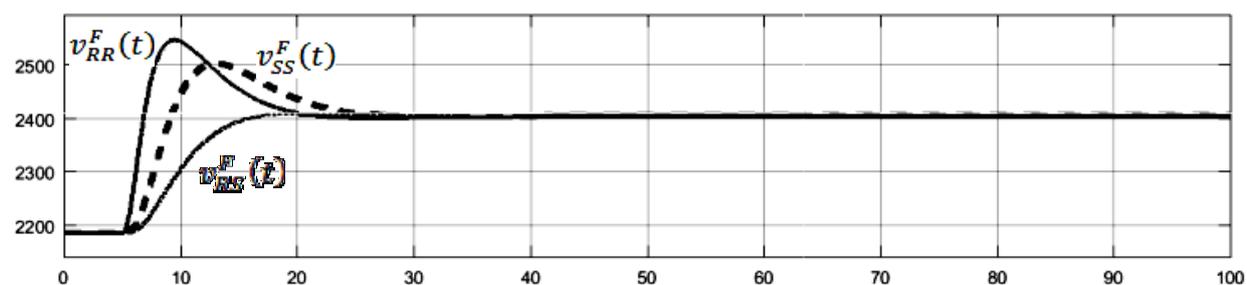


Рисунок 7 – График траекторий изменения скорости потока заказов получаемый производством со стороны дилеров  $v_{RR}^F(t)$ , величины средней скорости потока заказов в производство со стороны сбытовой системы  $v_{RS}^F(t)$  и скорость потока отгрузки изделий осуществляемые с заводского склада в сбытовую систему  $v_{SS}^F(t)$

Таким образом, сформированная совокупность аналитической (2) и компьютерной (рисунок 4) имитационной модели, представляющей собой механизм проектирования и организации синхронизации потоков обладает свойством динамической устойчивости, являющейся наиболее значимым фактором производственной системы предприятия.

Разработанная математическая модель синхронизации сборочных операций и организация ритмично-циклической последовательности выпуска автомобилей позволяет управлять и сокращать межоперационные заделы (буферные запасы незавершенного производства) на сборочных операциях за счет подбора оптимальных координирующих параметров: трудоемкости выполнения операций; производительности сборочных операций; количества сборочных операций; количества рабочих смен; месячный фонд времени; время производственного цикла; время цикла сборочной операции; число циклов сборочной операции. В результате объем межоперационных заделов автокомпонентов можно сократить в 4 раза.

**В четвертой главе** рассмотрена проблема синхронизации материальных и информационных потоков между производственной системой и системой поставок комплектующих. Для этого осуществлено моделирование системы поставок комплектующих на сборочный завод.

В работе рассмотрена задача оптимального управления запасами по поставкам комплектующих от поставщиков на заводской склад автокомпонентов. Для этого сформирован критерий оценки эффективности системы поставок комплектующих равного величине снижения запасов комплектующих, отгружаемых поставщиком, а в качестве ограничений использована дискретная система логистических уравнений с учетом складской площади, имеющейся в распоряжении сборочного завода под автокомпоненты. Математическая модель задачи выбора оптимальной величины снижения запасов отгружаемых комплектующих -го наименования представлена в виде следующей системы уравнений:

$$\begin{aligned}
 \Phi(m_k) &= z_{IA}^K(t) - \frac{1}{m_k} z_{IA}^K(t) = \left(1 - \frac{1}{m_k}\right) z_{IA}^K(t) \rightarrow \max_{m_k}, \\
 \max\left(1, \frac{q_k z_{IA}^K(t)}{СП}\right) &= m_k^{\Pi} \leq m_k \leq z_{IA}^K(t), \\
 z_{IA}^K(t+1) &= z_{IA}^K(t) + c_{IA}^K z_{IA}^K(t) \Delta t (v_{SR}^S(t) - v_{SS}^K(t)), \\
 v_{SS}^K(t) &= \begin{cases} v_{ST}^K(t), & \text{если } v_{NI}^K(t) \geq v_{ST}^K(t) \\ v_{NI}^K(t), & \text{если } v_{NI}^K(t) < v_{ST}^K(t) \end{cases} \quad (3) \\
 v_{ST}^K(t) &= \frac{x_{UO}^K(t)}{h_{DF}^K(t)}, \quad v_{NI}^S(t) = \frac{z_{IA}^K(t)}{\Delta t}, \\
 x_{UO}^K(t+1) &= x_{UO}^K(t) + c_{UO}^K x_{UO}^K(t) \Delta t (\lambda_k v_{MO}^F(t) - v_{SS}^K(t)), \\
 h_{DF}^K(t) &= h_{DH}^K + h_{DU}^K \frac{z_{ID}^K(t)}{z_{IA}^K(t)}, \quad z_{ID}^K(t) = \beta^K v_{RS}^K(t), \\
 \beta^K &= const, \quad z_{IA}^K(t) > 0, \quad t = 0, 1, 2, \dots,
 \end{aligned}$$

