

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

МЕТОДОЛОГИЯ СИСТЕМНОЙ ИНТЕГРАЦИИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ САПР В ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКЕ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА НАУКОЕМКИХ ИЗДЕЛИЙ

Монография

Рекомендовано к изданию ученым советом федерального государственного
бюджетного образовательного учреждения высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

Оренбург
2019

УДК 681.5:621.01
ББК 32.965+34.42
М 54

Рецензент – доцент, доктор технических наук С. Е. Крылова.

Авторы: В. Б. Кондусова, Д. В. Кондусов, А. И. Сердюк,
А. И. Сергеев.

М 54 Методология системной интеграции обеспечения САПР в
информационной поддержке жизненного цикла наукоемких
изделий: монография / В. Б. Кондусова, Д.В. Кондусов,
А.И. Сердюк, А.И. Сергеев; Оренбургский гос. ун–т. –
Оренбург: ОГУ, 2019. – 169 с.
ISBN

В монографии представлены результаты исследований по разработке перспективных подходов, методов, моделей, алгоритмов автоматизации процессов проектирования, производства и эксплуатации наукоемких изделий. Подробно рассмотрены основные положения концепции методологии контрактов жизненного цикла: проектирование, производство, эксплуатация в качестве концептуальной базы разработки для перспективных систем автоматизации проектирования.

Материалы исследования будут полезны для предприятий (организаций, фирм, компаний), заинтересованных в повышении эффективности систем автоматизации проектирования, а также эффективном управлении информационной поддержкой наукоемких изделий, оптимизацией и выявлением резервов экономии денежных средств. Рекомендованы для студентов, аспирантов, обучающихся на технических и экономических специальностях, а также инженерно-технических работников.

УДК 681.5:621.01
ББК 32.965+34.42

ISBN

© Кондусова В.Б.,
Кондусов Д.В.,
Сердюк А.И.,
Сергеев А.И., 2019
© ОГУ, 2019

Содержание

Обозначения и сокращения.....	5
Введение.....	6
1 Разработка модели оценки эффективности жизненного цикла наукоемких изделий	8
1.1 Контракты жизненного цикла изделий как механизм повышения эффективности САПР при взаимодействии изготовителя и потребителя в PLM-системе.....	8
1.1.1 Контракты жизненного цикла: признаки, цели, классификация	8
1.1.2 Характеристика группы контрактов жизненного цикла с «фиксированной ценой»	13
1.1.3 Характеристика группы контрактов жизненного цикла с «возмещением затрат на проектирование и производство»	15
1.1.4 Характеристика группы контрактов жизненного цикла «для специальных целей».....	18
1.1.5 Основные виды и подвиды групп контрактов жизненного цикла.....	21
1.2 Методологические проблемы построения моделей оценки эффективности жизненного цикла наукоемких изделий	23
1.3 Виды моделей контрактов жизненного цикла и область их применения .	27
1.4 Модели контрактов жизненного цикла с «возмещением затрат на проектирование и производство»	28
1.5 Модель конструирования стоимости контракта жизненного цикла с «возмещением затрат на проектирование и производство» со стимулированием затрат на проектирование и производство.....	42
1.6 Закономерности стимулирования затрат на проектирование и производство и основные параметры при симметричных и ассиметричных пропорциях распределения долей в группе моделей контрактов с «возмещением затрат на проектирование и производство плюс дополнительная прибыль»	45
1.6.1 Соотношение долей в распределении экономии и перерасхода затрат .	47
1.6.2 Ассиметричные пропорции распределения долей.....	48
1.7 Модель конструирования стоимости контракта жизненного цикла с «возмещением затрат на проектирование и производство» с многократной дополнительной прибылью	60
1.7.1 Закономерности стимулирования затрат на проектирование и производство модели контракта жизненного цикла с «возмещением затрат на производство» и основные параметры стимулов многократной дополнительной прибыли.....	61
1.8 Выводы по первой главе.....	69
2 Исследование эффективности разработанной модели функционирования САПР	71
2.1 Количественный анализ критичности отказов.....	71

2.2 Расчет периодичности обслуживания	75
2.2.1 Определение интервала периодичности работ между ТО	77
2.2.2 Совместное выполнение расчетов периодичности ТО и параметров МТО	78
2.3 Расчет стоимости жизненного цикла изделия	80
2.3.1 Расчет затрат на персонал	81
2.3.2 Расчет затрат на расходные материалы	83
2.3.3 Затраты на специальное наземное оборудование и инструмент	84
2.3.4 Затраты на запасные части	86
2.4 Верификация компьютерной модели жизненного цикла ВС	90
2.5 Разработка имитационной модели контракта жизненного цикла изделия	96
2.5.1 Оценка влияния выбора модели управления запасами на показатель эксплуатационной готовности воздушного судна	103
2.6 Эффективность методологии построения средств автоматизации процессов информационного взаимодействия с изготовителем и потребителем изделий	108
2.6.1 Закономерности изменения уровня коэффициента готовности	108
2.6.2 Сравнение модели жизненного цикла ВС на основе КЖЦ с традиционной моделью	109
2.7 Выводы по второй главе	112
3 Исследование эффективности производственных систем в зависимости от проектных решений	114
3.1 Параметры станков	114
3.1.1 Длительность цикла загрузки (выгрузки) в рабочей зоне станка	114
3.1.2 Емкость пристаночных накопителей паллет и число станков	118
3.2 Параметры и число транспортных средств	120
3.2.1 Влияние цикла загрузки робокара на эффективность ГПС	120
3.2.2 Влияние скорости робокара на эффективность ГПС	122
3.2.3 Использование нескольких робокаров с паспортными характеристиками	126
3.2.4 Использование робокар с форсированным циклом загрузки/выгрузки	129
3.3 Сводные результаты оценки эффективности ГПС	133
3.4 Сводная количественная оценка эффективности принятия решений ...	142
3.5 Выводы по третьей главе	144
Заключение	146
Список использованных источников	148
Приложение А (справочное) Результаты моделирования для верификации модели	153
Приложение Б (справочное) Результаты моделирования для главы 2	157
Приложение В (справочное) Результаты вычислительных экспериментов к главе 3	164

Обозначения и сокращения

АЛП	–	анализ логистической поддержки;
БД АЛП	–	база данных анализа логистической поддержки;
АВПКО	–	анализ видов, последствий и критичности отказов;
ВВСТ	–	вооружение, военная и специальная техника;
ВС	–	воздушное судно;
ГПС	–	гибкие производственные системы;
ЖЦ	–	жизненный цикл;
ИЛП	–	интегрированная логистическая поддержка;
ИМ	–	имитационное моделирование;
ИПИ	–	информационная поддержка жизненного цикла изделий;
КЖЦ	–	контракт жизненного цикла;
КТПО	–	классификация тяжести последствий отказов;
МТО	–	материально-техническое обеспечение;
НИОКР	–	научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы;
САПР	–	система автоматизированного проектирования;
СЖЦ	–	стоимость жизненного цикла;
ТО	–	техническое обслуживание;
ТОиР	–	техническое обслуживание и ремонт;
ФЗ	–	Федеральный закон;
PLM	–	прикладное программное обеспечение для управления жизненным циклом продукции (Product Lifecycle Management);

Введение

Ключевым фактором существования и развития производства высокотехнологичных отраслей промышленности в условиях технического перевооружения, импортозамещения и диверсификации является автоматизация жизненного цикла наукоемких изделий. Автоматизация ЖЦ в современном промышленном производстве обеспечивается информационной поддержкой ЖЦ (проектирование, производство и эксплуатация) наукоемких изделий. Интеграция этапов ЖЦ требует новых стратегических ориентиров: модернизации конструкторско-технологических и производственных процессов изготовителя на основе информационных технологий, процесса переиспользования инженерных знаний и системы контрактации, что позволит уменьшить срок поставки наукоемких изделий потребителю, снизить их себестоимость и повысить качество, определяемое уровнем коэффициента готовности.

Система контрактации представлена в РФ ФЗ № 44 «О контрактной системе в сфере закупок работ, услуг для обеспечения государственных и муниципальных нужд» и ФЗ № 275 «О государственном оборонном заказе», а в США – «Правилами закупок для федеральных нужд» (FAR). Однако, данные контракты регулируют взаимодействие изготовителя и потребителя на этапах проектирования и производства до момента передачи изделия потребителю, не охватывая этап эксплуатации.

Решение создания и реализации системной интеграции САПР в информационной поддержке ЖЦ наукоемких изделий – это реализация современной концепции КЖЦ изделий. Суть концепции КЖЦ – создание такой модели поддержки жизненного цикла наукоемких изделий, которая сопровождала бы изделие на всем протяжении ЖЦ «проектирование – производство – эксплуатация» и обеспечивала взаимодействие изготовителя и потребителя наукоемких изделий посредством как прямой связи этапов ЖЦ, так и их обратной связи: от эксплуатации к проектированию и производству,

где изготовитель несет ответственность за произведенное изделие на протяжении всего ЖЦ.

В следствии чего разработка методологии системной интеграции САПР в информационной поддержке ЖЦ наукоемких изделий, охватывающей этапы проектирования, производства и эксплуатации как средства автоматизации процесса взаимодействия изготовителя и потребителя наукоемких изделий и обязывающей изготовителя нести ответственность за произведенное изделие на протяжении всего ЖЦ рассматривается как актуальная научная проблема, решение которой имеет важное значение для экономики России.

Монография выполнена при финансовой поддержки Правительства Оренбургской области в рамках проекта № 22 от 14 августа 2019 г. «Повышение эффективности систем управления жизненным циклом изделия на основе интеллектуализации процесса переиспользования инженерных знаний».

1 Разработка модели оценки эффективности жизненного цикла наукоемких изделий

1.1 Контракты жизненного цикла изделий как механизм повышения эффективности САПР при взаимодействии изготовителя и потребителя в PLM-системе

1.1.1 Контракты жизненного цикла: признаки, цели, классификация

Соглашения между изготовителем и потребителем выглядят достаточно просто: потребитель желает получить изделия определенного качества в указанные сроки за совместно установленную сторонами стоимость, а изготовитель – указанную в контракте сумму, затратив минимальные усилия. Но современные условия диктуют определенные нюансы: со стороны потребителя возникают постоянно нарастающие потребности, выражающиеся в научно-технических и технологических сложностях; со стороны изготовителя – усложняющиеся условия проектного, технологического и эксплуатационного обеспечения изделия. Все это обуславливает появление множества технико-экономических проблем при взаимодействии изготовителя и потребителя наукоемких изделий, выражающихся в нестыковках, односторонних толкованиях и других особенностях, свойственных цифровой экономике периода глобализации. Необходимо создание системы контрактации: контракта жизненного цикла наукоемких изделий с риск-разделенным партнерством, позволяющего автоматизировать взаимодействие изготовителя с потребителем. Вероятность наступления технико-экономических проблем должна быть предусмотрена заранее и внесена в текст контракта жизненного цикла.

Так, например, контракты в США потому и оказываются такими объемными по форме, что обе стороны контракта – изготовитель и потребитель прописывают в них массу условий, отражающих интересы одной

стороны, но в силу контракта становящихся обязательными для другой стороны [1].

Контракты жизненного цикла варьируются в зависимости от степени ответственности изготовителя за те затраты, которые он несет при его выполнении, за достижение предусмотренных контрактом технико-тактические или иных параметров конечного изделия, а также за соблюдение договорных сроков поставки. Кроме того, контракты могут различаться по механизмам стимулирования изготовителя на достижение оговоренных в контракте целей.

В хозяйственной практике США федеральные контракты классифицируются в основном по трем признакам:

- 1) целевому назначению заказа, т.е. по его предмету (содержанию);
- 2) механизму ценообразования и форме взаиморасчетов потребителя и изготовителя;
- 3) методам подготовки и заключения контрактов на товары или услуги для нужд потребителя; различным методам соответствуют разные способы контроля со стороны потребителя, а также формы расчета потребителя с изготовителем после выполнения им данного заказа.

Целью контрактов могут быть:

- фундаментальные и прикладные исследования и разработки;
- проведение НИОКР и создание новых видов технологий, систем вооружения и военной техники, их испытание и эксплуатация;
- архитектурно-планировочные и инженерно-строительные работы;
- промышленное производство серийной продукции;
- снабжение коммерческими товарами, в том числе сырьем;
- предоставление услуг инфраструктурных отраслей транспорта и логистики, электроэнергетики, водо- и газоснабжения;
- аренда земли и имущества;
- предоставление финансовых и информационно-консультационных услуг, а также услуг по управлению федеральной собственностью;

- установление и проведение различных форм международного (межгосударственного) сотрудничества [1, 2, 3].

Механизм построения контракта жизненного цикла, его структура и конструирование цены контракта постоянно усложняются в связи с необходимостью учета различных технологических и иных рисков, присущих разработке современных новейших видов наукоемких изделий в том числе изделий вооружения, военной и специальной техники.

Автор Федорович В.А. в монографии «США: федеральная контрактная система и экономика. Механизм регулирования» [1] показывает, что в практике США чаще всего прибегают к трем методам подготовки и заключения контрактов на изделия. Контракты в зависимости от механизма ценообразования и взаиморасчетов изготовителя и потребителя подразделяются на контракты с «фиксированной ценой» и с «возмещением издержек производства», а также прочие контракты.

В рамках первых трех групп контрактов жизненного цикла существуют их многочисленные варианты.

К первой группе контрактов жизненного цикла с «фиксированной ценой» относятся следующие девять вариантов:

- 1) «с твердо фиксированной ценой»;
- 2) «с фиксированной ценой, ее переоценкой после завершения контракта»;
- 3) «с твердой фиксированной ценой и последующими уточнениями целевых показателей»;
- 4) «с фиксированной ценой и ее последующей корректировкой по скользящей шкале цен»;
- 5) «с фиксированной ценой и ее последующей корректировкой по текущим или прогнозируемым затратам на производство»;
- 6) «с фиксированной ценой и ее последующей корректировкой по фактическим затратам на производство»;

7) «с фиксированной ценой плюс дополнительная прибыль с твердо фиксированными показателями»;

8) «с фиксированной ценой плюс дополнительная прибыль с последовательно устанавливаемыми показателями»;

9) «с фиксированной ценой плюс многократная дополнительная прибыль».

Контракты «с фиксированной ценой» со 2 по 6 пункты допускают ее последующую корректировку, а контракты с 7 по 9 предусматривают еще и дополнительную прибыль.

Во второй группе контрактов жизненного цикла с «возмещением затрат на проектирование и производство» выделяются следующие семь вариантов:

1) «только возмещение затрат на проектирование и производство»;

2) «разделения затрат» или «долевого (риск-разделенного) взаимодействия изготовителя и потребителя»;

3) «возмещение затрат на проектирование и производство плюс фиксированная дополнительная прибыль»;

4) «возмещение затрат на производство плюс дополнительная прибыль»;

5) «возмещение затрат на проектирование и производство плюс дополнительная прибыль»;

6) «возмещение затрат на проектирование и производство с многократной прибылью».

К третьей особой группе относятся контракты жизненного цикла для специальных целей:

1) «трудовые затраты по почасовым ставкам и материалы»;

2) «только трудовые затраты»;

3) «с неопределенным сроком поставки»;

4) «на определенный объем поставок или услуг»;

5) «на выполнение требований»;

6) «с определенным объемом поставок»;

- 7) «кредитный» контракт;
- 8) «генеральное соглашение»;
- 9) «базисное соглашение о заказе».

Отличие состоит в том, что в случае «фиксированных цен» по финансовым условиям контракта она внешне скрыта, т.е. «поглощена рыночной», так называемой «фиксированной» ценой договора, а во втором – устанавливается потребителем отдельно в виде специального «вознаграждения» – дополнительной прибыли [1, 2, 3].

Различие между группами контрактов сводится: во-первых, к степени и форме экономической ответственности, возлагаемой потребителем на изготовителя изделия за затраты на проектирование и производство, связанные с его выполнением, и, во-вторых, к размерам и форме дополнительной прибыли – дополнительного материального вознаграждения по контракту за обеспечение предусмотренных им требований и параметров поставляемых изделий.

В одном контракте жизненного цикла возможно и использование различных групп контрактов, так, например:

- работы в области прикладных НИОКР оплачиваются на базе контракта «фиксированного вознаграждения»;
- работы на стадии научно-технического проектирования оплачиваются на базе контракта ЖЦ «поощрительного вознаграждения»;
- работы на стадии экспериментального производства оплачиваются на базе контракта ЖЦ «возмещения издержек производства» (без вознаграждения) или «долевого (риск-разделенного) взаимодействия изготовителя и потребителя» сторон в понесенных затратах;
- работы на стадии серийного производства – на основе «поощрительного вознаграждения» или «многократного» (комплексного) вознаграждения [1].

Выбор контракта или контрактов ЖЦ наукоемких изделий для его заключения зависит от требований потребителя к изготовителю.

Рассмотрим более детально основные группы контрактов жизненного цикла.

1.1.2 Характеристика группы контрактов жизненного цикла с «фиксированной ценой»

Приведем общую характеристику контракта жизненного цикла с «фиксированной ценой» по В.А. Федоровичу [1].

Контракты предполагают объявление потребителем как заказчиком открытых торгов, в которых вправе участвовать прошедшие специальный отбор потенциальные изготовители изделия – исполнители заказа. Торги завершаются автоматическим присуждением стандартного контракта изготовителю, предложившей самую низкую цену.

В РФ на данный момент преобладает данная группа контрактов.

Контракты с «фиксированной ценой» строятся исходя из наименьшей цены, которая была предложена выигравшим торги изготовителем.

Данный контракт широко применяется в США и РФ для размещения заказов новых или типовых, военных или гражданских изделий, НИОКР, строительства промышленных или гражданских сооружений, эксплуатации промышленного оборудования и др.

В США заключаются подобные контракты, когда потребитель не предполагает получить принципиально новые результаты, когда заказ направлен на типовое изделие.

Особенностью финансового механизма таких контрактов является не только наличие твердо оговоренной фиксированной цены, но и «наименьшей из цен», предложенной изготовителем, выигравшим торги. Финансовые условия построены на обязательстве потребителя выплатить изготовителю заранее оговоренную цену изделия после его поставки при условии соответствия определенным требованиям.

Разделение риска отсутствует. Изготовитель полностью принимает на себя риск того, что максимум цены, установленный в контракте типа «фиксированная цена», может не покрыть понесенных им реальных затрат (контракт может нести для изготовителя риск оказаться убыточным).

Данный контракт «фиксированных цен» является наиболее удобным и эффективным инструментом хозяйствования для потребителя в случае, если опирается на адекватное информационное обеспечение, на точные прогнозы рыночной конъюнктуры. Потребитель должен располагать предельно точной информацией относительно возможной цены изделия.

Контракт с «фиксированной ценой» обязывает изготовителя нести полную ответственность за затраты на проектирование и производство по выполнению работы и прибыль или убытки. Любое превышение затрат на проектирование и производство изготовителя не компенсируется потребителем и по условиям контракта оплачивается изготовителем.

Хозяйственная политика государства и управление договорами этого типа предусматривают более ограниченный экономический контроль со стороны потребителя и дают изготовителю большую свободу для хозяйственного маневра своими ресурсами. Однако государственное регулирование США, особенно в сфере военного производства, страхуя себя от просчетов в механизме цен этих контрактов, в особых случаях допускает перерасчет цены заказа, когда ее фиксация в жестких рамках экономически не оправдана. Исходной основой для расчетов между потребителем и изготовителем первоначально служат верхний предел цены контракта или плановая цена (включая плановые затраты на проектирование и производство). В итоге данная группа предусматривают твердую цену или уточняемую цену. Контракты с уточняемой ценой могут включать верхний предел цены, начальную (плановую) цену (включая первоначальную стоимость) или и то, и другое. Если в контракте не определено иначе, то максимум цены или начальная (плановая) цена являются объектом урегулирования в соответствии с пунктами контракта [1].

На основе изложенного выше следует, что данная группа контрактов для наукоемких изделий не учитывает риск-разделенное партнерство при взаимодействии изготовителя с потребителем, но является подходящей для контроля процесса проектирования и производства многих изделий, программ ВВСТ, а также для разработки направлений научно-технического прогресса.

1.1.3 Характеристика группы контрактов жизненного цикла с «возмещением затрат на проектирование и производство»

Данная группа контрактов появилась и внедрена в практику после вступления США в Первую мировую войну 1914-1918 гг. Это связано с появлением сложны систем оружия, в первую очередь авиатехники, что заставило потребителя обсуждать с изготовителем не только цену контракта, но и технико-тактические характеристики (достижение коэффициента готовности) новой военной техники, а также сроки, порядок и адрес ее поставки. Контракты данного типа заключаются по итогам длительных переговоров [1].

Данные контракты предполагают разработку уникальных изделий, с принципиально новыми характеристиками для достижения технико-тактического превосходства. Основным условием таких контрактов потребитель выставляет технические параметры изделий, срок их поставки, а также определяет пределы максимально допустимых затрат на проектирование и производство изготовителя.

В случае применения таких контрактов потребитель по закону обязан проводить серию закрытых переговоров с каждым из потенциальных изготовителей, на которых обсуждаются технические характеристики изделия (например, новой военной техники), сроки ее поставки, а также максимально допустимый объем затрат. По результатам переговоров потребитель принимает решение кому именно из изготовителей-участников переговоров присудить реализацию контракта [1, 4, 5].

В данных контрактах большую роль играет механизм взаимодействия изготовителя с потребителем с учетом риск-разделенного партнерства. Благодаря чему обеспечивается наращивание научно-технического и военно-технического потенциала при экономическом стимулировании изготовителя наукоемких изделий, прежде всего в области НИОКР, военных и двойных технологий. Такой механизм взаимодействия изготовителя с потребителем необходим в случаях, когда существуют ограничения для потребителя спрогнозировать затраты на проектирование, производство и эксплуатацию с достаточной точностью.

Данная группа используется потребителем и в тех случаях, когда нет возможности сформулировать спецификацию заказываемого изделия или, когда элементы коммерческой или научно-технической неопределенности, связанные с его выполнением, столь значительны, что исключают возможность использования контракта «твердо фиксированных цен с материальным поощрением» [1, 4, 5].

Использование подобного механизма взаимодействия изготовителя и потребителя наукоемких изделий требует от изготовителя ведения строгой финансовой отчетности и учета всех затрат на проектирование и производство, а со стороны потребителя – постоянного контроля за технико-экономической деятельностью изготовителя.