где  $\Phi(m_k)$  – величина снижения запасов комплектующих на складе автокомпонентов сборочного завода;  $m_k$  – число циклов отгрузки комплектующих со склада поставщика;  $m_k^{\Pi}$  – число циклов отгрузки комплектующих со склада поставщика с учетом складской площади;  $z_{IA}^K(t)$  – текущий запас комплектующих изделий на складе автокомпонентов сборочного завода;  $v_{SS}^S(t)$  – скорость потока отгрузки автокомпонентов, осуществляемой поставщиком на склад автокомпонентов сборочного завода;  $v_{SS}^K(t)$  – скорость потока отгрузки автокомпонентов, осуществляемой со склада автокомпонентов на конвейер;  $v_{ST}^K(t)$  – вспомогательная переменная, характеризующая скорость отгрузки комплектующих со склада автокомпонентов на конвейер на единицу времени общего переменного запаздывания;  $v_{NI}^K(t)$  – предельная скорость потока отгрузки комплектующих изделий со склада автокомпонентов на конвейер;  $x_{UO}^K(t)$  – объем потока невыполненных заказов автокомпонентов;  $h_{DF}^K(t)$  – величина времени общего переменного запаздывания выполнения заказов поставки автокомпонентов на конвейер;  $\lambda_k v_{MO}^F(t)$  – скорость потока заказов автокомпонентов, получаемых поставщиками со стороны сборочного предприятия;  $h_{DH}^K$  – время минимального запаздывания выполнения заказов поставки комплектующих на конвейер;  $h_{DU}^K$  – время среднего запаздывания выполнения заказов поставки комплектующих на конвейер в случае отсутствия на складе комплектующих изделий;  $z_{ID}^K(t)$  – объем желательного запаса комплектующих изделий на складе автокомпонентов сборочного завода;  $\beta^K$  – коэффициент пропорциональности;  $c_{IA}^K, c_{UO}^K$  – коэффициенты масштабирования;  $\lambda_k$  – применяемость  $k$ -го сборочного узла в конечном изделии;  $q_k$  – коэффициент, характеризующий количество складской площади на единицу  $k$ -го комплектующего.

Для решения имитационной модели (3) использована компьютерная модель для определения траектории величины запасов комплектующих на складе автокомпонентов сборочного завода. Полученная траектория запасов в каждый момент времени используется для определения величины снижения запасов комплектующих на складе  $\Phi(m_k)$  при различных значениях циклов поставки комплектующих. Так, если  $m_k = 1$ , то есть отгрузка осуществляется один раз в неделю, то, как следует из модели (4), снижение запасов равно нулю и величина запасов остается без изменений равной  $z_{IA}^K(t)$  в любой момент времени. При  $m_k = 2$ , то есть отгрузка осуществляется два раза в неделю – снижение запасов равно  $0,5 \cdot z_{IA}^K(t)$  в любой момент времени. При  $m_k = 1$ , запас  $z_{IA}^K(t)$  равен  $1,924 \cdot 10^4$  шт., при  $m_k = 2$ , снижение запаса  $\Phi(m_k = 2) = 0,5 \cdot 1,924 \cdot 10^4 = 9618$  шт., а величина запаса комплектующих составляет величину  $z_{IA}^K(t) = 9618$  шт. Графики траекторий изменения запасов при различных значениях циклов поставки  $m_k$  представлены на рисунке 8.

В работе представлены графики реализации запасов комплектующих на складе поставщика и отгрузки комплектующих на склад автокомпонентов сборочного завода при различных циклах поставки  $m_k$ .