По контрактам данной группы все затраты изготовителя, связанные с проектированием и производством изделия, в размерах, допустимых законом оплачивает потребитель. Механизм взаимодействия изготовителя и потребителя контрактов «возмещением затрат на проектирование и производство» формально предусматривает величину планируемой стоимости изделия для обоснования бюджетного финансирования, а также верхний предел его цены, которую изготовитель не должен превышать (кроме тех случаев, когда изготовитель принимает экономический риск на себя) без предварительного согласия со стороны потребителя. Механизм

взаимодействия изготовителя и потребителя допускает возможность заранее устанавливать другие элементы затрат или их верхние пределы [1, 4, 5, 6].

Потребитель при заключении контракта, основанного на принципе оплаты «возмещения затрат на проектирование и производство» предварительно согласовывает расчеты с изготовителем.

Потребители не имея возможности прогнозирования затрат на проектирование и производство изделия выполняют функцию финансирования, управления, финансового контроля в отношении изготовителя. Несмотря на оплату всех согласованных элементов затрат по контракту потребитель включает в контракт особые требования: ограничение финансовой ответственности потребителя и ограничение стоимости изделия как защита от рисков, связанных с недобросовестным выполнением работ со стороны изготовителя. Потребитель компенсирует только действительно понесенные изготовителем затраты на проектирование и производство. Обязательным условием является оценка полных затрат (полной стоимости), которая позволит предусмотреть необходимые денежные средства для оплаты. Так же обязательным условием является согласование изготовителя с потребителем объема превышения средств по контракту, чтобы гарантировано получить оплату перерасхода [1, 4, 5, 6].

Механизм взаимодействия изготовителя и потребителя наукоемких изделий в случае применения контракта «с возмещением затрат на проектирование и производство» обеспечивает достижение изготовителем требуемых технических показателей посредством возможности возмещения понесенных затрат и получением прибыли от потребителя, что часто невозможно в контрактах «с фиксированной ценой».

Риски изготовителя за затраты по контракту с «возмещением затрат на проектирование и производство» сводятся к минимуму, если он получает возмещение всех «согласованных» по контракту затрат на проектирование и производство. Контракт с «возмещением затрат на проектирование и производство» в отличие от контракта с «фиксированной ценой» применяет

конкурентный механизм несколько иначе: в этом случае выбор изготовителя будет обусловлен достижением заданных потребителем технико-тактических показателей, сроков поставки при заданном максимуме затрат.

Применение контрактов с «возмещение затрат на проектирование и производство» предполагает проведение потребителем предварительного технико-экономического анализа всех элементов вероятных затрат (на проектирование и производство) и прибыли изготовителя.

Принимая во внимание всю сложность взаимодействия изготовителя и потребителя при заключении контракта с «возмещением затрат на проектирование и производство» вариант именно такого взаимодействия является более эффективным при реализации жизненного цикла наукоемких изделий «проектирование – производство – эксплуатация».

1.1.4 Характеристика группы контрактов жизненного цикла «для специальных целей»

Взаимодействие изготовителя и потребителя в данной группе контрактов происходит с оплатой трудовых затрат по почасовым ставкам, только трудовых затрат с неопределенным сроком поставки, с определенным объемом поставок, на выполнение специальных требований, с неопределенным объемом поставок, письмо-контракт, базисная договоренность и базисное соглашение о заказе.

Контракт «с оплатой трудовых затрат и материалов» предусматривает поставку услуг на двух условиях:

- с оплатой прямых трудовых затрат по специально зафиксированным почасовым ставкам, которые включают заработную плату, накладные, общие и административные расходы, а также прибыль;

- с оплатой материалов по стоимости, включающей, если это нужно, затраты на техническую обработку этих материалов. Такой вид контракта практически не создает для изготовителя стимулов к контролю над затратами

или повышению эффективности работ. В данном случае цена рабочего часа включает все виды иных затрат [1].

Такой механизм взаимодействия изготовителя с потребителем применяется в контрактах, касающихся проведения испытаний и ремонта в случае необходимости. Механизм предусматривает выплату изготовителю прямых трудовых затрат по фиксированным часовым ставкам плюс относящиеся к ним затраты, а также фактические затраты на материалы, потребовавшиеся для ремонта. Все материалы изготовителю предоставляются потребителем, следовательно, изготовитель не станет заниматься ненужным ремонтом, так потребитель обезопасит себя.

Контракты «с неопределенным сроком поставки» относятся к группе контрактов с множественными стимулами. Эти контракты делятся на две категории [1]:

- контракты на поставку, по которым не предусматривается закупка твердо определенного количества продукции (разрешается лишь поставка минимального или максимального количества), а для осуществления поставки в период действия данного контракта изготовитель должен получить соответствующий заказ;

- контракты на выполнение заказа, по которым не предусматривается заказ твердо определенного объема услуг (разрешается лишь предоставление их минимального или максимального объема), а для осуществления услуг в период действия данного контракта изготовитель должен получить соответствующий заказ.

Контракт «на определенный объем специфических услуг» предусматривает его выполнение по получении изготовителем заказа в фиксированный период времени путем поставок или демонстрации технических возможностей в указанных местах. Применение такого вида контракта возможно, если заранее определено, что в течение контрактного периода потребуется определенный объем поставок или услуг и они будут получены потребителем через короткое время после их заказа.

Контракт «с неопределенным объемом поставок» предусматривает поставку неопределенного (но в установленных границах) объема поставок или услуг в фиксированный период времени. При этом график поставок или демонстрации технических характеристик должен определяться соответствующими заказами изготовителю со стороны потребителя. Потребитель заказывает, а изготовитель поставляет ему сначала минимально установленный объем услуг. Впоследствии возможна дополнительная поставка, но не более установленного максимума. Данный контракт определяет максимальный и минимальный объемы поставок или услуг по заказу потребителя в каждом конкретном случае, а также максимальный объем заказа в любой период времени. В ситуации со множеством изготовителей контракт «с неопределенным объемом поставок» у каждого из изготовителей есть возможность получить заказ, но гарантировать это никто не может, изготовитель может выиграть его в конкурентной борьбе. Опротестовать невыдачу заказа изготовитель не может [1].

В соответствии с письмом-контрактом изготовитель немедленно начинает работу по производству изделия. В этом контракте невозможно указать необходимые требования и допустимые сроки, поэтому письмо-контракт разрабатывается максимально полно, четко и определенно на данный момент времени.

Генеральное соглашение применяется при взаимодействии с университетами и научно-исследовательскими центрами.

Контракт «с оплатой затрат труда и материалов» предусматривает фиксированную оплату затрат труда (прямых и административных расходов), фиксированную прибыль, а также возмещение расходов на материалы, необходимые для выполнения договора. Его структура исключает возможность со стороны потребителя оказывать воздействие на затраты на проектирование и производство изготовителя и не содержит элементов стимулирования за экономию затрат. Используют его преимущественно для размещения и управления заказами на инженерно-техническое

проектирование в связи с производством типовых изделий, инженерно-техническое проектирование и производство приборов и инструментов, а также срочных проектно-конструкторских работ [1].

Контракт затрат «рабочего времени» не должен превышать 50 тыс. долл. и длиться от года до двух лет. К этому же виду узкоцелевых договоров относятся «кредитный контракт», «контракт на поставки товаров» и «коммерческий контракт» [1].

Кредитный контракт представляет собой уведомление об открытии финансирования с последующей заменой его «основным» контрактом с указанием технико-экономических требований к изделию. Данный контракт не предусматривает дополнительную прибыль, в его цену входит оплата фактических затрат на проектирование и производство и фиксированная прибыль. Контракт на поставки товаров и коммерческий контракт используются в основном для закупок.

Базисная договоренность и базисное соглашение заключаются между потребителем и изготовителем для обозначения требований, которые будут включены в контракты взаимодействия изготовителя и потребителя в период действия данной договоренности. Базисная договоренность используется в случае, когда изготовителю может быть присуждено несколько отдельных контрактов. Базисные договоренности применимы к контрактам с твердой ценой или с возмещением затрат. Базисное соглашение используется для ускорения заключения контракта с неопределенными требованиями к поставкам. Данный вид договоренности широко применяется при заказе запчастей [1].

1.1.5 Основные виды и подвиды групп контрактов жизненного цикла

На основе анализа научных источников можно выделить три основные группы контрактов, которые возможно применить для жизненного цикла изделия. Группы данных контрактов классифицируются на виды и подвиды.

Группировку видов и подвидов моделей контрактов для жизненного цикла изделия представим в виде схемы (рисунок 1.1).

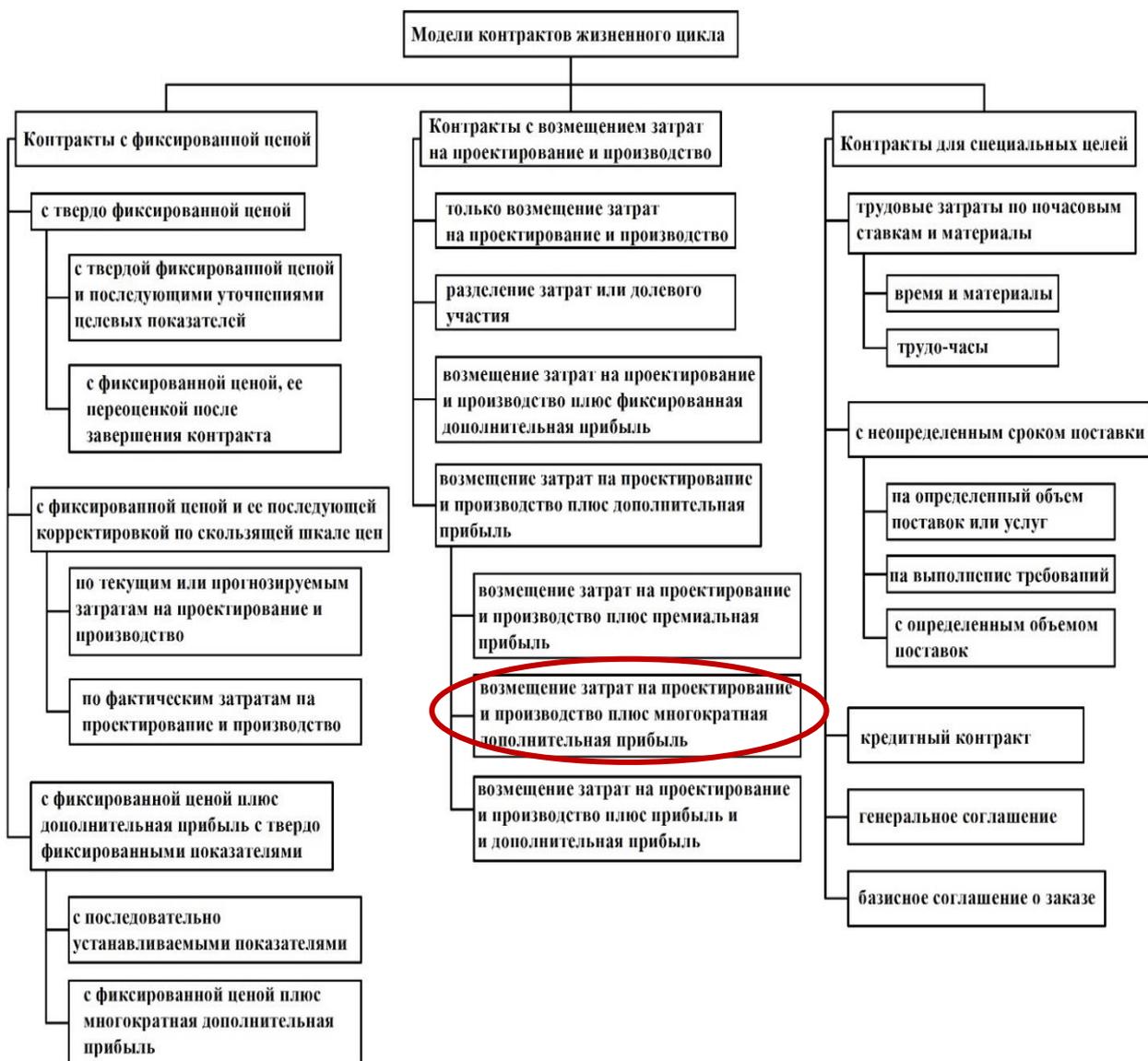


Рисунок 1.1 – Виды и подвиды моделей контрактов жизненного цикла

Многообразие видов моделей контрактов жизненного цикла обусловлено спецификой требований и нужд потребителя, что предопределяет различия в распределении ответственности при взаимодействии изготовителя с потребителем контракта в зависимости от предмета договора, особенностей работы, экономических и иных условий [1, 7].

Модели контрактов жизненного цикла предполагают соблюдение следующих условий:

- система бухгалтерского учета изготовителя в состоянии точно определить затраты на проектирование, производство и эксплуатацию, относящиеся к контракту жизненного цикла;

- *мониторинг со стороны потребителя гарантирует эффективные методы проведения работ изготовителя и эффективный контроль над затратами на проектирование, производство и эксплуатацию при выполнении контракта жизненного цикла.*

Анализ источников показал, что в современных условиях назрела необходимость разработки контракта жизненного цикла наукоемких изделий, который обеспечит риск-разделение потребителя и изготовителя и позволит автоматизировать их взаимодействие для повышения эффективности функционирования САПР, интегрированной в общую архитектуру автоматизированной среды проектирования, производства и эксплуатации.

1.2 Методологические проблемы построения моделей оценки эффективности жизненного цикла наукоемких изделий

В соответствии с ГОСТ Р 56136-2014 Управление жизненным циклом продукции военного назначения [8]. Термины и определения:

Жизненный цикл изделия, жизненный цикл (life cycle) – это совокупность явлений и процессов, повторяющаяся с периодичностью, определяемой временем существования типовой конструкции изделия от ее замысла до утилизации или конкретного экземпляра изделия от момента завершения его производства до утилизации.

Контракт жизненного цикла (life cycle contract) – это договор, предусматривающий создание и поставку изделия, создание объекта и (или) предоставление услуг по обеспечению эксплуатации и (или) ремонта изделия

или объекта в течение всего срока их службы, а также последующую утилизацию такого изделия или объекта.

Модель стоимости жизненного цикла (life cycle cost model) – это математическое описание связей между стоимостью жизненного цикла СЖЦ и статьями составляющих ее затрат.

Стоимость жизненного цикла (life cycle cost) – суммарные затраты трудовых, материальных и финансовых ресурсов в их денежном выражении, связанные с реализацией ЖЦ комплекса (образца).

Стоимость владения (cost of ownership): Сумма затрат на приобретение финального изделия (образца, комплекса) и затрат, связанных с его ТО, ремонтом и утилизацией.

Стоимость эксплуатации (operating cost): Все виды затрат, осуществляемых на стадии эксплуатации в связи с применением изделия по назначению, его ТЭ и его снятием с эксплуатации.

Введем определение модели оценки эффективности жизненного цикла.

Модель оценки эффективности ЖЦ наукоемких изделий (модель КЖЦ) – математическое описание зависимости стоимости проектирования, производства и эксплуатации изделия от его технико-тактических характеристик, включающее интеграцию затрат трудовых, материальных и финансовых ресурсов в их денежном выражении, связанных с реализацией жизненного цикла изделия по созданию, поставке изделия и предоставлению услуг по обеспечению эксплуатации и ремонта изделия в течение всего срока его службы.

Данная модель оценки качественно дополняет общую архитектуру САПР интегрированных средств управления проектными работами. На основе математического описания зависимости стоимости проектирования, производства и эксплуатации изделия от его технико-тактических характеристик оценивается и эффективность функционирования САПР как информационного взаимодействия изготовителя и потребителя в жизненном цикле наукоемких изделий.

Один из самых авторитетных ученых по вопросам данной проблематики Е.В. Судов в статье «Модель системы технической эксплуатации вооружения и военной техники на основе анализа логистической поддержки» [9] решает круг задач по определению зависимости между стоимостью технической эксплуатации и получаемой готовностью наукоемких изделий и ставит ряд вопросов, связанных с поиском способов повышения коэффициента готовности изделия при ограниченном лимите финансирования.

Для того, чтобы ответить на поставленные вопросы необходимо выделить ряд проблем в существующем законодательстве, а именно 275-ФЗ, который предусматривает заключение контрактов [10, 11] об оборонном заказе в виде контрактов с фиксированной ценой и контрактов с возмещением издержек производства. В настоящее время используются контракты с фиксированной ценой, которая не обеспечивает требуемые технические характеристики или требуемый коэффициент готовности. Решающим фактором такого контракта является цена – минимальная стоимость контракта, что является неприемлемым для изделий вооружения и военной техники, в частности воздушного судна.

Контракты на изделия вооружения и военной техники не могут быть с фиксированной ценой, а должны варьироваться в зависимости от требуемых технических показателей, от требуемого коэффициента готовности, от степени ответственности изготовителя и потребителя (эксплуатанта), от сроков поставки материально-технического обеспечения. Таким образом, и изготовитель и эксплуатант ответственны за те затраты, которые они несут при выполнении контракта.

Представим структуру модели контракта.

$$K = Z_{\text{пр}} + Z_{\text{э}} + Z_{\text{у}}, \quad (1.1)$$

где K – стоимость контракта;

$Z_{\text{пр}}$ – затраты на приобретение;

Z_3 – затраты на поддержание (эксплуатацию);

Z_y – затраты на утилизацию (или гарантия цены обратного выкупа).

Затраты на приобретение включают в себя первую проблему: ограниченный лимит финансирования. На изделие ВВСТ выделена фиксированная сумма, потребитель запрашивает у изготовителя стоимость необходимого изделия и она превышает лимит потребителя. Тогда потребитель запрашивает у изготовителя варианты изделий ВВСТ на фиксированную сумму.

Возникает вопрос: какие эксплуатационно-технические характеристики [12] наиболее приоритетны (значения технических показателей имеют допустимый интервал, который согласован с потребителем), и какое значение коэффициента готовности при этом устроит потребителя.

Затраты на поддержание обеспечивают заданный коэффициент готовности (разделением ТОиР – техническое обслуживание и ремонт между потребителем и изготовителем), время на МТО – материально-техническое обеспечение (например, потребителю не принципиально время простоя).

Затраты на утилизацию или обратный выкуп (переиспользование материала).

Итак в модели контракта участвуют следующие элементы, обеспечивающие его полноту и целостность: потребитель (потребитель, эксплуатант); изготовитель; служба ТОиР: система необходимых технических показателей; требуемый коэффициент готовности; МТО: время поставки МТО; трудовые ресурсы; число сервисных центров; риски: инфляция (удорожание МТО, рост заработной платы обслуживающего персонала); простой из-за доставки МТО; брак МТО (следовательно его замена, следовательно увеличение времени простоя, рисунок 1.2.



Рисунок 1.2 – Структура модели КЖЦ

Модель контракта жизненного цикла наукоемких изделий должна решать и задачу автоматизации взаимодействия изготовителя с потребителем.

Следует определить вид/подвид модели контракта, который позволит оптимально возместить затраты на приобретение, затраты на поддержание (эксплуатацию). Предполагается, что изготовитель в состоянии точно определить затраты, относящиеся к контракту [1]. Мониторинг [13] со стороны заказчика посредством единого информационного пространства (PLM-систему) гарантирует эффективные метод проведения работ и эффективный контроль над затратами при выполнении контракта.

1.3 Виды моделей контрактов жизненного цикла и область их применения

Рассмотрим область применения видов моделей контрактов жизненного цикла, определенных в предыдущем параграфе. Здесь же обозначим область и условия применения конкретного вида модели контракта жизненного цикла

научно-технических изделий с возможностью использования при информационном взаимодействии изготовителя и потребителя.

В Российской Федерации применяются модели контрактов жизненного цикла первой группы, недостатком является отсутствие риск-разделенного партнерства. Модели контрактов жизненного цикла второй и третьей групп не применяются в РФ и не находят своего отражения в законодательстве. Большой интерес представляет вторая группа моделей контрактов жизненного цикла, учитывающая доленое участие сторон и получение поощрительного вознаграждения как стимула к сокращению затрат на проектирование и производство для получения дополнительной прибыли. Третья группа моделей контрактов жизненного цикла не представляет интереса, так как предназначена для специальных целей (решения отдельных вопросов, узких задач), не позволяет охватывать весь жизненный цикл изделия, не учитывает все виды работ.

1.4 Модели контрактов жизненного цикла с «возмещением затрат на проектирование и производство»

В случаях, когда невозможно оценить затраты на проектирование и производство с достаточной точностью и использовать модели контрактов с твердой ценой прибегают к моделям контрактов с «возмещением издержек производства».

Контракты с «возмещением издержек» запрещается использовать для приобретения коммерческих изделий и услуг.

Введем пояснение. В государственном хозяйствовании США к «согласованным» относятся статьи затрат по заказу корпораций-подрядчиков, университетов и других исполнителей НИОКР, не предусмотренные действующим государственным или внутриведомственным регулированием.

Таблица 1.1 – Виды моделей контрактов жизненного цикла, их область и условия применения

Группа моделей контрактов жизненного цикла	Разделение риска в зависимости от модели контракта жизненного цикла	Вид моделей контрактов жизненного цикла	Область и условия применения моделей контрактов жизненного цикла
1	2	3	4
I Модели контрактов жизненного цикла с «фиксированной ценой»	Риск на изготовителе	Модель контракта жизненного цикла с «твердо фиксированной ценой»	Применяется в случаях, когда цена может быть обоснована с самого начала, например, имеется адекватная определенная конструкция или представление спецификации; реальная оценка; достаточная конкуренция; действительные затраты или данные о ценообразовании по контракту, которые обеспечат правильное сравнение цен.
		Модель контракта жизненного цикла с «фиксированной ценой и ее последующей корректировкой по скользящей шкале цен»	Применяется в тех случаях, когда условия на рынке труда не стабильны на протяжении длительного периода изготовления изделия.
		Модель контракта жизненного цикла с «фиксированной ценой плюс дополнительная прибыль»	Применяется в тех случаях, когда в самом начале трудно определить затраты изготовителя, а также когда есть возможность сокращения затрат на проектирование и производство или улучшения эксплуатационных показателей поставляемой продукции на основе: 1) предоставления изготовителю меры ответственности за затраты на проектирование и производство; 2) выплата поощрения на базе дополнительной прибыли.
		Модель контракта жизненного цикла с «фиксированной ценой с последующей переоценкой»	Применяется в тех случаях, когда существует ограничение во времени и другие виды контрактов неприменимы. Устанавливается время или периоды времени: количество изделий и цена устанавливаются на определенный период времени, на последующие периоды выполнения контракта данные установки не

Продолжение таблицы 1.1

1	2	3	4
			распространяются. Таким образом, реальная фиксированная цена не может быть установлена изначально.
2 Модель контракта жизненного цикла с «возмещением затрат на проектирование и производство»	Риск разделяется между изготовителем и потребителем	Модель контракта жизненного цикла с «возмещением затрат на проектирование и производство»	<p>Контракт с «возмещением затрат на проектирование и производство» применяется для проведения НИОКР с бесприбыльными организациями или учебными заведениями, а также для управления государственным оборудованием, экспериментальными, опытными и промышленными установками, полигонами и испытательными системами.</p> <p>Контракт с «разделением затрат на проектирование и производство» применяется для проведения программ НИОКР, совместно финансируемых правительством и изготовителем, где изготовитель получает определенную коммерческую выгоду вместо прибыли по контракту.</p>
		Модель контракта жизненного цикла с «возмещением затрат на проектирование и производство плюс дополнительная прибыль»	<p>Применяется для разработок новой техники и технологии и их испытаний. Контракт обеспечивает активное стимулирование изготовителя для эффективного выполнения контракта посредством дополнительной прибыли, например, за экономию затрат на проектирование и производство, соблюдение сроков, эксплуатационные показатели изделия.</p>
		Модель контракта жизненного цикла с «возмещением затрат на проектирование и производство плюс фиксированная прибыль»	<p>Применяется для проведения НИР, поисковых разработок или научных исследований, когда общий объем работы изначально неизвестен, или для разработки и испытаний, когда применение контракта вида с «возмещением затрат на проектирование и производство плюс дополнительная прибыль» невозможно.</p>

Продолжение таблицы 1.1

1	2	3	4
<p>3 Другие виды моделей контрактов жизненного цикла для специальных целей</p>	<p>Разделение риска отсутствует</p>	<p>Модель контракта жизненного цикла «трудовые затраты по почасовым ставкам и материалы»</p>	<p>Контракт «время и материалы» применяется, когда изначально невозможно оценить масштабы или продолжительность работы. Контракт «трудо-часы» применяется в тех случаях, когда не используются материалы: инженерные или конструкторские разработки, ремонт, эксплуатация</p>
		<p>Модель контракта жизненного цикла «с неопределенным сроком поставки»</p>	<p>Данный контракт применяется в случаях, когда:</p> <ul style="list-style-type: none"> - точное время поставки изделия неизвестно; - количество поставляемых изделий известно; - период поставки можно установить; - изделия имеются в наличии, но есть задержка в их поставке; - требования изначально неизвестны; - количество необходимых ресурсов для изготовления изделия определить невозможно.
		<p>Модель контракта жизненного цикла «Кредитный» контракт («Кредитное» письмо)</p>	<p>Применяется для обеспечения начала работы по будущему контракту.</p>

Например, импорт специального оборудования или приборов, не производимых в США, переподготовка или переквалификация научно-технического или производственного персонала в связи с особыми условиями заказа и т.д. К «допустимым затратам» закон относит прямые и косвенные (накладные) расходы, непосредственно связанные с выполнением данного заказа. Однако этим же регулированием не предусматривается норма (%) накладных (административно-управленческих) расходов, что подчас ведет к крупным перерасходам по фактическим затратам и последующим претензиям к государству об их же возмещении [1].

Рассмотрим структуру подвидов модели контрактов жизненного цикла при условии возмещения только затрат на проектирование и производство (рисунок 1.3).

Рассмотрим структуру модели контракта для случая с установленным пределом стоимости заказа (рисунок 1.4).



Рисунок 1.3 – Структура модели контракта жизненного цикла с «возмещением только затрат на проектирование и производство»



Рисунок 1.4 – Структура модели контракта жизненного цикла с «возмещением затрат на проектирование и производство до установленного предела»

После завершения заказа и проверки фактических затрат изготовителя, связанных с выполнением контракта, его стоимость определяется сторонами как сумма «допустимых» по закону затрат на проектирование и производство. Если величина «допустимых» по закону затрат на проектирование и производство превышает величину «верхнего предела» стоимости изделия, то потребитель возмещает изготовителю затраты только в объеме верхнего предела стоимости контракта, оставшаяся часть возмещается изготовителем из собственных средств.

Рассмотрим еще одну модификацию модели взаимодействия изготовителя с потребителем – разделение затрат или доленое участие (рисунок 1.5).

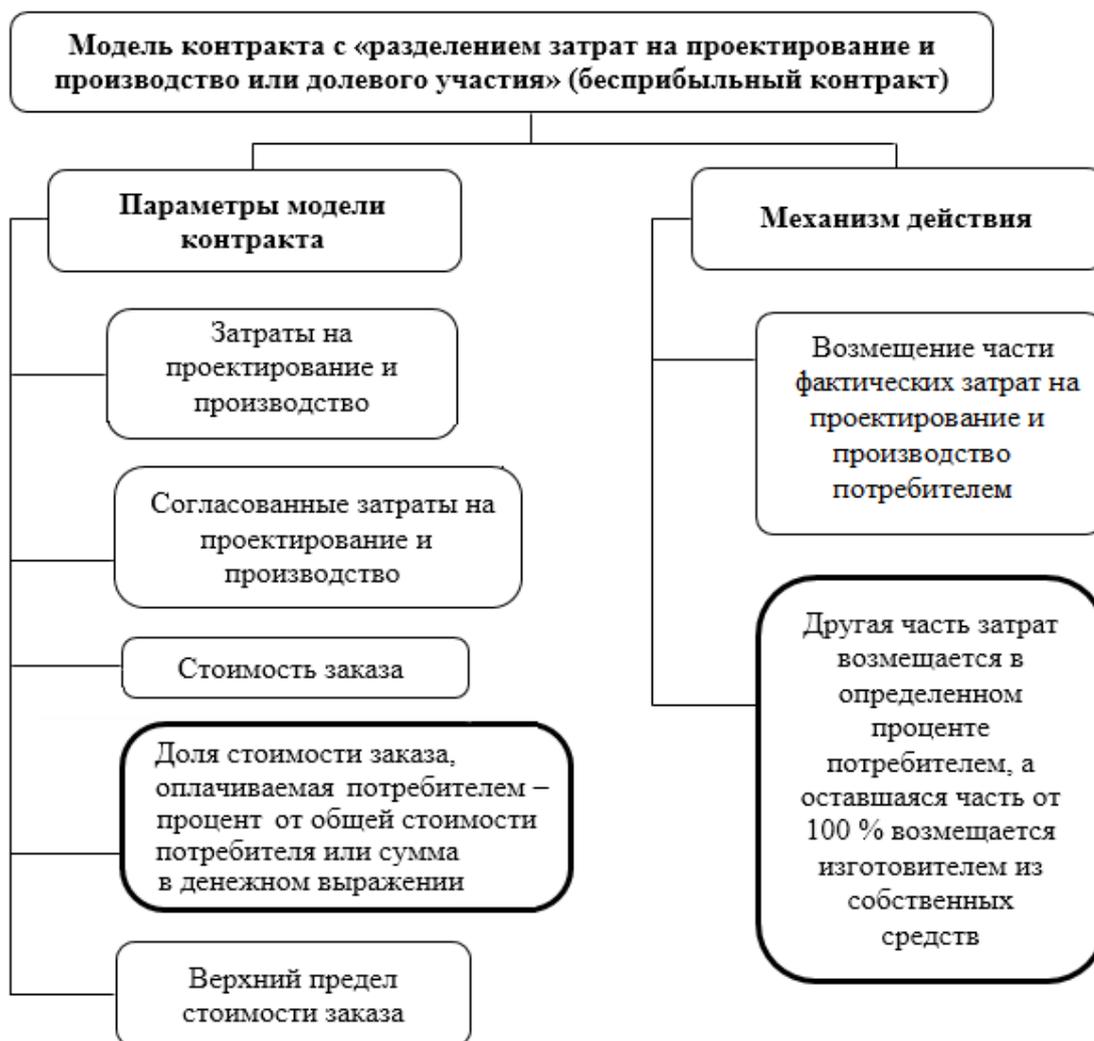


Рисунок 1.5 – Структура модели контракта с «разделением затрат на проектирование и производство или долевого (риск-разделенного) взаимодействия изготовителя и потребителя»

Приведенные выше виды моделей контракта жизненного цикла, возмещающие только затраты на проектирование и производство, могут быть использованы при выполнении программ НИОКР в университетах и неприбыльных организациях для взаимодействия изготовителя с потребителем при изготовлении новой техники и технологии в промышленности.

Рассмотрим модели контрактов, которые предполагают получение вознаграждения или прибыли изготовителем. При использовании моделей контрактов жизненного цикла с «возмещением затрат на производство плюс

дополнительная прибыль» затраты на проектирование и производство компенсируются, а дополнительную прибыль изготовитель получает по определенному сторонами механизму. К этому виду модели, будут отнесены такие подвиды как «стоимость плюс фиксированная прибыль», в которых размер прибыли фиксируется либо в виде конкретной суммы, либо в виде процента от объема затрат на проектирование и производство. В более сложных моделях контрактов жизненного цикла предусмотрена еще и дополнительная прибыль, которая определяется экономией затрат на проектирование и производство, соблюдением графика работ, достижением высоких тактико-технических характеристик изделия и прочих результатов.

Применение контрактов с «возмещением затрат на проектирование и производство плюс фиксированная прибыль» опирается на предварительные данные технико-экономического и финансового анализа, анализа научно-производственного и экономического потенциала всех участвующих в конкурсе по данному заказу изготовителей, а также обоснование их вероятных затрат на проектирование и производство и прибыль. Рассмотрим подвиды модели контрактов, которые предполагают получение изготовителем только фиксированной прибыли (рисунок 1.6).

Данную модель контракта жизненного цикла используют при реализации научно-технического или военно-технического заказа, для управления и финансирования НИОКР или фундаментальных исследований, а также опытно-конструкторских разработок или экспериментальных испытаний. Формат такого взаимодействия изготовителя и потребителя используется, когда есть техническое решение и завершено предварительное проектирование, рассчитаны экономические и технические параметры определено практическое назначение нового изделия и сроки окончания его разработки.



Рисунок 1.6 – Структура модели контракта «затрат на проектирование и производство плюс фиксированная прибыль»

Изготовитель, выполняя заказ, несет перед потребителем минимальную ответственность за контроль над затратами на проектирование и производство.

Фактические затраты на проектирование и производство изготовителя, как правило, отличаются от первоначально планируемых. Если превышение

над планируемыми затратами на проектирование и производство составляет более 75 % [1], то изготовитель предоставляет потребителю данные для перерасчета и переоценки стоимости изделия. Установленная прибыль не зависит от вариации фактической стоимости изделия, но допускается уточнение при внесении изменений в его стоимость. По данному контракту изготовитель не заинтересован в контроле затрат.

Однако взаимодействие изготовителя и потребителя может быть в условиях, когда прибыль будет не только фиксированной, но и дополнительной (рисунок 1.7).

Данную модель контракта жизненного цикла можно использовать для заказов на НИОКР, на разработку систем вооружений, военных и аэрокосмических исследовательских программ, а так же техники и технологии гражданского назначения. Такая модель контракта оптимально подходит стадиям разработок, экспериментальных испытаний и на начальной стадии выпуска серийных изделий.

Посредством механизма действия модель контракта жизненного цикла «затраты на проектирование и производство плюс дополнительная прибыль» позволяет повысить качество опытно-конструкторских работ и, следовательно, эффективность взаимодействия изготовителя и потребителя. Прибыль изготовителя гарантируется в пределах указанного диапазона при любом изменении затрат на проектирование и производство.

Для данной модели контракта сохраняется условие, если превышение планируемых затрат на проектирование и производство более 75 % [1], то изготовитель извещает покупателя для перерасчетов и переоценки стоимости изделия и установления новой величины планируемых затрат на проектирование и производство.



Рисунок 1.7 – Структура модели контракта «затрат на проектирование и производство плюс дополнительная прибыль»

Рассмотрим подвид модели контракта жизненного цикла, когда имеет место и дополнительная прибыль и прибыль фиксированная (рисунок 1.8).



Рисунок 1.8 – Структура модели контракта с «возмещением затрат на проектирование и производство плюс фиксированная прибыль и дополнительная прибыль»

Данная модель применяется преимущественно для создания новой техники и технологии в условиях, когда ее количественные или качественные показатели измерить объективно не представляется возможным. Структура данной модели существенно отличается от рассмотренных ранее.

Механизм действия модели позволяет потребителю воздействовать на изготовителя посредством выплаты ему дополнительной прибыли и наложения на него штрафа.

«Фиксированная прибыль» определяется покупателем на основе оценки качественных и количественных технико-экономических показателей работы изготовителя.

Рассмотрим модель контракта жизненного цикла, когда стимулирование может осуществляться за достижение наилучших технико-тактических характеристик (например, дальность полета, скорость полета, маневренность и т.п.) и за сроки поставки. При недостижении данных показателей применяются штрафы. Данной модели свойственна прямая зависимость выплат прибыли от показателей качества работы изготовителя.

Такой механизм действия контрактов применяется для повышения эффективности функционирования САПР как информационного взаимодействия изготовителя и потребителя. Данная модель контрактов предусматривает увеличение прибыли за сокращение затрат на проектирование и производство, за высокие технико-тактические показатели и/или опережение сроков поставок. Если приведенные показатели не достигнуты, то в определенных пропорциях уменьшится величина прибыли. Данная модель контракта может обеспечить интеграцию САПР в общую архитектуру автоматизированной среды проектирования, производства и эксплуатации с риск-разделенным партнерством, позволяющим автоматизировать взаимодействие изготовителя с потребителем так, чтобы изготовитель брал на себя существенную долю ответственности (риск) за затраты на проектирование, производство и эксплуатацию. Рассмотрим механизм действия модели контрактов жизненного цикла, возмещающей

затраты на проектирование и производство с разделением риска между изготовителем и потребителем (долевое участие), рисунок 1.9.



Рисунок 1.9 – Структура модели контракта с «возмещением затрат на проектирование и производство многократной дополнительной прибыли»

Данная модель контракта жизненного цикла должна быть такой, чтобы у изготовителя была мотивация добиваться максимальной прибыли по всем

требованиям контракта (по затратам на проектирование и производство, технико-тактическим показателям, сроку поставки). Изготовитель может достичь максимальной прибыли и по одному из требований контракта он сам выбирает между имеющимися возможностями получения дополнительной прибыли по разным показателям.

Последняя описанная модель контракта жизненного цикла является наиболее полной и удовлетворяющей условиям взаимодействия изготовителя и потребителя на этапах проектирования, производства и эксплуатации наукоемких изделий, учитывая не только экономические составляющие заказа, но и его технические, и временные характеристики, что является обязательным и необходимым условием повышения эффективности функционирования САПР в сложившейся среде диверсификации производства и импортозамещения.

1.5 Модель конструирования стоимости контракта жизненного цикла с «возмещением затрат на проектирование и производство» со стимулированием затрат на проектирование и производство

Конструирование стоимости как один из основополагающих элементов оценки эффективности жизненного цикла наукоемких изделий. В КЖЦ конструирование стоимости должно быть включено отдельной статьей взаимодействия изготовителя и потребителя. Отсутствие данной статьи может привести к тому, что изготовитель будет стремиться скрывать сокращение своих затрат. Статья конструирования стоимости КЖЦ позволит изготовителю получать прибыль от любого сокращения затрат. Необходимо определить пропорции долевого взаимодействия изготовителя и потребителя, риск-разделение в затратах на проектирование и производство, то есть соотношение долей в экономии и дополнительных затрат.

Представим модель, где будет отражено только стимулирование затрат на проектирование и производство без учета достижения или недостижения

техничко-тактических показателей, срока поставки и коэффициента готовности. Модели необходимо задать стимулирующие параметры:

- диапазон стимулирования затрат на проектирование и производство;
- соотношение долей экономии и дополнительных затрат на проектирование и производство;
- min дополнительная прибыль;
- max дополнительная прибыль;
- плановые затраты по контракту;
- плановая прибыль;

На основе данных параметров рассчитывается полученная или недополученная прибыль. Дадим характеристику параметров модели конструирования стоимости. Для того, чтобы избежать «бесконечного» возмещения затрат на проектирование и производство необходимо ввести параметр ограничения. Таким ограничивающим и одновременно стимулирующим параметром будет выступать прибыль изготовителя. Так же ограничивающим параметром будут выступать сами затраты в качестве допустимых: «потолок затрат» и полные плановые (ожидаемые) затраты.

Такое взаимодействие изготовителя и потребителя предусматривает стоимость изделия, минимальную и максимальную прибыль по итогу выполнения работ. Расчет прибыли должен осуществляться по формуле уточнения суммы дополнительной прибыли. Данная формула должна предусматривать увеличение дополнительной прибыли, если затраты окажутся ниже планируемой цены контракта, и наоборот.

Механизм действия данной модели контракта основывается на следующих экономических показателях:

- $Z_{пл}$ – планируемые затраты;
- $Z_{ф}$ – фактические затраты;
- $P_{пл}$ – планируемая прибыль;
- $P_{ф}$ – фактическая прибыль.

- $R = \text{Потр}/\text{Изг}$ – регулирование прибыли в зависимости от экономии или перерасхода по модели контракта,

где - Потр – ответственность потребителя;

- Изг – ответственность изготовителя;

- Потр + Изг = 100%;

- P_k – прибыль конечная.

Показатель Z_ϕ – фактические затраты вводятся после заключения контракта.

После выполнения заказа величина прибыли, подлежащая выплате изготовителю, рассчитывается по следующей формуле:

$$P_k = P_{пл} + (Z_{пл} - Z_\phi) * \text{Изг}, \quad (1.2)$$

где $(Z_{пл} - Z_\phi) * \text{Изг}$ – причитающаяся заказчику часть экономии затрат производства.

Конечная прибыль растет, когда фактические затраты на проектирование и производство ниже планируемых $Z_\phi < Z_{пл}$, или наоборот, уменьшается при превышении фактических затрат над планируемыми $Z_\phi > Z_{пл}$.

Таким образом, основным рычагом стимулирования изготовителя служит регулирование потребителем размера максимальной и минимальной дополнительной прибыли, а так же долевого взаимодействия изготовителя и потребителя в общей экономии затрат на проектирование и производство.

Следует отметить, что управление затратами на проектирование, производство и эксплуатацию при выполнении контракта рекомендуется осуществлять через единое информационное пространство в общей архитектуре автоматизированной среды проектирования, производства и эксплуатации, реализованной посредством PLM-системы [14].

1.6 Закономерности стимулирования затрат на проектирование и производство и основные параметры при симметричных и ассиметричных пропорциях распределения долей в группе моделей контрактов с «возмещением затрат на проектирование и производство плюс дополнительная прибыль»

Затраты как один из параметров модели эффективности жизненного цикла наукоемких изделий выносятся на обсуждение и определяются путем оценок максимальной суммы, которой может располагать изготовитель и минимальной суммой, которой располагает потребитель. Изготовитель и потребитель определяют плановые затраты на проектирование и производство в результате компромисса.

Если изготовитель участвует в модели конструирования стоимости впервые, то используется линейная схема зависимости (рисунок 1.10) [1].

В данной схеме зависимости отклонения от планируемого значения затрат или в сторону увеличения, или в сторону уменьшения носят симметричный характер.

Математическое обоснование симметричного стимулирования затрат на проектирование и производство представим в виде следующих формул.

1) Расчет *верхнего предела диапазона стимулирования затрат на проектирование и производство*:

- Π_{max} – прибыль по верхнему пределу диапазона стимулирования затрат на проектирование и производство;

- $\Delta\Pi_{max} = \Pi_{max} - \Pi_{пл}$ – разность между значением максимальной прибыли и значением плановой прибыли;

- ЭПр_{max} – верхний предел доли изготовителя в распределении экономии.

Тогда:

$$\Pi_{max} = \frac{\Delta\Pi_{max}}{\text{ЭПр}_{max}} \quad (1.3)$$

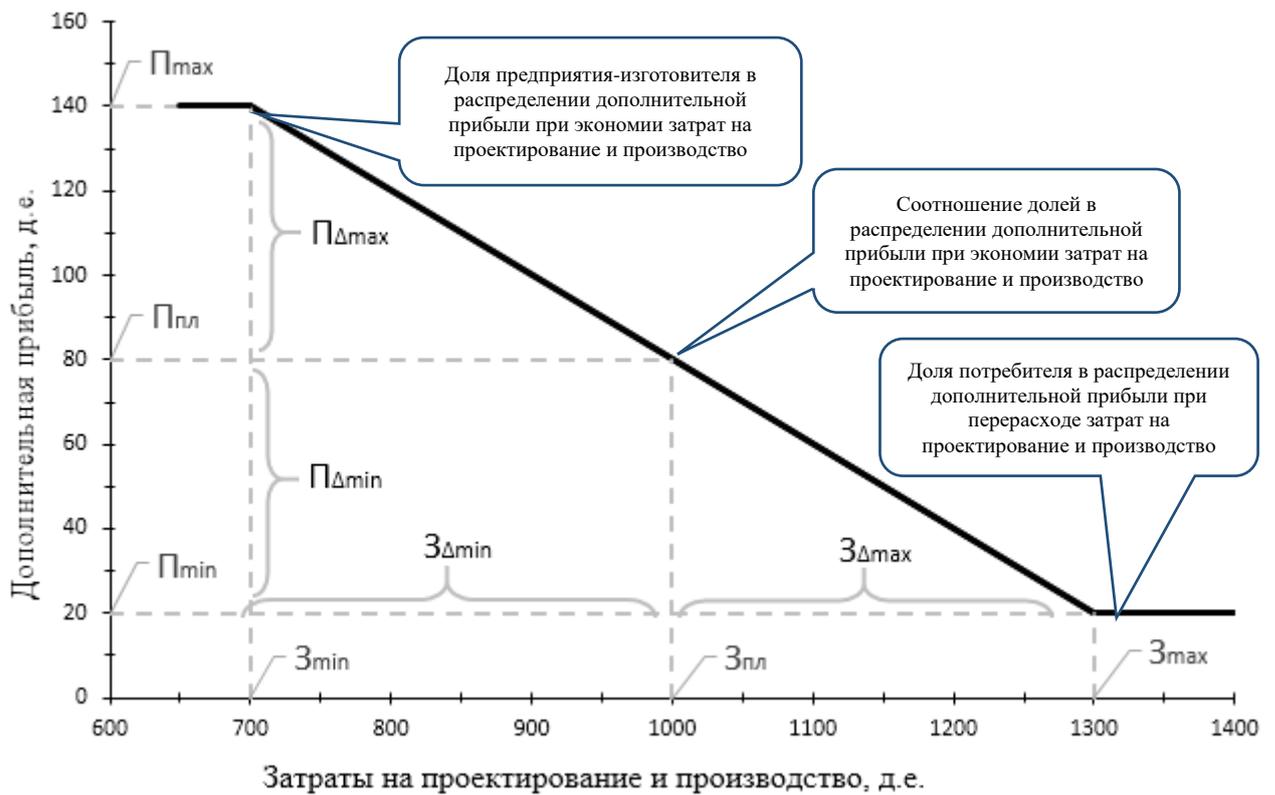


Рисунок 1.10 – Модель оценки эффективности этапов проектирования и производства при симметричном распределении долевого взаимодействия изготовителя и потребителя («изготовитель – потребитель»)

2) Расчет нижнего предела диапазона стимулирования затрат на проектирование и производство:

- P_{min} – прибыль по нижнему пределу диапазона стимулирования затрат на проектирование и производство;

- $\Delta P_{min} = P_{пл} - P_{min}$ – разность между значением плановой прибыли и значением минимальной прибыли;

- $ЭПр_{min}$ – нижний предел доли изготовителя в распределении экономии.