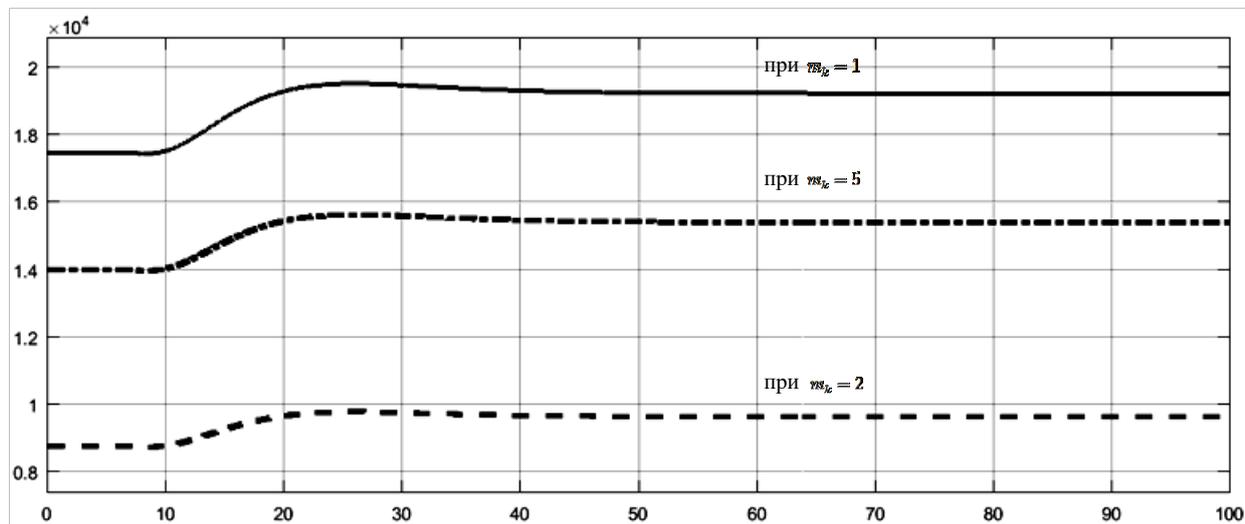


Рисунок 8 – Графики траекторий изменения запасов при различных значениях циклов поставки  $m_k$

Таким образом, получена совокупность систем уравнений, реализация которых осуществлена на имитационных моделях, позволяющих отобразить динамику изменения потоков в системе поставок. Разработанный механизм синхронизации информационного потока заказа комплектующих и материального потока поставок комплектующих на автосборочное предприятие позволяет организовывать движение потоков и управлять параметрами скорости потока заказов, скорости поставки комплектующих, объемом запасов комплектующих на автосборочном производстве и количеством циклов поставок. В результате, за счет увеличения количества циклов поставок можно сократить объем запасов комплектующих более чем в 4 раза.

В работе рассмотрена задача анализа и оценки чувствительности и эластичности основных параметров модели (3) механизма синхронизации потоков в системе поставок. Проведенный анализ и оценка чувствительности дискретной динамической имитационной модели механизма синхронизации потоков в системе поставок позволили получить траектории функций чувствительности, их изменение в каждый момент времени, оценить через коэффициенты чувствительности и эластичности влияние изменения выходных параметров в каждый момент времени и на этой основе обосновать устойчивость системы поставок к изменению возмущающих параметров.

### ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

На основе выполненного диссертационного исследования автором предложены и детально исследованы методические подходы, аналитические и компьютерные имитационные модели механизмов проектирования и реализации материальных и информационных потоков в снабженческо-производственно-сбытовой системе предприятия, обеспечивающие устойчивость системы.

Основные научные и практические результаты, полученные в диссертационном исследовании:

1. Решена важная комплексная задача по синхронизации материальных и информационных потоков, а также достигнута цель диссертационного исследования

по синхронизации потоков в снабженческо-производственно-сбытовой системе на основе математических и имитационных моделей, описывающих адаптивные механизмы синхронизации, повышающих уровень устойчивости и эффективности функционирования снабженческо-производственно-сбытовой системы промышленного комплекса.

2. Проведен анализ условий обеспечения синхронизации материальных и информационных потоков. Установлены факторы, условия и ограничения обеспечения адаптивности, при которых достигается устойчивость и эффективность функционирования снабженческо-производственной-сбытовой системы промышленного комплекса.

3. Разработана модель конкурентного взаимодействия между участниками автомобильного рынка по комплектованию заказа с учетом функции спроса, позволяющая выбрать равновесные значения объемов выпуска изделий для каждого предприятия, характеризующие величину заказа на выпуск автомобилей, которая позволит снизить запасы комплектующих и готовой продукции в цепи «поставщик – сборочное предприятие – дилер» более чем на 20%.

4. Разработаны математическая и имитационная модели синхронизации материальных и информационных потоков в сбытовой системе, в основе которых лежат механизмы синхронизации потока формирования невыполненных заказов и потока формирования запасов на складе дилера.