Тогда:

$$P_{min} = \frac{\Delta P_{min}}{ЭПр_{min}} \quad (1.4)$$

Соотношение долей потребителя и изготовителя, определенных в рамках обсуждения контракта как часть обсуждаемого пакета или рассчитанные после обсуждения других параметров (планируемых затрат на проектирование и производство, диапазона стимулирования затрат на проектирование и производство, максимальных и минимальных выплат) работает только в рамках данного рассчитанного диапазона, за пределами диапазона соотношение этих долей будет 100:0 [1].

Таким образом, рисунок 1.10 распространяется на ситуацию, когда отклонение максимальной дополнительной прибыли от плановой равно отклонению минимальной дополнительной прибыли от плановой и отклонение максимальных затрат на проектирование и производство от плановых равно отклонению минимальных затрат на проектирование и производство от плановых.

1.6.1 Соотношение долей в распределении экономии и перерасхода затрат

Рассчитать соотношение долей, то есть риск-разделение взаимодействия изготовителя и потребителя можно двумя способами:

- *для экономии затрат на проектирование и производство по сравнению с планируемым уровнем* (доля изготовителя в распределении экономии затрат на проектирование и производство);

- *для перерасхода затрат на проектирование и производство по сравнению с планируемым уровнем* (доля изготовителя в распределении перерасхода по затратам на производство).

В первом случае обозначим:

- $Z_{пл}$ – плановый уровень затрат;

- Z_{min} – нижний предел диапазона стимулирования затрат на проектирование и производство;

Тогда:

$$\text{ЭПр}_{max} = \frac{\Delta\Pi_{max}}{З_{пл} - З_{min}}, \quad (1.5)$$

где $З_{пл}$ – плановый уровень затрат;

$З_{max}$ – верхний предел диапазона стимулирования затрат на проектирование и производство;

Тогда:

$$\text{ЭПр}_{min} = \frac{\Delta\Pi_{min}}{З_{max} - З_{пл}} \quad (1.6)$$

1.6.2 Асимметричные пропорции распределения долей

Симметричное значение в соотношении распределения долей при взаимодействии изготовителя с потребителем как для экономии, так и для перерасхода затрат на проектирование и производство не всегда может устраивать и тогда применяются асимметричные пропорции долей.

Асимметричность пропорций распределения долей возникает в нескольких случаях:

1) *непропорциональности (нелинейной зависимости) диапазона стимулирования затрат на проектирование и производство;*

2) *непропорциональности уровней максимальных или минимальных выплат;*

3) *непропорциональности планируемых затрат на проектирование и производство.*

В первом случае непропорциональности диапазона стимулирования затрат на проектирование и производство диапазон может модифицироваться (сдвинуться) при сохранении прежней плановой прибыли (планируемого размера дополнительной прибыли), а так же прежних максимальной и минимальной прибыли. Математически рассчитать асимметричные пропорции распределения долей можно по формуле 1.5 для промежутка затрат на

проектирование и производство ниже плановых и по формуле 1.6 для промежутка затрат на проектирование и производство превышающих плановые. Тогда в случае непропорциональности диапазона стимулирования затрат на проектирование и производство зависимость прибыли от затрат будет иметь следующий вид (рисунок 1.11) [1].

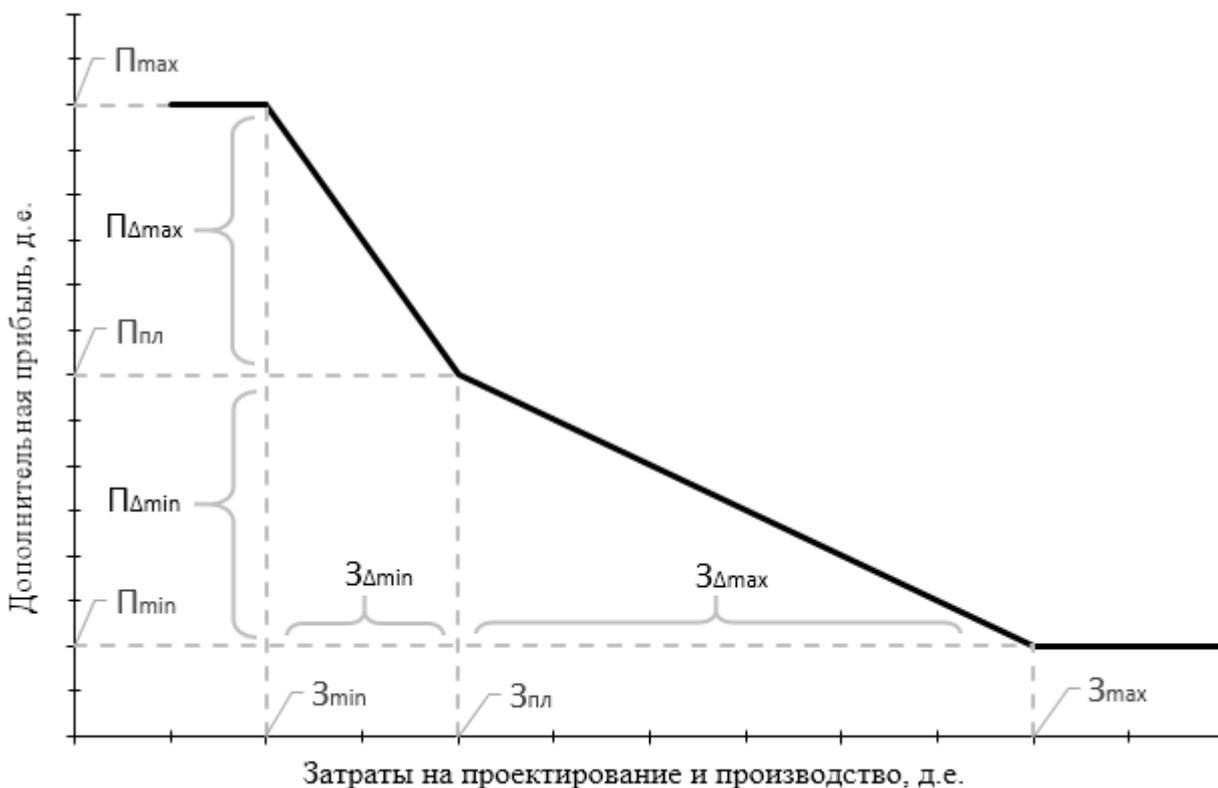


Рисунок 1.11 – Модель оценки эффективности этапов проектирования и производства, описывающая зависимость дополнительной прибыли от затрат на проектирование и производство при асимметричных пропорциях долевого взаимодействия изготовителя и потребителя в случае модификации диапазона стимулирования затрат на проектирование и производство

Используя рисунок 1.11, рассмотрим сначала случай асимметричности в интервале стимулирования затрат на проектирование и производство. Этот интервал может варьироваться: сместиться к определенному значению (интервалу) при сохранении прежнего планируемого размера прибыли, а

также прежних максимальной и минимальной прибыли. В таком варианте будет иметь место «верхнее» соотношение долей и «нижнее», по которому изготовитель хорошо выполняет условия работ по контракту и его фактические затраты на производство находятся ниже плановых, следовательно при их дальнейшем снижении (в промежутке «ниже плановых затрат на проектирование и производство») изготовитель получит большую долю от сэкономленных средств. Смоделируем графически данную ситуацию (рисунок 1.12) [1].

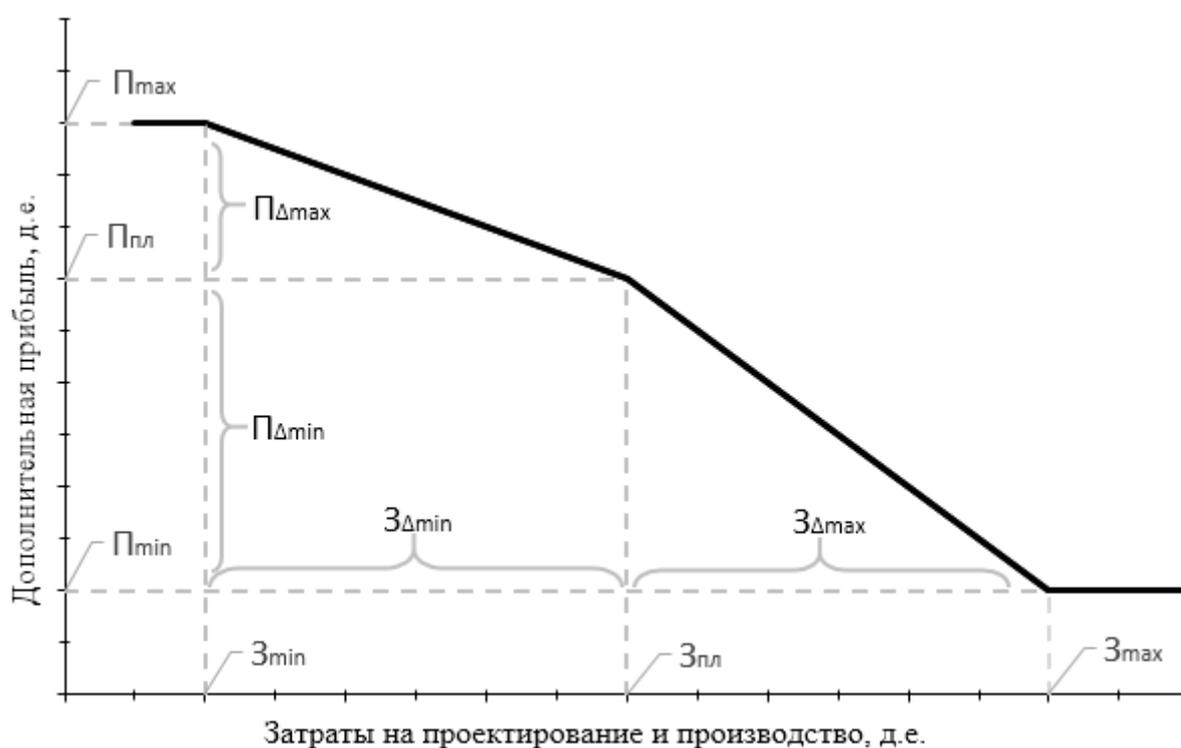


Рисунок 1.12 – Модель оценки эффективности этапов проектирования и производства, описывающая зависимость стимулирующих выплат от затрат на проектирование и производство при асимметричных пропорциях долевого взаимодействия изготовителя и потребителя в случае модификации максимальных и минимальных стимулирующих выплат

Математически рассчитать асимметричные пропорции распределения долей можно с помощью формул 1.5 (для промежутка затрат на

проектирование и производство «ниже плановых») и 1.6 (для промежутка затрат на проектирование и производство «выше плановых»). Для случая, который отражен на рисунке 1.12 разница между максимальной дополнительной прибылью и плановой прибылью составляет $\Delta\Pi_{max}$. В то же время в этом случае разница между плановым уровнем затрат и нижним пределом диапазона стимулирования затрат на проектирование и производство представляет собой $Z_{пл} - Z_{min}$. Тогда, доля изготовителя в экономии затрат на проектирование и производство составит: ЭПр_{max} , а доля потребителя – $100\% - \text{ЭПр}_{max}$ [1].

Аналогично в случае перерасхода затрат применяется формула 1.6. Здесь разница между плановой прибылью и минимальной дополнительной прибылью составляет $\Delta\Pi_{min}$; тогда как разница между верхним пределом диапазона стимулирования затрат на проектирование и производство и плановым уровнем затрат равна $Z_{max} - Z_{пл}$. Отсюда получаем, что в этом промежутке затрат доля изготовителя в их перерасходе составляет ЭПр_{min} , а доля потребителя $\text{ЭПр}_{min} - 100\%$.

Таким образом, ситуация, отраженная на рисунке 1.12 означает, что изготовитель хорошо справляется с работами по контракту и его фактические затраты на проектирование и производство находятся ниже плановых, поэтому при их дальнейшем снижении, в промежутке ниже плановых затрат на проектирование и производство изготовителю достанется большая доля от сэкономленных средств. Здесь соотношение доли изготовителя при экономии затрат на проектирование и производство будет больше, чем при распределении перерасхода затрат на проектирование и производство относительно плановых.

Рассмотрим следующий случай, когда отклонение максимальной дополнительной прибыли от плановой не равно отклонению минимальных стимулирующих выплат от плановых и отклонение максимальных затрат на проектирование и производство от плановых равно отклонению минимальных затрат на проектирование и производство от плановых. В этой ситуации, для

промежутка затрат на проектирование и производство ниже плановых, соотношение долей участия при распределении стимулирующих выплат для изготовителя будет меньше, чем на интервале, в котором затраты на проектирование и производство превышают плановый уровень. Вышесказанное отображено на (рисунок 1.13) [1].

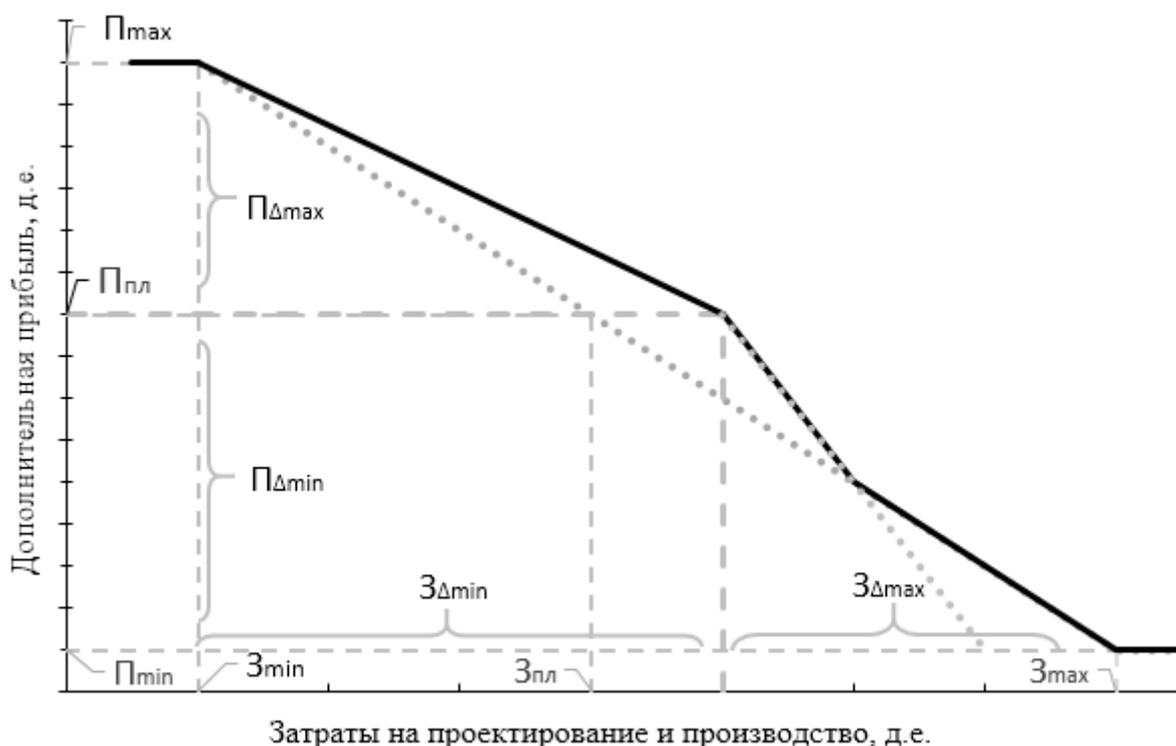


Рисунок 1.13 – Модель оценки эффективности этапов проектирования и производства, описывающая зависимость дополнительной прибыли от затрат на проектирование и производство при асимметричных пропорциях долевого взаимодействия изготовителя и потребителя для «свободного уровня планируемых затрат»

В условиях, когда при взаимодействии изготовителя и потребителя имеются серьезные противоречия в отношении определения уровня размеров планируемых затрат на проектирование и производство применяются асимметричные пропорции распределения долей. При условии, что размер затрат на проектирование и производство слишком маленький (невыгодно

изготовителю) и слишком большой (невыгодно потребителю), то асимметричное распределение долей может рассматриваться в качестве альтернативного варианта. Тогда размер плановых затрат принимается «свободным параметром» и даже незначительное его превышение окажет существенное негативное влияние на финансовое положение изготовителя, который должен будет компенсировать потребителю перерасход затрат на проектирование и производство.

Изготовитель может настаивать на увеличении прибыли, т.е. своей доли в экономии затрат на проектирование и производство по сравнению с плановым уровнем, если считает, что планируемые затраты на проектирование и производство являются ограниченными «жесткими рамками» контракта (рисунок 1.14).

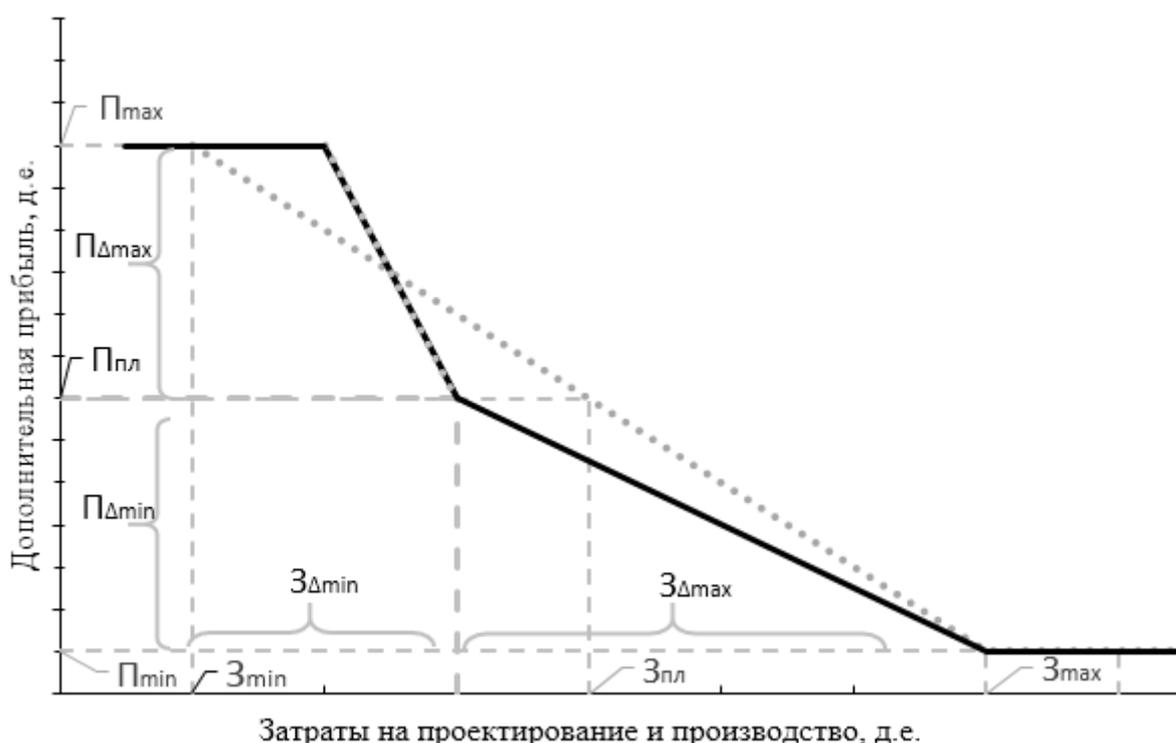


Рисунок 1.14 – Модель оценки эффективности этапов проектирования и производства, описывающая зависимость дополнительной прибыли от затрат на проектирование и производство при асимметричных пропорциях долевого взаимодействия изготовителя и потребителя для «жесткого уровня планируемых затрат»

На рисунке 1.14 доля производителя выросла, а плановый (целевой) размер затрат на проектирование и производство превышает обсуждаемый при заключении. Потребитель может настаивать на относительно небольшой доле изготовителя в компенсации перерасхода затрат на проектирование и производство, если считает, что у изготовителя есть вероятность уложиться в запланированные затраты на проектирование и производство или сэкономить их [1].

Соотношение долей затрат визуализируется графически как: прямая линия – симметричное распределение и кривые линии – асимметричное распределение. При наложении графиков друг на друга с постоянно меняющимися соотношениями, получим график кривой, отображающий общую тенденцию кривых асимметричного распределения долей взаимодействия изготовителя и потребителя (рисунок 1.15) [1].

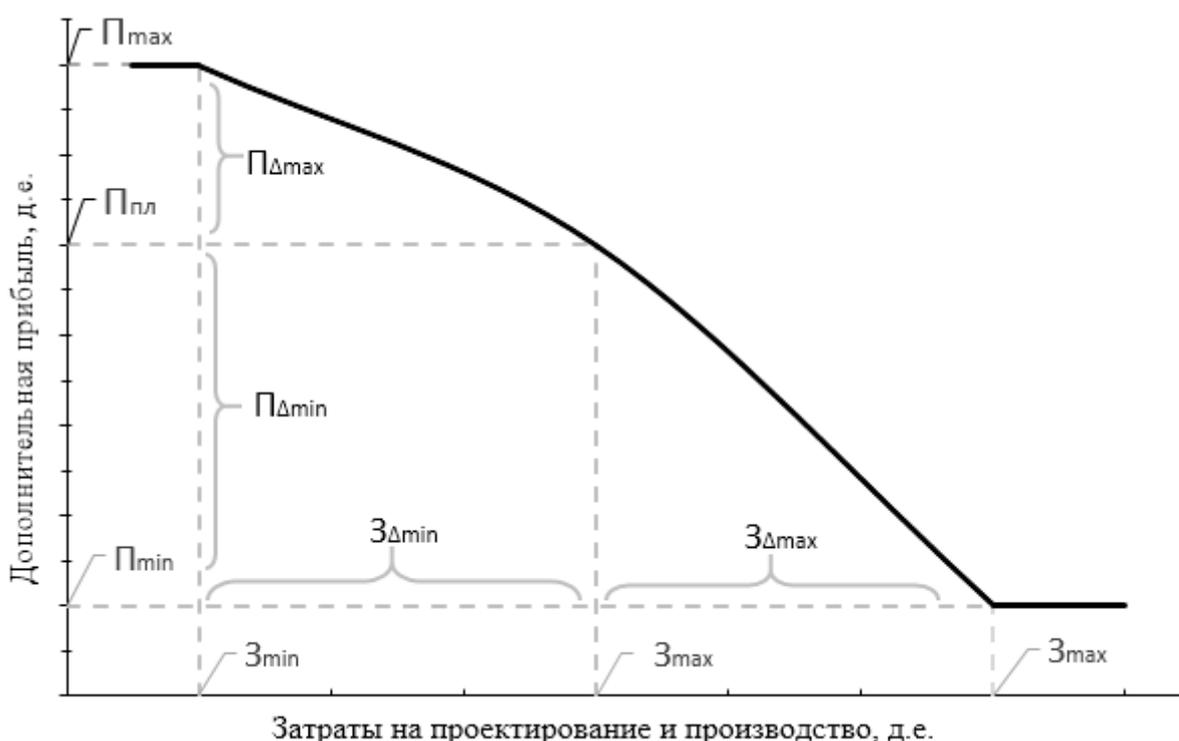


Рисунок 1.15 – Модель оценки эффективности этапов проектирования и производства, описывающая зависимость дополнительной прибыли от затрат на проектирование и производство при соотношении долевого взаимодействия изготовителя и потребителя по кривой

При таком стимулировании затрат на их плановую величину можно не обращать внимание. Изготовитель, у которого возможно отклонение по затратам на проектирование и производство от планового уровня, заинтересовывается на предмет их сокращения, ведь его доля в компенсации этого перерасхода постоянно нарастает.

Если параметр плановых затрат на проектирование и производство является эластичным, то возможна организация «буферной зоны» со стороны потребителя, рисунок 1.16 [1].

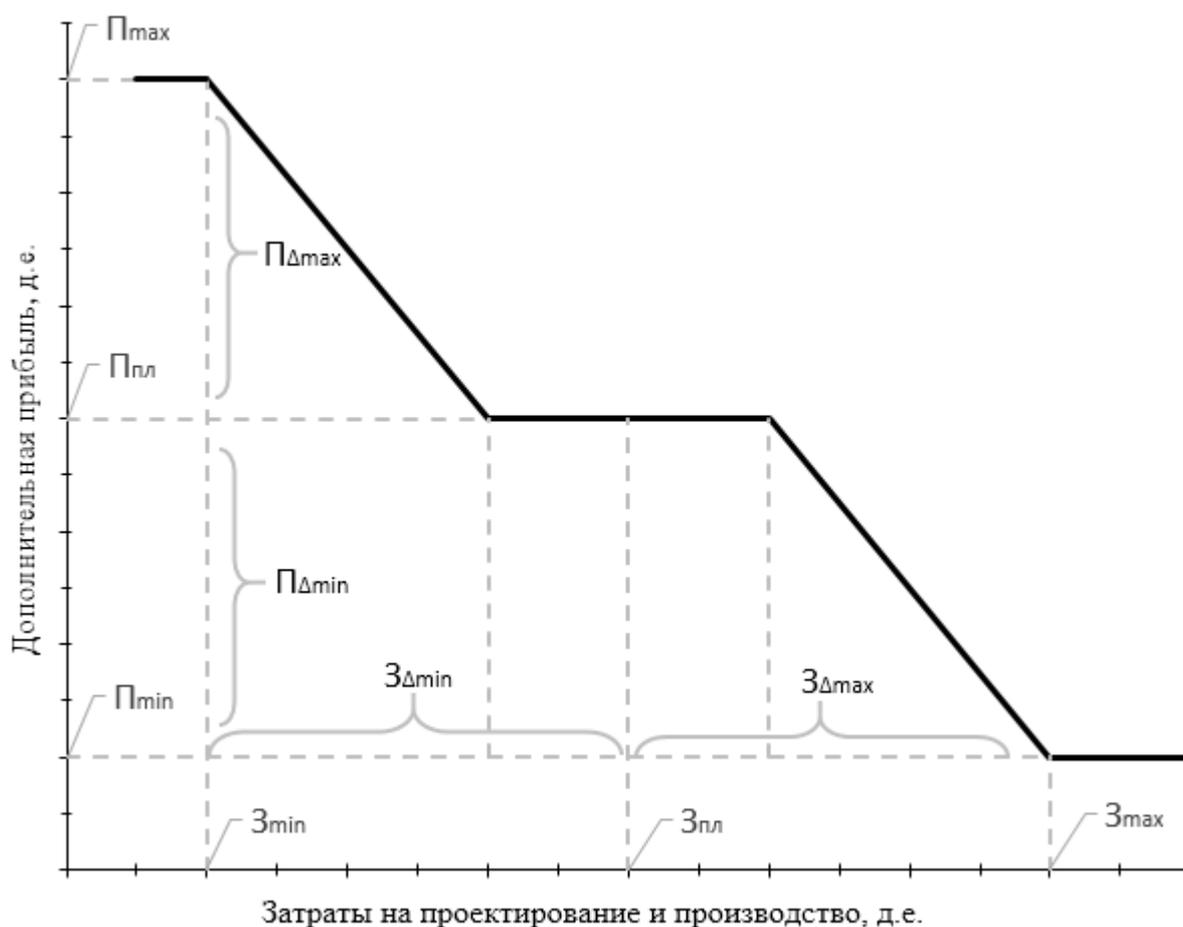


Рисунок 1.16 – Модель оценки эффективности этапов проектирования и производства, описывающая зависимость дополнительной прибыли от затрат на проектирование и производство при стимулировании буферной зоны

Буферная зона – это интервал затрат на проектирование и производство (плюс/минус плановое значение), в пределах которого ответственность

возлагается на потребителя, а потому вопрос о долях распределения экономии или о компенсации перерасхода не ставится, принимаются соотношения 100:0 или 95:5.

Минимальные выплаты выступают в качестве основной характеристики, когда затраты на проектирование и производство изготовителя по контракту достигают максимально допустимой величины для потребителя (правая граница оси затрат на рисунках 1.11, 1.12, 1.13, 1.14, 1.15, 1.16).

Различают следующие виды минимальных выплат:

- положительные;
- нулевые;
- негативные;
- с фиксированным потолком затрат (введение не минимального, а максимального размера выплат).

Положительная сумма минимальных выплат (рисунок 1.11) – это положительная гарантированная фиксированная сумма прибыли, которая выплачивается независимо от превышения изготовителем планового размера затрат на проектирование и производство.

Нулевой уровень минимальных выплат – это изменяющаяся зависимая сумма прибыли, при которой диапазон стимулирования затрат на проектирование и производство и риск-разделение взаимодействия изготовителя и потребителя подлежат изменениям за превышение планового размера затрат на проектирование и производство (рисунок 1.11).

Математическое обоснование увеличения диапазона стимулирования затрат на проектирование и производство или риск-разделения взаимодействия изготовителя и потребителя по КЖЦ обеспечивается формулами 1.5 и 1.6 Графическое изображение нулевых минимальных выплат приведены на рисунке 1.17 [1].

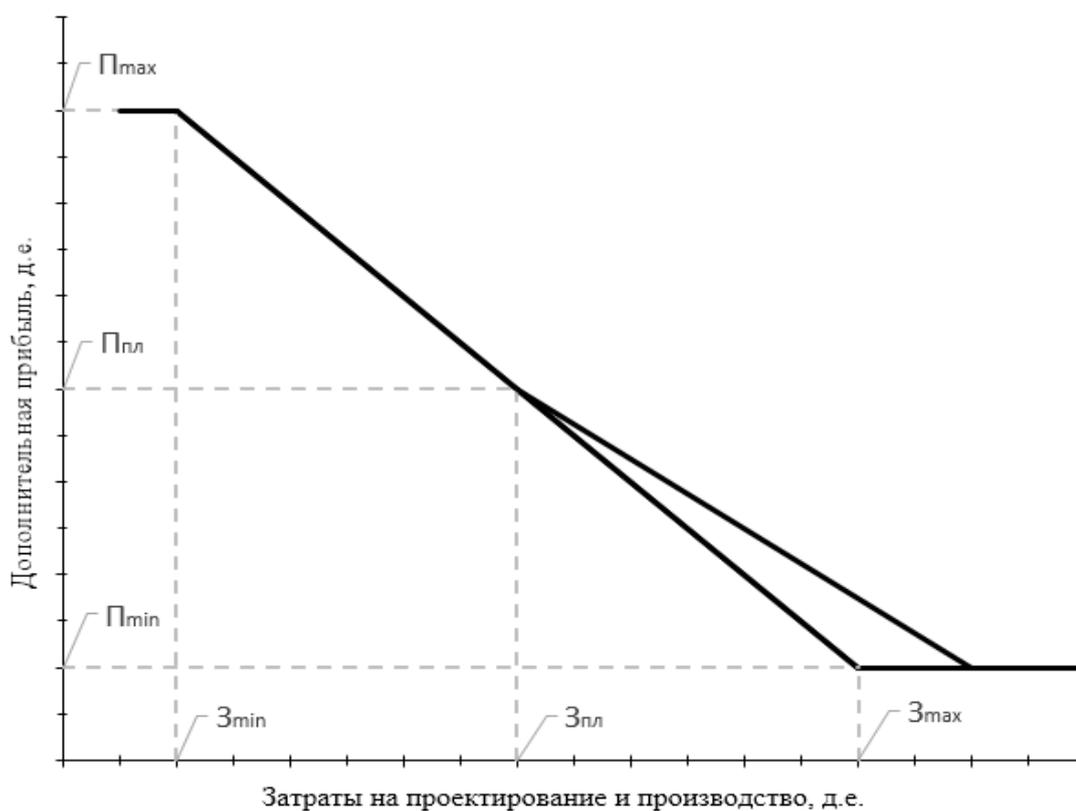


Рисунок 1.17 – Модель оценки эффективности этапов проектирования и производства, описывающая зависимость дополнительной прибыли от затрат на проектирование и производство при нулевых минимальных выплатах

Негативные минимальные выплаты (штраф) – это отрицательное значение прибыли (убыток), приводящее к изменению диапазона стимулирования затрат на проектирование и производство и долевого взаимодействия изготовителя и потребителя.

Математическое обоснование аналогично как и ранее дается в формуле 1.2.

Негативные процентные выплаты – это не утвержденное доленое взаимодействия изготовителя и потребителя при штрафах до завершения контракта или до решения потребителя о продолжении финансирования в условиях значительного перерасхода затрат на проектирование и производство (рисунок 1.18) [1].

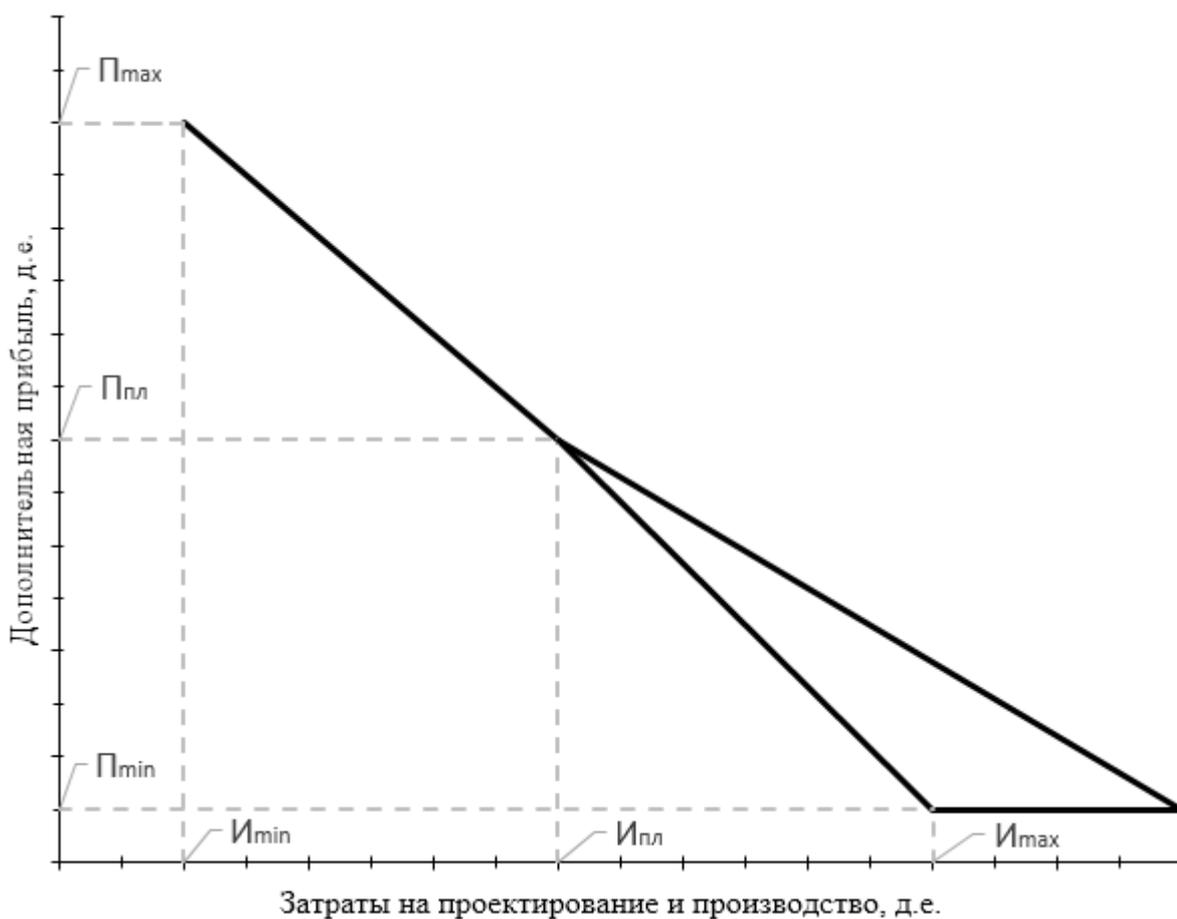


Рисунок 1.18 – Модель оценки эффективности этапов проектирования и производства, описывающая зависимость стимулирующих выплат от затрат на проектирование и производство при штрафах

Возможен вариант, когда потребитель ограничивает затраты на проектирование и производство ниже нижнего предела (т.е. левой половины) диапазона стимулирования затрат на проектирование и производство (рисунок 1.19). В таком случае минимальные выплаты отсутствуют, поскольку диапазон стимулирования затрат на проектирование и производство будет располагаться слева от плановой величины затрат на проектирование и производство и распространяться до максимального предела стоимости контракта (ему максимальные выплаты) [1].

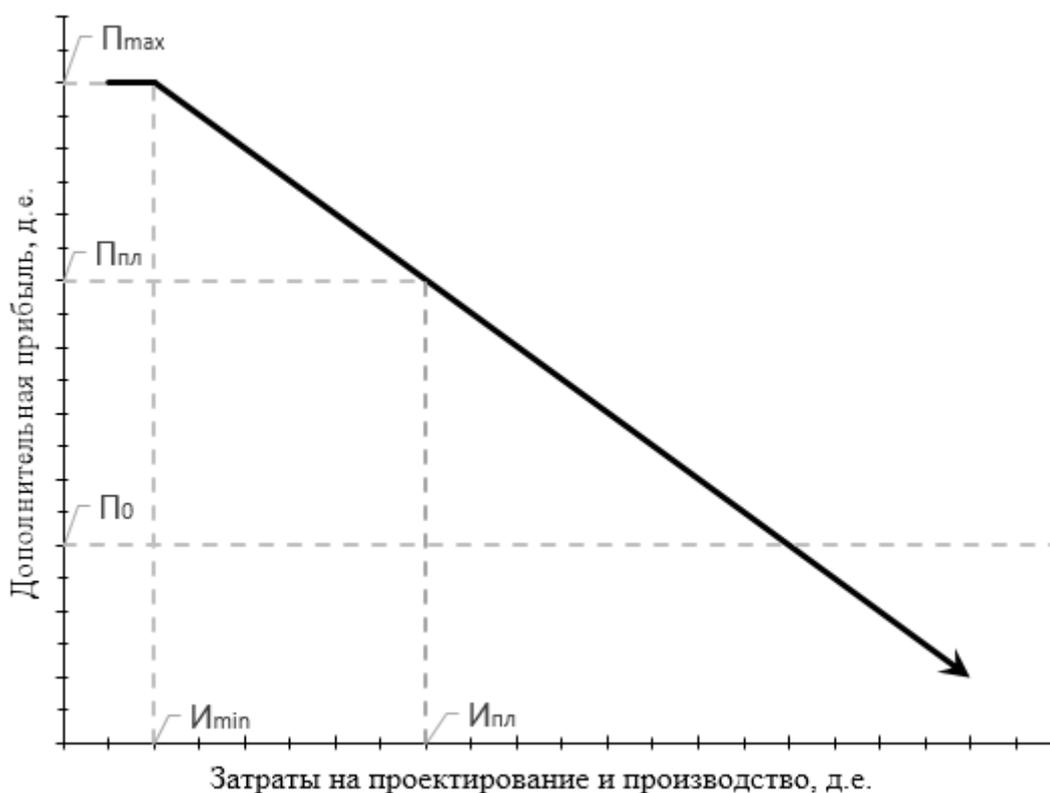


Рисунок 1.19 – Модель оценки эффективности этапов проектирования и производства, описывающая зависимость дополнительной прибыли от затрат на проектирование и производство при негативных процентных выплатах

Стимулирование абсолютной экономии затрат на проектирование и производство изготовителя приведет к тому, что ее доля в экономии может достигать максимума, т.е. 100 %.

Контракты с пределом стоимости предпочтительнее по финансовым причинам для изготовителя: изготовитель претендует на 100-процентное возмещение затрат на проектирование и производство. В случае контрактов с вариацией изготовитель может претендовать только на 80 %.

Контракт жизненного цикла наукоемких изделий с риск-разделенным партнерством при взаимодействии изготовителя с потребителем предусматривающий ограничение изготовителя «жесткими рамками» планируемых затрат на проектирование, производство и эксплуатацию должен

содержать в качестве инструмента стимулирования прибыль, *предусмотренную технико-тактическими показателями заказа.*

1.7 Модель конструирования стоимости контракта жизненного цикла с «возмещением затрат на проектирование и производство» с многократной дополнительной прибылью

Конструирование стоимости со стимулированием многократной дополнительной прибыли является более сложным, учитывающим не только получение максимальной прибыли изготовителем за счет экономии затрат на проектирование и производство, но и достижение технико-тактических показателей на этапах проектирования и производства, выполнение срока поставки изделия, срока поставки материально-технического обеспечения и достижение коэффициента готовности изделия на этапе эксплуатации [15].

Важным условием в контрактах с многократной дополнительной прибылью является то, что максимальная стоимость контракта не должна учитываться при обсуждении стимулов по поставкам и достижению технических показателей.

Цель построения модели контракта с дополнительной многократной прибылью – это получение изготовителем максимальной прибыли по всем статьям контракта.

Достижение данной цели возможно при условии определения объективных критериев стимулирования, а также диапазона их результативности.

Структура параметров модели контракта многократной дополнительной прибыли должна быть построена так, чтобы изготовитель в случае невозможности достичь максимальной дополнительной прибыли по всем показателям контракта, мог достигать ее по разным показателям: отдельно по затратам на проектирование и производство, отдельно по достижению технико-тактических показателей на этапах проектирования и производства,

отдельно по сроку поставки изделия, отдельно по сроку поставки МТО, отдельно по достижению коэффициента готовности. Такое взаимодействие изготовителя и потребителя по для достижения максимальной дополнительной прибыли должно быть согласовано.

Соответственно модель контракта многократной дополнительной прибыли должна включать все возможные варианты выполнения и перевыполнения одного или нескольких параметров, направленные на достижения максимальной прибыли. Модель должна включать оценку результата выполнения требований потребителя для каждого возможного варианта и оценку дополнительной прибыли изготовителя в соответствии с достигнутыми результатами. Такой подход обеспечит реализацию целей потребителя и получение возможной максимальной прибыли изготовителем.

В случае, если полученная дополнительная прибыль и выплачиваемый штраф многократно превышают плановую прибыль, то изготовитель может обанкротиться.

1.7.1 Закономерности стимулирования затрат на проектирование и производство модели контракта жизненного цикла с «возмещением затрат на производство» и основные параметры стимулов многократной дополнительной прибыли

Приведем основные параметры модели контракта жизненного цикла изделий:

- плановые затраты на проектирование и производство;
- плановые выплаты (прибыль плановая);
- риск-разделенное взаимодействие изготовителя и потребителя при превышении плановых затрат на проектирование и производство и при экономии;
- максимальные дополнительная прибыль;
- минимальные дополнительная прибыль;

- веса стимулирующих критериев:

- затраты плановые \pm величина отклонения от плана;

- срок поставки изделия плановый \pm величина отклонения от плана;

- технические достижения \pm величина отклонения от плана.

Для анализа модели контракта многократной дополнительной прибыли важно обратить внимание на плановую и дополнительную максимальную и минимальную прибыль. Плановая прибыль выплачивается изготовителю в случае даже, если ему не удастся достичь ни одного из параметров модели контракта. То есть, когда цена заказа достигает верхнего предела, то стимулирование затрат на проектирование и производство прекращается, плановую прибыль можно считать фиксированной, она выплачивается в любом случае.

Диапазоны стимулирования основных параметров модели контракта жизненного цикла на этапах проектирования и производства представим в виде матрицы:

$$П = \begin{vmatrix} Z_{пл} - z & Z_{пл} & Z_{пл} + z \\ C_{пл} - c & C_{пл} & C_{пл} + c \\ T_{пл} + t & T_{пл} & T_{пл} - t \end{vmatrix}, \quad (1.7)$$

где z^{\pm} – это величина дополнительной прибыли, чтобы получить которую изготовитель должен увеличить/снизить плановые затраты на проектирование и производство, чтобы получить минимальную/максимальную прибыль;

c^{\pm} – это величина дополнительной прибыли, чтобы получить которую изготовитель должен увеличить/сократить плановый срок поставки изделия покупателю, чтобы получить минимальную/максимальную прибыль;

t^{\pm} – это величина дополнительной прибыли, чтобы получить которую изготовитель должен увеличить/уменьшить значение планового технического показателя изделия, чтобы получить максимальную/минимальную прибыль.