Модели позволяют организовать синхронизацию потока поступающих заказов в сбытовой системе и потока отгрузки готовой продукции и обеспечивать высокий уровень удовлетворенности спроса от 95% до 100%

5. Разработаны математическая и имитационная модели синхронизации потоков в производственной системе, позволяющие синхронизировать поток заказов от дилеров и поток поставки готовой продукции.

В основе модели заложен механизм синхронизации сборочных операций и организация ритмично-циклической последовательности выпуска автомобилей, который позволяет управлять и сокращать межоперационные заделы на сборочных операциях за счет подбора оптимальных координирующих параметров: трудоемкости выполнения операций; производительности сборочных операций; количества сборочных операций; количества рабочих смен; месячный фонд времени; время производственного цикла; время цикла сборочной операции; число циклов сборочной операции. В результате объем межоперационных заделов автокомпонентов можно сократить в 4 раза.

Выявлена функциональная связь между объемами заказов со стороны потребителей и запасов изделий на складе дилера. Это позволит сократить запасы готовой продукции за счет изменения циклов поставки и снизить площадь, занятую под хранение готовой продукции в 2 раза.

6. Разработаны математическая и имитационная модели синхронизации материальных и информационных потоков в системе поставок комплектующих.

В основе модели заложен механизмы синхронизации информационного потока заказов комплектующих и материального потока поставок комплектующих на автосборочное производство и механизм формирования запасов комплектующих на автосборочном производстве, которые позволяют снижать запасы комплектующих за счет изменения количества циклов поставок комплектующих.

Практической реализацией разработанных математических и имитационных моделей синхронизации потоков в системе поставок комплектующих является возможность обеспечить сокращение запасов комплектующих на автосборочном производстве более чем в 4 раза. При этом будут снижаться затраты на устранение дефектов и несоответствий и затраты на формирование и хранение запасов.

7. На основе выполненного диссертационного исследования автором предложены и детально исследованы методические подходы, аналитические и компьютерные имитационные модели механизмов проектирования и реализации материальных и информационных потоков в снабженческо-производственно-сбытовой системе предприятия, обеспечивающие адаптивность и устойчивость системы, а также эффективность функционирования снабженческо-производственно-сбытовой системы промышленного комплекса.

## ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

### Монография

1. Кобенко, А.В. Проектирование механизмов организации и управления в поточном производстве / **А.В. Кобенко**, А.С. Клентак. – Самара: Издательство Самарского научного центра РАН, 2017. – 148 с.

### В изданиях, рекомендованных ВАК

2. Кобенко, А.В. Разработка модели задачи принятия организационно-управленческих решений по выбору объема выпуска заготовок литейного производства / **А.В. Кобенко**, А.С. Клентак // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. - 2015. - Т. 17, №6-2. - С. 365-369.

3. Гришанов, Г.М. Модель внутрифирменного механизма принятия решений по комплектному выпуску продукции на машиностроительном предприятии / Г.М. Гришанов, **А.В. Кобенко** // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. - 2015. - Т. 17, №6-2. - С. 370-374.

4. Гречников, Ф.В. Модель комплектования заказа на автомобильном рынке и организация процессов синхронизации сборочных операций на конвейере / Ф.В. Гречников, **А.В. Кобенко** // Вектор науки Тольяттинского государственного университета. Серия: Экономика и управление. - 2016. - №3(26). - С. 18-23.

5. Гречников, Ф.В. Формирование критерия оценки величины снижения запасов выпуска изделий на предприятии в условиях поточного производства / Ф.В. Гречников, **А.В. Кобенко** // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. - 2016. - Т. 18, №4. - С. 82-85.

6. Кобенко, А.В. Математическая и компьютерная модели формирования потока заказов в сбытовой системе предприятия / **А.В. Кобенко**, А.С. Клентак, Л.С. Клентак // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. - 2018. - Т. 20, №6(86). - С. 53-59.

#### **В других изданиях**

7. Гришанов, Г.М. Организация ритмично-циклической последовательности выпуска продукции в условиях поточного производства / Г.М. Гришанов, **А.В. Кобенко**, А.С. Клентак // В сборнике: Управление большими системами (УБС'2016), Материалы XIII Всероссийской школы-конференции молодых ученых. – М.: Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2016. - С. 590-598.

8. **Кобенко, А.В.** Дискретная модель задачи синхронизации по состоянию между производственными элементами технологического комплекса / А.В. Кобенко, А.С. Клентак // В сборнике: Теоретико-методологические и практические проблемы интеграции, диверсификации и модернизации региональных промышленных комплексов, сборник материалов Международной научно-практической конференции. – Самара: АНО «Издательство СНЦ», 2017. - С. 68-75.