Модель КЖЦ многократной дополнительной прибыли, описывающая зависимость дополнительной прибыли от затрат на проектирование и производство, от результата по сроку поставки, от обеспечения уровня технических показателей представлена на рисунке 1.20 [1].

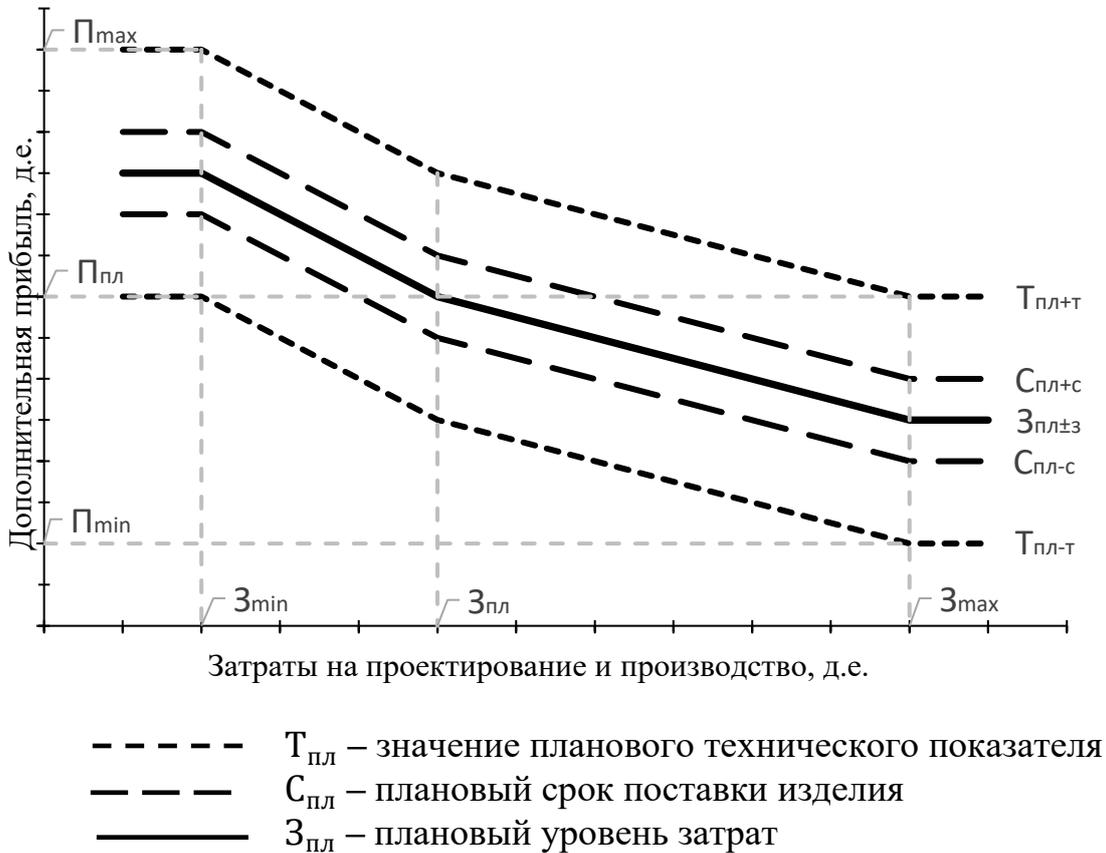


Рисунок 1.20 - Модель оценки эффективности этапов проектирования и производства с многократной дополнительной прибылью

Тогда, стоимость контракта жизненного цикла многократного поощрения между максимальной и минимальной прибылью имеет следующий вид:

$$Ц_{КЖЦМП} = Z_{\phi} + P_{пл} + D_{изг} \times (Z_{пл} - Z_{\phi}) \pm СП \pm ТП, \quad (1.8)$$

где - $Ц_{КЖЦМП}$ – стоимость контракта жизненного цикла многократной дополнительной прибыли;

- Z_{ϕ} – затраты фактические;
- $P_{пл}$ – прибыль плановая;
- $D_{изг}$ – доля изготовителя при взаимодействии с потребителем (дополнительная прибыль или штраф);
- СП – результат по выполнению срока поставки (дополнительная прибыль или штраф);
- ТП – результат по обеспечению достижения технических показателей (дополнительная прибыль или штраф).

Аналогичные расчеты делаются и для максимальной прибыли.

Все стимулы многократной дополнительной прибыли, представленные в формуле 1.8, симметричны. То есть дополнительная прибыль, добавляемая к плановой (в направлении максимальной), аналогична штрафам, вычитаемым из плановой (в направлении минимальной).

Симметричная матрица многократной дополнительной прибыли модели контракта жизненного цикла с «возмещением затрат на проектирование и производство»:

$$\Pi = \begin{vmatrix} z^{\pm} & \pm Z_{пл} + z_{пл} - z^{\pm} & \pm Z_{пл} + z_{пл} + 2 \times z^{\pm} \\ c^{\pm} & \pm C_{пл} + c_{пл} - c^{\pm} & \pm C_{пл} + c_{пл} + 2 \times c^{\pm} \\ T^{\pm} & \pm T_{пл} + t_{пл} - T^{\pm} & \pm T_{пл} + t_{пл} + 2 \times T^{\pm} \\ \Pi_{min} & \Pi_{min} & \Pi_{min} \end{vmatrix} \quad (1.9)$$

Ассиметричная матрица многократной дополнительной прибыли модели контракта жизненного цикла с «возмещением затрат на проектирование и производство»:

$$\Pi = \begin{vmatrix} z^+, z^- & \pm Z_{пл} + z_{пл} - z^- & \pm Z_{пл} + z_{пл} + z^+ \\ c^+, c^- & \pm C_{пл} + c_{пл} - c^- & \pm C_{пл} + c_{пл} + c^+ \\ T^+, T^- & \pm T + t_{пл} - T^- & \pm T_{пл} + t_{пл} + T^+ \end{vmatrix} \quad (1.10)$$

Описанные закономерности применимы на этапах проектирования и производства, они не распространяются и не имеют продолжения на этапе

эксплуатации изделий. Таким образом, приведенные модели КЖЦ являются не полными, описывают только стоимость приобретения изделия, которая включает исследование и обоснование разработки, разработку и производство.

Необходимо установить закономерности стимулирования затрат на поддержание основных параметров наукоемких изделий на самом дорогостоящем этапе ЖЦ – этапе эксплуатации, оцениваемые совокупностью показателей, определяемых обслуживающими подсистемами САПР. Тогда модель КЖЦ наукоемких изделий будет выглядеть следующим образом (рисунок 1.21).



Рисунок – 1.21 Структура модели оценки эффективности жизненного цикла наукоемких изделий

Диапазоны стимулирования основных параметров модели контракта жизненного цикла на этапе эксплуатации представим в виде матрицы:

$$\Pi = \begin{vmatrix} Z_{\text{ТОиРпл}} - Z_{\text{ТОиР}} & Z_{\text{ТОиРпл}} & Z_{\text{ТОиРпл}} + Z_{\text{ТОиР}} \\ C_{\text{МТОпл}} - C_{\text{МТО}} & C_{\text{МТОпл}} & C_{\text{МТОпл}} + C_{\text{МТО}} \\ K_{\text{ГОТпл}} + K & K_{\text{ГОТпл}} & K_{\text{ГОТпл}} - K \end{vmatrix} \quad (1.11)$$

Симметричная матрица многократной дополнительной прибыли модели контракта жизненного цикла с «возмещением затрат на проектирование и производство» на этапе эксплуатации:

$$\Pi = \begin{vmatrix} Z_{\text{ТОиР}}^{\pm} & \pm Z_{\text{ТОиРпл}} + Z_{\text{ТОиРпл}} - Z_{\text{ТОиР}}^{\pm} & \pm Z_{\text{ТОиРпл}} + Z_{\text{ТОиРпл}} + 2 \times Z_{\text{ТОиР}}^{\pm} \\ C_{\text{МТО}}^{\pm} & \pm C_{\text{МТОпл}} + C_{\text{МТОпл}} - C_{\text{МТО}}^{\pm} & \pm C_{\text{МТОпл}} + C_{\text{МТОпл}} + 2 \times C_{\text{МТО}}^{\pm} \\ K_{\text{ГОТ}}^{\pm} & \pm K_{\text{ГОТпл}} + K_{\text{ГОТпл}} - K_{\text{ГОТ}}^{\pm} & \pm K_{\text{ГОТпл}} + K_{\text{ГОТпл}} + 2 \times K_{\text{ГОТ}}^{\pm} \\ P_{\min} & P_{\min} & P_{\min} \end{vmatrix} \quad (1.12)$$

Стимулирование затрат на проектирование и производство находится в пределах от плановых затрат к максимальной дополнительной прибыли и максимальному штрафу. Стимулирование поставки лежит в диапазоне от планового срока к максимальной дополнительной прибыли и максимальному штрафу; диапазон действия технических показателей – от плановых технико-тактических показателей к максимальной дополнительной прибыли и максимальному штрафу. Поскольку стимулы симметричны, матрица многократной дополнительной прибыли упрощается и отражает сдвиг на ту сумму, которая может быть добавлена или вычтена из плановой прибыли.

Если стимулы асимметричны, то соответствующая им матрица может служить различным целям.

Как происходит наложение несимметричного диапазона действия параметров-стимулов, например, если принято решение не менять веса двух последних параметров-стимулов, а также установить штраф для нижней границы стимула затрат.

Ассиметричная матрица многократной дополнительной прибыли модели контракта жизненного цикла с «возмещением затрат на проектирование и производство» на этапе эксплуатации:

$$\Pi = \begin{vmatrix} Z_{\text{ТОиРпл}} + Z_{1\text{ТОиР}} - Z_{2\text{ТОиР}} & Z_{\text{ТОиРпл}} + Z_{1\text{ТОиР}} & (Z_{\text{ТОиРпл}} + Z_{1\text{ТОиР}}) - P_{\text{пл}} & Z_{1\text{ТОиР}} + Z_{2\text{ТОиР}} \\ C_{\text{МТОпл}} + C_{1\text{МТО}} - C_{2\text{МТО}} & C_{\text{МТОпл}} + C_{1\text{МТО}} & (C_{\text{МТОпл}} + C_{1\text{ТОиР}}) - P_{\text{пл}} & C_{1\text{МТО}} + C_{2\text{МТО}} \\ K_{\text{ГОТпл}} + K_{1\text{ГОТ}} - K_{2\text{ГОТ}} & K_{\text{ГОТпл}} + K_{1\text{МТО}} & (K_{\text{ГОТпл}} + K_{1\text{ГОТ}}) - P_{\text{пл}} & K_{1\text{ГОТ}} + K_{2\text{ГОТ}} \end{vmatrix}, \quad (1.13)$$

где $- Z_{\text{ТОиР}}^{\pm}$ – это величина, на которую изготовитель должен увеличить/снизить плановые затраты на ТОиР, чтобы получить минимальную/максимальную прибыль;

- $C_{\text{МТО}}^{\pm}$ – это величина, на которую изготовитель должен увеличить/сократить плановый срок поставки МТО потребителю, чтобы получить минимальную/максимальную прибыль;

- $K_{\text{ГОТ}}^{\pm}$ – это величина, на которую изготовитель должен увеличить/уменьшить значение планового коэффициента готовности изделия, чтобы получить максимальную/минимальную прибыль.

Тогда, стоимость контракта жизненного цикла многократной дополнительной прибыли между ее максимальным и минимальным значениями имеет следующий вид:

$$\Pi_{\text{КЖЦМП}} = Z_{\text{ф}} + P_{\text{пл}} + D_{\text{изг}} \times (Z_{\text{пл}} - Z_{\text{ф}}) \pm C_{\text{изд}} \pm T + Z_{\text{ТОиРф}} + P_{\text{пл}} + D_{\text{изг}} \times (Z_{\text{ТОиРпл}} - Z_{\text{ТОиРф}}) \pm C_{\text{МТО}} \pm K_{\text{ГОТ}}, \quad (1.14)$$

где $- \Pi_{\text{КЖЦМП}}$ – стоимость контракта жизненного цикла многократного поощрения;

- $Z_{\text{пл}}$ – затраты на проектирование и производство плановые;

- $Z_{\text{ф}}$ – затраты на проектирование и производство фактические;

- $P_{\text{пл}}$ – прибыль плановая;

- $D_{\text{изг}}$ – доля изготовителя при взаимодействии с потребителем (дополнительная прибыль или штраф);

- C – результат по выполнению срока поставки (дополнительная прибыль или штраф);

- T – результат по обеспечению достижения технических показателей (дополнительная прибыль или штраф);

- $Z_{\text{ТОиРпл}}$ – затраты плановые на ТОиР;
- $Z_{\text{ТОиРф}}$ – затраты плановые на ТОиР;
- $C_{\text{МТО}}$ – результат по выполнению срока поставки (дополнительная прибыль или штраф);

$K_{\text{ГОТ}}$ – результат по выполнению срока поставки (дополнительная прибыль или штраф).

На основе изложенного выше обоснована необходимость интеграции этапа эксплуатации в модель КЖЦ наукоемких изделий.

Диапазоны стимулирования основных параметров модели контракта жизненного цикла на этапах проектирования, производства и эксплуатации представим в виде матрицы:

$$\Pi = \begin{vmatrix} Z_{\text{пл}} - z & Z_{\text{пл}} & Z_{\text{пл}} + z \\ C_{\text{пл}} - c & C_{\text{пл}} & C_{\text{пл}} + c \\ T_{\text{пл}} + t & T_{\text{пл}} & T_{\text{пл}} - t \\ Z_{\text{ТОиРпл}} - Z_{\text{ТОиР}} & Z_{\text{ТОиРпл}} & Z_{\text{ТОиРпл}} + Z_{\text{ТОиР}} \\ C_{\text{МТОпл}} - C_{\text{МТО}} & C_{\text{МТОпл}} & C_{\text{МТОпл}} + C_{\text{МТО}} \\ K_{\text{ГОТпл}} + k & K_{\text{ГОТпл}} & K_{\text{ГОТпл}} - k \end{vmatrix} \quad (1.15)$$

Симметричная матрица многократной дополнительной прибыли модели контракта жизненного цикла с «возмещением затрат на проектирование и производство» на этапах проектирования, производства и эксплуатации:

$$\Pi = \begin{vmatrix} z^{\pm} & \pm Z_{\text{пл}} + z_{\text{пл}} - z^{\pm} & \pm Z_{\text{пл}} + z_{\text{пл}} + 2 \times z^{\pm} \\ c^{\pm} & \pm C_{\text{пл}} + c_{\text{пл}} - c^{\pm} & \pm C_{\text{пл}} + c_{\text{пл}} + 2 \times c^{\pm} \\ t^{\pm} & \pm T_{\text{пл}} + t_{\text{пл}} - t^{\pm} & \pm T_{\text{пл}} + t_{\text{пл}} + 2 \times t^{\pm} \\ Z_{\text{ТОиР}}^{\pm} & \pm Z_{\text{ТОиРпл}} + Z_{\text{ТОиРпл}} - Z_{\text{ТОиР}}^{\pm} & \pm Z_{\text{ТОиРпл}} + Z_{\text{ТОиРпл}} + 2 \times Z_{\text{ТОиР}}^{\pm} \\ C_{\text{МТО}}^{\pm} & \pm C_{\text{МТОпл}} + C_{\text{МТОпл}} - C_{\text{МТО}}^{\pm} & \pm C_{\text{МТОпл}} + C_{\text{МТОпл}} + 2 \times C_{\text{МТО}}^{\pm} \\ K_{\text{ГОТ}}^{\pm} & \pm K_{\text{ГОТпл}} + K_{\text{ГОТпл}} - K_{\text{ГОТ}}^{\pm} & \pm K_{\text{ГОТпл}} + K_{\text{ГОТпл}} + 2 \times K_{\text{ГОТ}}^{\pm} \end{vmatrix} \quad (1.16)$$

Ассиметричная матрица многократной дополнительной прибыли модели контракта жизненного цикла с «возмещением затрат на

проектирование и производство» на этапах проектирования, производства и эксплуатации:

$$\Pi = \begin{vmatrix}
 & z^+, z^- & & \pm Z_{пл} + z_{пл} - z^- & & \pm Z_{пл} + z_{пл} + z^+ \\
 & c^+, c^- & & \pm C_{пл} + c_{пл} - c^- & & \pm C_{пл} + c_{пл} + c^+ \\
 & T^+, T^- & & \pm T + T_{пл} - T^- & & \pm T_{пл} + T_{пл} + T^+ \\
 Z_{ТОиРпл} + z_{1ТОиР} - z_{2ТОиР} & & Z_{ТОиРпл} + z_{1ТОиР} & (Z_{ТОиРпл} + z_{1ТОиР}) - P_{пл} & z_{1ТОиР} + z_{2ТОиР} & \\
 C_{МТОпл} + c_{1МТО} - c_{2МТО} & & C_{МТОпл} + c_{1МТО} & (C_{МТОпл} + c_{1МТО}) - P_{пл} & c_{1МТО} + c_{2МТО} & \\
 K_{ГОТпл} + k_{1ГОТ} - k_{2ГОТ} & & K_{ГОТпл} + k_{1МТО} & (K_{ГОТпл} + k_{1ГОТ}) - P_{пл} & k_{1ГОТ} + k_{2ГОТ} &
 \end{vmatrix} \quad (1.17)$$

Таким образом, разработана структура модели оценки эффективности жизненного цикла наукоемких изделий, включающая этапы проектирования, производства, эксплуатации, что позволит повысить эффективность функционирования САПР в интегрированной информационной среде взаимодействия изготовителя и потребителя наукоемких изделий. Для реализации механизма разработанной модели необходимо создание «правил», «последовательностей» регламентирующих и автоматизирующих взаимодействие изготовителя с потребителем.

1.8 Выводы по первой главе

Обоснована необходимость интеграции этапа эксплуатации в модель контракта жизненного цикла изделия.

Дано понятие модели оценки эффективности ЖЦ наукоемких изделий, отличающейся использованием в общей архитектуре САПР интегрированных средств управления проектными работами.

Описаны закономерности стимулирования затрат на проектирование и производство и основные параметры при симметричных и ассиметричных пропорциях распределения долей в группе контрактов с «возмещением затрат на проектирование и производство плюс дополнительная прибыль».

Выявлены закономерности стимулирования затрат на проектирование и производство наукоемких изделий на основе модели контракта жизненного цикла с «возмещением затрат на проектирование и производство» и основные параметры стимулов многократной дополнительной прибыли.

Приведенные закономерности адаптированы к этапу эксплуатации жизненного цикла наукоемких изделий, оцениваемые совокупностью показателей, определяемых обслуживающими подсистемами САПР.

На основе полученных результатов разработана структура модели оценки эффективности жизненного цикла наукоемких изделий, включающая этапы проектирования, производства, эксплуатации, что позволяет повысить эффективность функционирования САПР в интегрированной информационной среде.

2 Исследование эффективности разработанной модели функционирования САПР

Минимизировать общую стоимость жизненного цикла изделия, и в частности, на этапе эксплуатации, с условием поддержания необходимого уровня его технической готовности является главной совместной задачей изготовителя и потребителя в рамках модели контрактов жизненного цикла.

Такую задачу позволяют решить технологии интегрированной логистической поддержки изделия, использование которой на отечественных предприятиях, в последнее время все более востребовано, в связи с выходом продукции на внешние рынки с высокими требованиями, основанными на международных стандартах.

Основополагающим инструментом ИЛП является анализ логистической поддержки, представляющий собой формализованную технологию всестороннего исследования как самого изделия, так и вариантов системы его эксплуатации и обслуживания. Информация об изделии, исходные данные и результаты АЛП хранятся в специализированной базе данных анализа логистической поддержки, структура которой утверждена согласно ГОСТ Р 57105-2016.

Рассмотрим методы, используемые в АЛП, для получения сведений необходимых при расчете предварительной оценки уровня технической готовности изделия и предварительной стоимости изделия в соответствии с [16].

2.1 Количественный анализ критичности отказов

Эффективность функционирования САПР определяется уже на заключительных стадиях разработки изделия при информационном взаимодействии изготовителя и потребителя.

Количественный анализ обеспечивает присвоение каждому виду отказов элементов структуры изделия приоритетов корректирующих и компенсирующих действий в зависимости от категории тяжести последствий отказов и рассчитанного числа критичности, а также в упорядочение элементов логической структуры изделия по значениям этих чисел (таблица 2.1) [16].

Таблица 2.1 – Характеристики количественного анализа критичности отказов

	Элемент логической структуры изделия	Вид отказа		
Характеристики количественного анализа	λ_i – интенсивность отказов i -го элемента, 1/ед. наработки (часов, дней, лет)	α_{ij} – доля j -го вида отказа i -го элемента		
		при условии наличия у элемента описания одного вида отказа, $\alpha_{ij}=0$	при условии, если элемент имеет описания ряда видов отказов, необходимо осуществление требования $\sum_{j=1}^J \alpha_{ij} = 1$, где J – количество видов отказов элемента	при условии, если $\sum_{j=1}^J \alpha_{ij} < 1$, то отсутствует описание всех возможных видов отказа элемента.
		β_{ij}^K – вероятность возникновения последствия K -й категории тяжести для j -го вида отказа i -го элемента ($K=1, 2, 3, 4$ – категория, назначенная j -му виду отказа)		
		$Ст_{ij}^K$ – число критичности j -го вида отказа i -го элемента логической структуры изделия*: $Ст_{ij}^K = \beta_{ij}^K \cdot \alpha_{ij} \cdot \lambda_i \cdot (T_{работы})_i, \quad (2.1)$ где $Ст_{ij}^K$ – число критичности j -го вида отказа i -го элемента K -й (наихудшей) категории тяжести последствий; $(T_{работы})_i$ – наработка i -го элемента. *Значение $Ст_{ij}^K$ соответствует количеству отказов j -го вида i -го элемента изделия, которые приводят к K -й (наихудшей) категории тяжести последствий, возникающее за наработку $(T_{работы})_i$		

Виды отказов распределяются по матрице критичности для определения приоритетов отказов. Матрица представляет собой пересечение значений категорий по горизонтальной оси с числом критичности видов отказов по вертикальной оси. У высоконадежных элементов значения критичности достаточно малы, поэтому для определения используется относительная величина – относительное число критичности вида отказа P_{ij} , которое рассчитывается по формуле [16]:

$$P_{ij} = \frac{Cm_{ij}^K}{\lambda_{И} \cdot T_{миссии}}, \quad (2.2)$$

где Cm_{ij}^K – число критичности i -го вида отказа i -го элемента, определенное по формуле (2.1);

$\lambda_{И}$ – интенсивность отказов изделия, 1/ед. наработки;

$T_{миссии}$ – наработка изделия, ед. наработки.

На рисунке 2.1 изображена матрица критичности.

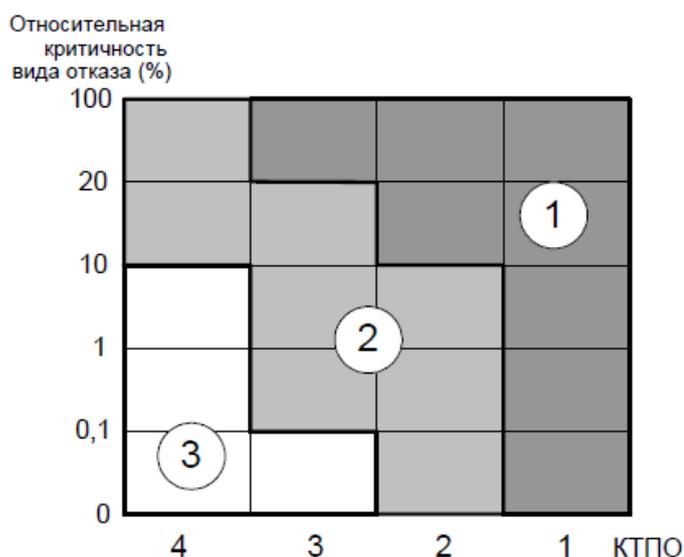


Рисунок 2.1 – Матрица критичности для количественного анализа [16]

На матрице аналитик, проводящий АВПКО, определяют области равных приоритетов для каждого изделия индивидуально. Вертикальная ось представляет собой непрерывную шкалу относительных чисел критичности.

Приоритет корректирующих и компенсирующих действий имеет градацию: 1 – высокий, 2 – средний, 3 – низкий, градация приоритета назначается виду отказа посредством попадания вида отказа в соответствующую область (таблица 2.2) [16].

Таблица 2.2 – Градация приоритета корректирующих и компенсирующих действий

	1-й приоритет	2-й приоритет	3-й приоритет
Вид отказа по приоритету	Обязательное изменение конструкции с целью устранения критичного вида отказа или снижения тяжести его последствий (понижения приоритета)	Требует доработки с целью повышения надежности или нуждаются в разработке программы планово-профилактического обслуживания на этапе эксплуатации	Требуют профилактического обслуживания на этапе эксплуатации

Для каждой классификации тяжести последствий отказов (КТПО) используются ранжирования элементов изделия по критичности, т.е. для -го элемента определяются четыре числа критичности: $(Cr1)_i$; $(Cr2)_i$; $(Cr3)_i$; $(Cr4)_i$, которые представляют собой сумму чисел критичности видов отказов элемента, относящихся к определенной КТПО [16]:

$$(Cr1)_i = \sum_{j=1}^{N_1} Cm_{ij}^1; \quad (Cr2)_i = \sum_{j=1}^{N_2} Cm_{ij}^2; \quad (2.3)$$

$$(Cr3)_i = \sum_{j=1}^{N_3} Cm_{ij}^3; \quad (Cr4)_i = \sum_{j=1}^{N_4} Cm_{ij}^4;$$

где $Cm_{ij}^1, Cm_{ij}^2, Cm_{ij}^3, Cm_{ij}^4$ - числа критичности j -го вида отказа i -го элемента изделия относящегося к 1, 2, 3, 4 категории тяжести последствий (рассчитываются по формуле (2.1));

j – порядковый номер вида отказа элемента, относящегося к 1, 2, 3, 4 категории тяжести последствий;

N_1, N_2, N_3, N_4 , – количество видов отказов j -го элемента, относящихся к 1, 2, 3, 4 категории тяжести последствий.

Если с элементом не связаны виды отказов с КТПО = K , то $(CrK)_i = 0$ при $K= 1$ или 2, или 3, или 4.

В расчетах вместо величин Cm_{ij}^K могут использоваться относительные значения, определяемые по формуле (2.2). Ранжирование как упорядочение элементов по критичности осуществляется по трем параметрам [16]:

Таблица 2.3 – Упорядочение элементов по критичности

Вид отказа по приоритету	КТПО	Число критичности элемента
1	1	По убыванию числа критичности
1	2	По убыванию числа критичности, и далее – по убыванию приоритета и КТПО

Упорядочение элементов по критичности необходимо для использования на этапе проектирования в ЖЦ с целью повышения эффективности функционирования САПР. Данная операция позволит определить очередность внесения изменений в конструкцию с целью повышения уровня коэффициента готовности, а также планировать ТО изделия с выделением конкретных частей, которым это более приоритетно на этапе эксплуатации.

2.2 Расчет периодичности обслуживания

Взаимодействие изготовителя и потребителя должно обеспечивать

определение периодичности работ по ТО $t_{\text{пр}}$ изделия, его основных систем, агрегатов и узлов, при которой вероятность безотказной работы этих систем, агрегатов и узлов будет не менее заданной величины $P_0 < 1$. Значение P_0 определяется на основании КТПО, присвоенной видам отказов элемента в процессе АВПКО элементов изделия [16]:

Таблица 2.4 – Вероятность безотказной работы элементов изделия

КТПО вида отказов	P_0
1	0,99-0,999
2	0,99-0,999
3	< 0,99
4	< 0,99

Пусть в изделии имеется элемент с определенными отказами. Поток отказов – простейший (пуассоновский) с параметром (интенсивностью) λ . Средняя наработка на отказ [16]:

$$t_{\text{ср}} = \frac{1}{\lambda} \quad (2.4)$$

Единицы измерения: календарное время, часы налета (для самолетов), километры пробега (для наземных транспортных средств), рабочие циклы и др.

Для пуассоновского потока отказов распределение времени между отказами – показательное (таблица 2.5) [16]:

Таблица 2.5 – Показатели распределения времени между отказами

Показатели	Формула расчета
Плотность вероятности	$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}$ (2.5)
Вероятность отказа к моменту времени $t_{\text{пр}}$	$Q(t_{\text{пр}}) = (1 - e^{-\lambda t_{\text{пр}}})$ (2.6)
Вероятность безотказной работы	$P(t_{\text{пр}}) = e^{-\lambda t_{\text{пр}}}$ (2.7)

Работоспособность элемента полностью восстанавливается за счет обслуживания, ремонта или замены на новый через некоторое время t_{np} и начинается новый отсчет эксплуатационного ресурса.

2.2.1 Определение интервала периодичности работ между ТО

В процессе эксплуатации изделия происходит изменение вероятности Q отказа (рисунок 2.2).

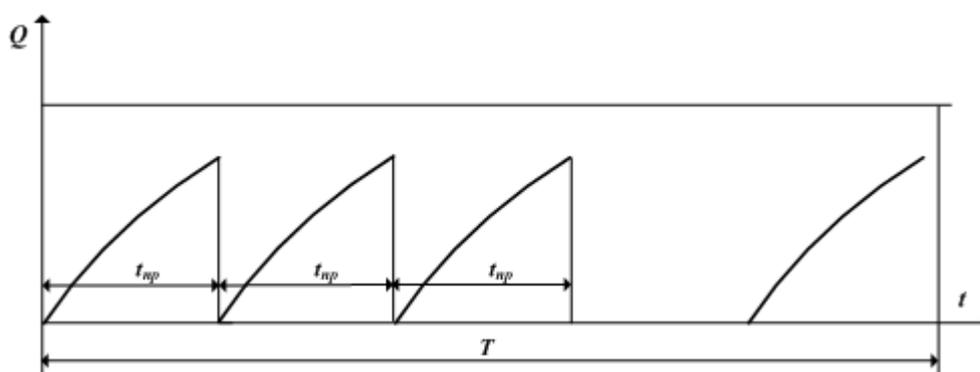


Рисунок 2.2 – График изменения вероятности отказа [16]

Вероятность Q отказа может определяться следующими показателями:

Таблица 2.6 – Показатели вероятности отказов

Показатели	Условие	Формула расчета
1	2	3
Заданная вероятность безотказной работы элемента P_0	-	$\frac{t_{np}}{t_{cp}} \leq -\ln P_0 \quad (2.8)$
	$P(t_{np}) = e^{-\lambda t_{np}} \geq P_0$	
Средняя вероятность отказа на достаточно продолжительном интервале времени	$T \gg t_{np}$	$\tilde{Q} = \frac{1}{T} \left(\left[\frac{T}{t_{np}} \right] \int_0^{t_{np}} (1 - e^{-\lambda t}) dt + \delta \right), \quad (2.9)$ где $\left[\frac{T}{t_{np}} \right]$ – целая часть, а δ – дробная часть отношения T/t_{np} .
	$\frac{T}{t_{np}} \gg 1$ и $\delta = 0$	$\tilde{Q} = 1 - \frac{t_{cp}}{t_{np}} \left(1 - e^{-\frac{t_{np}}{t_{cp}}} \right) \quad (2.10)$

Продолжение таблицы 2.6

1	2	3
Средняя вероятность безотказной работы	$[0, T]$	$\tilde{P} = \frac{t_{cp}}{t_{np}} \left(1 - e^{-\frac{t_{np}}{t_{cp}}} \right) \quad (2.11)$
Величина интервала t_{np} между ТО	-	$\frac{t_{cp}}{t_{np}} \leq 2(1 - P_0) \quad (2.12)$

Для выбора величины t_{np} можно пользоваться условиями, приведенными в таблице 2.7.

Таблица 2.7 – Величина t_{np} для практических расчетов

Условие	Формула расчета
КТПО = 1; 2	$t_{np} \geq -t_{cp} \ln(P_0)$
КТПО = 3; 4	$t_{np} \leq 2t_{cp}(1 - P_0)$

Приведенные в таблице данные используются при практических расчетах.

2.2.2 Совместное выполнение расчетов периодичности ТО и параметров МТО

Взаимодействие изготовителя с потребителем должно включать определение количества запчастей, необходимое для выполнения ТО на протяжении всего периода эксплуатации: начального МТО ($(A_{max})_{пл}$) и в процессе текущего МТО на протяжении планирования заказов ($Q_{пл}$). Приведем подход к определению общего количества запчастей для плановых работ и устранения случайных отказов (таблица 2.8) [16].

В большинстве случаев рассчитанное изготовителем для потребителя количество запчастей для планового ТОиР достаточно и для устранения случайно возникающих отказов. Такой подход к расчету объёма МТО

позволяет повысить вероятность безотказной работы компонента и, следовательно, снизить вероятность возникновения случайного отказа.

Таблица 2.8 – Определение общего количества запчастей для плановых работ и устранения случайных отказов по распределению Пуассона

Показатель	Формула расчета
Вероятность безотказной работы на интервале времени	$P_0(T) = e^{-\lambda T}, \quad (2.13)$ <p>где $[0, T]$; λ – интенсивность отказов, исчисляемая в принятых единицах измерения (например, $[\lambda] = 1/\text{ед. времени наработки}$ или $1/\text{ед. календарного времени}$)</p>
Интенсивность отказов	$\lambda_{\text{тр}} = -\frac{1}{T} \ln P_0(T) \approx \frac{1}{T} (1 - P_0) \quad (\text{при } P_0 \geq 0,9) \quad (2.14)$ <p>- если $\lambda_{\text{ф}} < \lambda_{\text{тр}}$, то не требуется ТО, а количество запасных частей для случайно возникающих отказов определено при $\lambda = \lambda_{\text{ф}}$; - если условие не выполняется, то компонент требует доработки конструкции с целью повышения надежности и уменьшения интенсивности отказов до приемлемой величины.</p>
Эквивалентная интенсивность отказов в период между ТО	$\lambda_{\text{экв}} = \lambda_{\text{тр}}, \quad (2.15)$ <p>где $\lambda_{\text{тр}}$ – требуемое значение интенсивности отказов, определяемое по формуле 4.21</p>
Количество запасных компонентов для плановых замен при неремонтируемом объекте и подлежащим замене при каждом ТО	$m_{\text{пл}} = \left(\frac{T_1}{t_{\text{пр}}} - 1 \right) \cdot n \quad (2.16)$
Полное количество запчастей для выполнения плановых и неплановых работ	<p>- если $(A_{\text{max}})_{\text{пл}} > 0$ и $Q_{\text{пл}} > 0$, то принимается $A_{\text{max}} = (A_{\text{max}})_{\text{пл}} + 1$ и $Q = Q_{\text{пл}} + 1$. Это означает, что для компонентов, подвергающихся заменам при ТО, количество запчастей для выполнения этих работ, увеличенное на 1, перекрывает возможную потребность в запчастях для устранения внезапно возникающих отказов.</p> <p>- если $(A_{\text{max}})_{\text{пл}} = 0$ (выполнение ТО не планируется или только в течение периода начального МТО), то принимается $A_{\text{max}} = (A_{\text{max}})_{\text{непл}}$.</p> <p>- если $Q_{\text{пл}} = 0$ (компонент не подвергается профилактическому обслуживанию), то $Q = Q_{\text{непл}}$.</p> <p>- $A_{\text{min}} = (A_{\text{min}})_{\text{непл}}$. Если $A_{\text{min}} = 0$, то рекомендуется принимать $A_{\text{min}} = 1$ (в случае отсутствия страхового запаса).</p>

При израсходовании запчастей из текущего запаса оперативно подается заявка на компенсирующее пополнение. Из условия $\lambda_{\phi} < \lambda_{\text{тр}}$ следует, что в плановых заменах не нуждаются высоконадежные компоненты и как следствие потребность для них в запчастях при устранении случайных отказов будет низкой (обычно для таких компонентов потребное количество запчастей для непланового ТОиР не превышает 1 даже при уровне риска $R < 0,001$).

Представленные расчеты корректны для компонентов с высокой вероятностью безотказной работы в процессе эксплуатации ($P_0 > 0,99$). При менее критичной надежности приведенные расчеты определения параметров МТО тоже могут использоваться в случае использования большего значения уровня риска [16].

Таким образом, задачу определения параметров МТО изготовитель и потребитель должны решать при взаимодействии еще на этапе проектирования изделия в комплексе с другими задачами по повышению надежности. Такой подход решит задачу повышения эффективности функционирования САПР и обеспечит его интеграцию в общую архитектуру автоматизированной среды проектирования, производства и эксплуатации.

2.3 Расчет стоимости жизненного цикла изделия

СЖЦ является важнейшим показателем для потребителя наукоемких изделий, характеризующим конкурентоспособность и поддерживаемость изделия. Взаимодействие изготовителя и потребителя наукоемких изделий должно быть направлено на минимизацию СЖЦ.

СЖЦ изделия включает затраты на этапы проектирования производства и эксплуатации.

Изготовление нового изделия, его изменение или усовершенствование должно быть оценено с точки зрения СЖЦ для определения экономической целесообразности и обоснования необходимых затрат. Сравнение СЖЦ при существующих и при измененных условиях на этапе эксплуатации позволяет

оценить срок окупаемости затрат за счет снижения стоимости и отклонить те изменения, которые не дают значительных преимуществ по СЖЦ еще на этапе проектирования.

СЖЦ изделия включает в себя затраты на приобретение и эксплуатацию изделия.

Затраты на этапе эксплуатации включают:

- 1) Затраты на персонал.
- 2) Затраты на расходные материалы.
- 3) Затраты на запасные части.
- 4) Затраты на наземное оборудование, в том числе:
 - 4.1) Затраты на специальное наземное оборудование.
 - 4.2) Затраты на стандартное наземное оборудование.
- 5) Затраты на инфраструктуру.

Следует учитывать регламентные работы, замены агрегатов (плановые и по выработке ресурса), устранение неисправностей – процедуры обслуживания. Исходными данными для расчета являются сведения обо всех видах ресурсов, необходимых для выполнения задач обслуживания [16].

2.3.1 Расчет затрат на персонал

Согласно методике разработанной Е. В. Судовым в рамках этой статьи затрат рассчитываются следующие показатели: «Трудозатраты $T_i^{\text{год}}$ (ч-час) по каждой специальности, необходимые для обслуживания системы одного самолета в год:

$$T_i^{\text{год}} = \frac{\sum_{k=1}^K (T_{ik} \cdot G_k)}{60}, \quad (2.17)$$

где K – количество задач обслуживания системы;

G_k – количество выполнений k -й задачи в год (шт);

T_{ik} – занятость i -ой специальности в k -ой задаче (ч-мин), которая рассчитывается как сумма занятостей исполнителей i -ой специальности, требуемых для выполнения k -ой задачи, по следующей формуле:

$$T_{ik} = \sum_{r=1}^{R_k^i} (t_{ik})_r, \quad (2.18)$$

где $(t_{ik})_r$ – занятость r -ого исполнителя i -ой специальности при выполнении k -ой задачи обслуживания;

R_k^i – количество исполнителей i -ой специальности, требуемых для выполнения k -й задачи ($r= 1 \dots R_k^i$);

i – номер специальности ($i= 1 \dots I$), для которой рассчитываются трудозатраты.

При расчете трудозатрат каждой специальности нужно учитывать также исполнителей, требуемых для выполнения подзадач, на которые ссылаются шаги задачи обслуживания. Все подобные ссылки должны рассматриваться на всю глубину вложенности.

Затраты на персонал, требуемый для обслуживания системы одного самолета в год, определяются по формуле:

$$S_n^{\text{год}} = \sum_{i=1}^I T_i^{\text{год}} \cdot S_i, \quad (2.19)$$

где $T_i^{\text{год}}$ – трудозатраты i -й специальности, необходимые для обслуживания системы самолета в год, рассчитываемые по формуле (2.17);

I – количество специальностей персонала, необходимого для выполнения задач обслуживания системы самолета;

S_i – стоимость нормо-часа специалиста i -й специальности (руб/час).

Суммарные затраты на персонал, необходимый для обслуживания системы одного самолета за расчетный период:

$$S_{n1} = S_n^{\text{год}} \cdot L, \quad (2.20)$$

где L – длительность расчетного периода (лет).

Суммарные затраты на персонал, необходимый для обслуживания системы для парка самолетов за расчетный период:

$$S_{nn} = S_{n1} \cdot N, \quad (2.21)$$

где N – количество самолетов в парке.

Удельные затраты на персонал, необходимый для обслуживания системы, на единицу ее наработки:

$$S_n^{уд} = \frac{S_n^{год}}{t_{год}}, \quad (2.22)$$

где $t_{год}$ – средняя наработка системы в год (ед. наработки)» [16].

2.3.2 Расчет затрат на расходные материалы

Согласно методике разработанной Е.В. Судовым в рамках данной статьи расходов рассчитываются следующие показатели: «Нужно вычислить количество j -го вида расходного материала, необходимого для выполнения всех работ в год на одной системе одного самолета, которое определяется по формуле:

$$R_{mj}^{год} = \sum_{k=1}^K R_{mj}^k \cdot G_k, \quad (2.23)$$

где R_{mj}^k – количество j -го расходного материала, необходимое для одного выполнения k -той задачи;

G_k – среднее количество выполнений k -ой задачи в год;

j – вид расходного материала ($j = 1 \dots J$).

Суммарные затраты на расходные материалы, необходимые для обслуживания системы одного самолета за один год, вычисляются по формуле:

$$S_m^{\text{год}} = \sum_{j=1}^J R_{mj}^{\text{год}} \cdot S_j, \quad (2.24)$$

где $R_{mj}^{\text{год}}$ – количество j -го вида расходного материала, необходимого для выполнения всех задач в год на системе одного самолета, определяемое по формуле (2.23);

S_j – стоимость одной единицы j -го вида расходного материала;

J – количество видов расходных материалов.

Суммарные затраты на расходные материалы, необходимые для ТЭ системы одного самолета за расчетный период:

$$S_{m1} = S_m^{\text{год}} \cdot L \quad (2.25)$$

Суммарные затраты на расходные материалы, необходимые для обслуживания системы за расчетный период, по парку самолетов:

$$S_{mn} = S_{m1} \cdot N \quad (2.26)$$

Удельные затраты на расходные материалы, необходимые для обслуживания системы, на единицу наработки системы:

$$S_m^{\text{уд}} = \frac{S_m^{\text{год}}}{t_{\text{год}}}, \quad (2.27)$$

[16]»

2.3.3 Затраты на специальное наземное оборудование и инструмент

Согласно методике разработанной Е.В. Судовым: «Затраты на

специальное наземное оборудование и инструмент самолета складываются из затрат на специальное оборудование и инструмент, требующихся для выполнения задач обслуживания систем самолета.

Рассмотрим расчет затрат на специальное наземное оборудование и инструмент (далее, для краткости - спецоборудование) по одной системе самолета.

Суммарные затраты на спецоборудование f -го типа, применяемого для обслуживания системы:

$$S_{sp_f} = C_f \cdot K_{рек.f}, \quad (2.28)$$

где $K_{рек.f}$ – полное рекомендуемое количество единиц спецоборудования f -го типа, необходимого для обслуживания системы по парку самолетов;

C_f – цена f -го изделия.

Суммарные затраты на спецоборудование для обслуживания системы по парку самолетов вычисляются по формуле:

$$S_{sp_0} = K_{обсл} \sum_{f=1}^F S_{sp_f}, \quad (2.29)$$

где F – количество типов используемого спецоборудования;

$K_{обсл} > 1$ – коэффициент, отражающий затраты на обслуживание спецоборудования.

Затраты на спецоборудование для обслуживания системы, приходящиеся на один год по парку самолетов:

$$S_{sp1} = \frac{S_{sp_0}}{L_{sp}}, \quad (2.30)$$

где L_{sp} – средний срок службы комплекта спецоборудования, лет.

Затраты на спецоборудование на систему одного самолета в течение года:

$$S_{sp}^{год} = \frac{S_{sp1}}{N} \quad (2.31)$$

Затраты на расчетный период по парку самолетов:

$$S_{sp} = S_{sp1} \cdot L, \quad (2.32)$$

где L – продолжительность расчетного периода, лет.

Удельные затраты на специальное оборудование на единицу наработки системы:

$$S_{sp}^{уд} = \frac{S_{sp}^{год}}{t_{год}} \quad (2.33)$$

[16]».

2.3.4 Затраты на запасные части

Согласно методике разработанной Е.В. Судовым: «Затраты на запасные части складываются из затрат на приобретение и хранение начального запаса запчастей и затрат на поддержание текущего запаса запчастей.

Суммарные затраты на запчасти для системы самолета:

$$S_{з} = \sum_{m=1}^M S_{зm}, \quad (2.34)$$

где M – количество типов запчастей;

$S_{зm}$ – суммарные затраты на запчасти m -го типа за расчетный период по всему парку самолетов, которые рассчитываются по формуле:

$$S_{зm} = (S_{пр}^{нач})_m + (S_{пр}^{тек})_m + (S_{хр}^{нач})_m + (S_{хр}^{тек})_m + (S_{дст}^{тек})_m, \quad (2.35)$$

где $(S_{\text{пр}}^{\text{нач}})_m$ – затраты на приобретение начального запаса запчастей m -го типа по всему парку эксплуатируемых самолетов;

$(S_{\text{пр}}^{\text{тек}})_m$ – затраты на приобретение текущего запаса изделий m -го типа по парку самолетов;

$(S_{\text{хр}}^{\text{нач}})_m$ – затраты на хранение начального запаса запчастей m -го типа;

$(S_{\text{хр}}^{\text{тек}})_m$ – затраты на хранение текущего запаса запчастей m -го типа в течение периода текущего МТО;

$(S_{\text{дст}}^{\text{тек}})_m$ – затраты на доставку текущего запаса для изделия m -го типа по парку техники.

Затраты на приобретение начального запаса m -го вида запчастей для всего парка эксплуатируемых самолетов:

$$(S_{\text{пр}}^{\text{нач}})_m = C_m \cdot (A_{\text{max}})_m, \quad (2.36)$$

где C_m – цена единицы m -го изделия, руб;

$(A_{\text{max}})_m$ – рекомендуемый объем начального запаса m -х изделий, шт.

Затраты на хранение начального запаса запчастей m -го типа (предполагается, что запас расходуется равномерно на протяжении всего периода начального МТО):

$$(S_{\text{хр}}^{\text{нач}})_m = \frac{T_{\text{нач}}}{2 \cdot 12} \cdot y \cdot V_m \cdot (A_{\text{max}})_m, \quad (2.37)$$

где $T_{\text{нач}}$ – период начального МТО, мес.;

y – стоимость 1 м^3 помещений для хранения запаса, руб;

V_m – объем, занимаемый на складе m -м изделием, м^3 .

Затраты на поддержание текущего запаса запчастей. Количество месяцев текущего МТО (без учета периода начального МТО):

$$T_{\text{тек}} = 12L - T_{\text{нач}}, \quad (2.38)$$

где L – длительность расчетного периода, лет.

Затраты на приобретение текущего запаса m -го изделия на весь расчетный период и на весь парк самолетов:

$$(S_{\text{пр}}^{\text{тек}})_m = C_m \cdot (A_q)_m \cdot Q_m, \quad (2.39)$$

где $(A_q)_m$ – рекомендуемый объем партии поставки m -х изделий;

Q_m – количество заказов m -го изделия за время текущего МТО, рассчитываемое по формуле:

$$Q_m = \frac{T_{\text{тек}}}{(T_{\text{зак}})_m}, \quad (2.40)$$

где $(T_{\text{зак}})_m$ – время между заказами m -го изделия.

Затраты на доставку текущего запаса для m -го изделия на весь расчетный период и парк самолетов:

$$(S_{\text{дст}}^{\text{тек}})_m = (C_{\text{дст}})_m \cdot Q_m, \quad (2.41)$$

где $(C_{\text{дст}})_m$ – стоимость доставки партии m -ых изделий на склад.

Затраты на хранение текущего запаса запчастей m в течение периода текущего МТО (предполагается, что запас расходуется равномерно):

$$(S_{\text{хр}}^{\text{тек}})_m = \frac{T_{\text{зак}}}{2 \cdot 12} \cdot y \cdot V_m \cdot (A_q)_m \cdot Q_m \quad (2.42)$$

Суммарные затраты на приобретение запчастей на весь расчетный период и парк:

$$S_{з_{пр}} = \sum_{m=1}^M \left[(S_{пр}^{нач})_m + (S_{пр}^{тек})_m \right] \quad (2.43)$$

Затраты на приобретение запчастей в год на 1 самолет:

$$(S_{з_{пр}})_{год} = \frac{S_{з_{пр}}}{N \cdot L} \quad (2.44)$$

Суммарные затраты на хранение запчастей:

$$S_{з_{хр}} = \sum_{m=1}^M \left[(S_{хр}^{нач})_m + (S_{хр}^{тек})_m \right] \quad (2.45)$$

Затраты на хранение в год на 1 самолет:

$$(S_{з_{хр}})_{год} = \frac{S_{з_{хр}}}{N \cdot L} \quad (2.46)$$

Суммарные затраты на доставку запчастей:

$$(S_{з_{дст}}) = \sum_{m=1}^M (S_{дст}^{тек})_m \quad (2.47)$$

Затраты на хранение в год на 1 самолет:

$$(S_{з_{дст}})_{год} = \frac{S_{з_{дст}}}{N \cdot L} \quad (2.48)$$

Суммарные затраты на запчасти для 1 самолета (на весь период):

$$S_{з1} = \frac{S_{з}}{N} \quad (2.49)$$

Суммарные затраты на запчасти для 1 самолета в год:

$$S_{з1}^{\text{год}} = \frac{S_{з1}}{L} \quad (2.50)$$

Удельные затраты на запчасти за единицу наработки системы:

$$S_{з\text{уд}} = \frac{S_{з1}^{\text{год}}}{t_{\text{год}}} \quad (2.51)$$

[16]».

2.4 Верификация компьютерной модели жизненного цикла ВС

Для верификации компьютерной модели воспользуемся методом проверки корректности результатов на «крайние» значения [17].

Задают нулевые значения входных параметров модели и анализируют результаты. Если модель построена верно, по окончании процесса моделирования должны быть получены нулевые выходные данные. Если результаты моделирования будут отличны от нуля, то модель подлежит проверке и уточнению.

Определим всем входным параметрам модели нулевые значения. Период эксплуатации ($t_{\text{эксп}}$) установим в 20 лет. В результате проведения эксперимента получим, что все выходные данные, кроме параметра общее время эксплуатации ($T_{\text{общ_эксп}}$) будут равны нулю. Параметр $T_{\text{общ_эксп}}$ является итерационно-накопительным и при $t_{\text{эксп}} > 0$ всегда будет больше нуля. В нашем случае $t_{\text{эксп}} = 20$, по окончании моделирования $T_{\text{общ_эксп}} = 20$, что соответствует действительности. На рисунке 2.3 показан результат эксперимента при нулевых входных параметрах.

Затем входным параметрам устанавливают значения, которых не может быть в реальной системе.

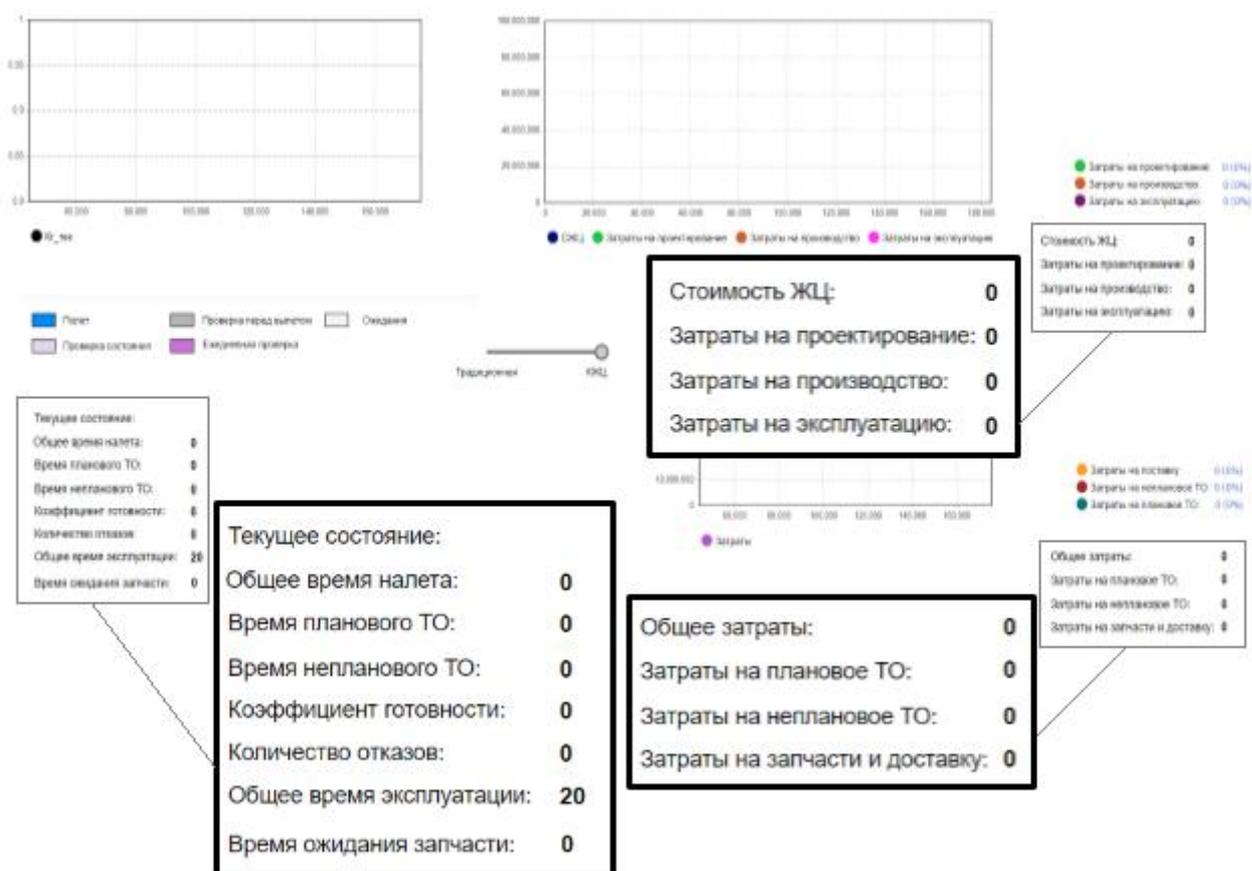


Рисунок 2.3 – Результат моделирования при нулевых входных параметрах

Исходные данные для проведения эксперимента представлены в таблице 2.9.

Таблица 2.9 – Исходные данные для проведения эксперимента

Параметр	Обозначение	Ед. измерения	Значение
Период эксплуатации	$t_{\text{эксп}}$	год	20
Период пополнения склада	$t_{\text{склад}}$	час	1400
Среднее время ожидания поставки запчасти	$t_{\text{ср.зап.}}$	день	[2;3;5]
Интенсивность отказов	$I_{\text{отказ}}$	шт./год	0

Установим параметр модели интенсивность отказов ($I_{отказ}$) равным нулю на протяжении всего периода эксплуатации, чего не может быть в реальной системе. При проведении моделирования наблюдаем, что выходные данные, зависящие от $I_{отказ}$, а именно: количество отказов ($k_{отказ}$), время непланового ТО ($t_{неп.ТО}$), общее время ожидания поставок запчастей ($t_{об.зап.}$), затраты на неплановое ТО ($Cost_{неп.ТО}$) равны нулю, следовательно модель корректно реагирует на входные данные, значений которых не может быть в реальной системе. Результаты эксперимента представлены на рисунке 2.4.

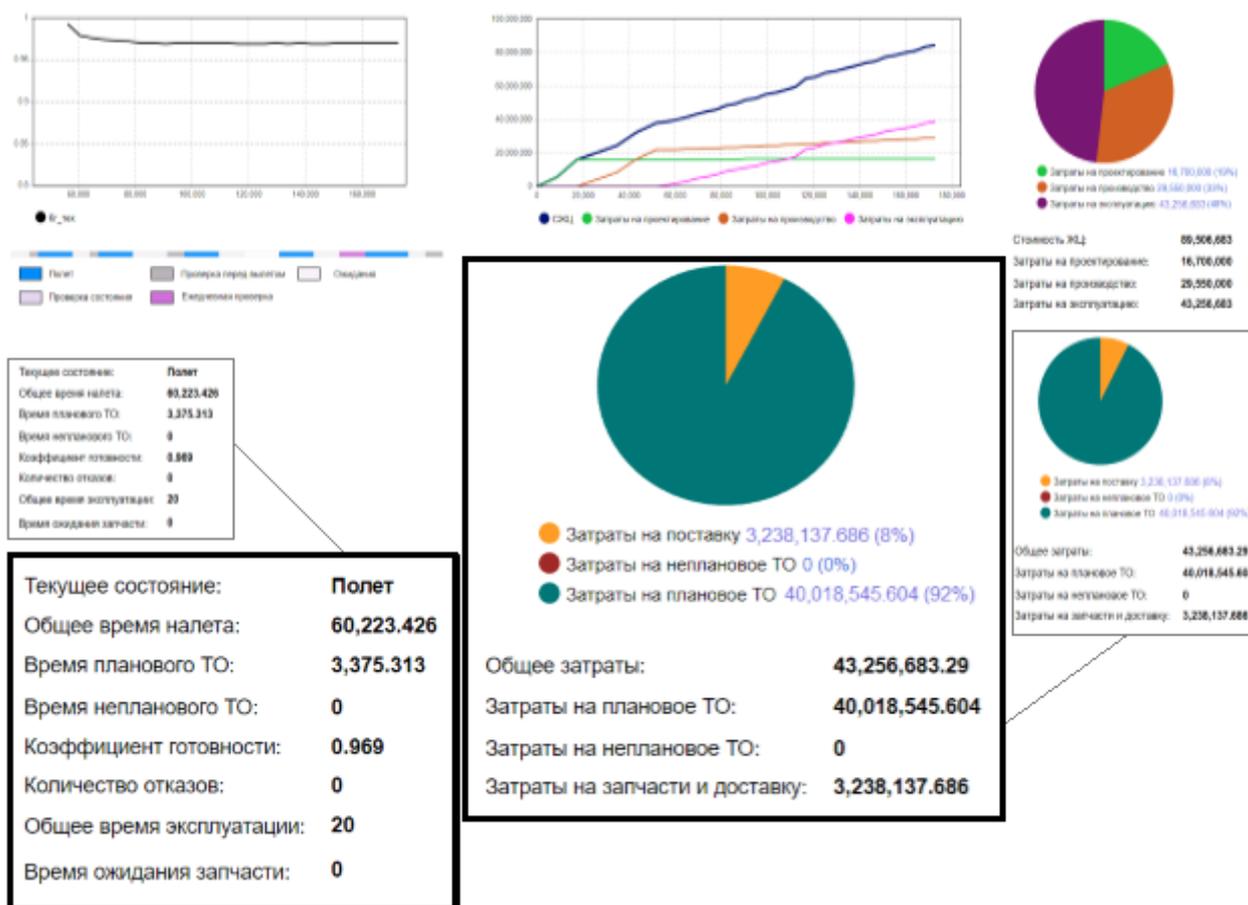


Рисунок 2.4 – Результат моделирования жизненного цикла ВС с исходными данными из таблицы 2.9

На последнем этапе метода проверки результатов на «крайние» значения, проводят моделирование с корректными входными данными.

При прочих равных условиях, последовательно вводились различные варианты входных данных (таблица 2.10).

Таблица 2.10 – Исходные данные для проведения эксперимента

Параметр	Обозначение	Ед. измерения	Значение
Период эксплуатации	$t_{\text{эксп}}$	год	20
Период пополнения склада	$t_{\text{склад}}$	час	1400
Среднее время ожидания поставки запчастей	$t_{\text{ср.зап.}}$	день	[2;3;5]
Интенсивность отказов (1)	$I_{\text{отказ}}$	шт./год	1
Интенсивность отказов (2)	$I_{\text{отказ}}$	шт./год	[2;5]
Интенсивность отказов (3)	$I_{\text{отказ}}$	шт./год	[6;12]

По окончании процесса моделирования получаем выходные данные, пример которых представлен на рисунке 2.5.

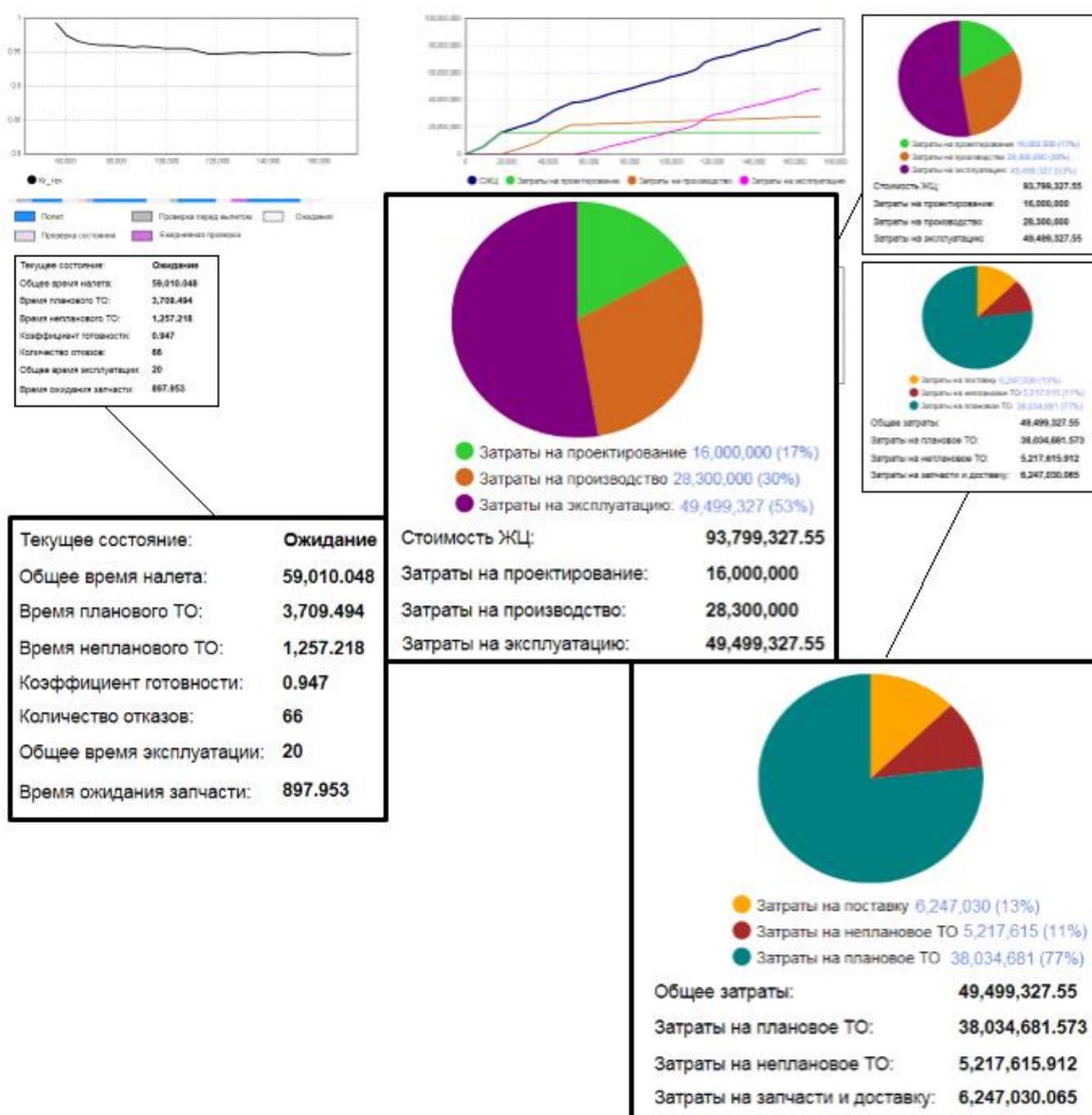


Рисунок 2.5 – Результат моделирования при $I_{\text{отказ}} = [2;5]/\text{год}$

В разработанной модели входной параметр $I_{\text{отказ}}$ формируется с периодичностью 1 год, и принимает значения в заданном диапазоне. Визуально оценить изменение интенсивности отказов на протяжении жизненного цикла ВС можно на рисунке 2.6.

Как видно на графике, значения параметра $I_{\text{отказ}}$ находятся в заданном интервале и равны нулю на этапах проектирования и производства.

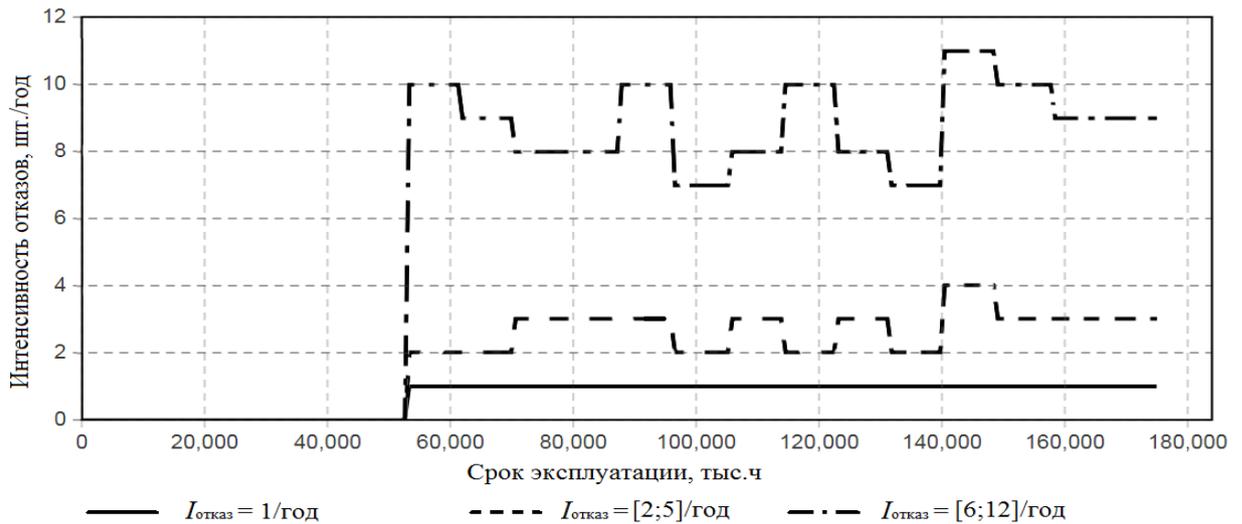


Рисунок 2.6 – Значения $I_{\text{отказ}}$ на протяжении жизненного цикла

Параметр $k_{\text{отказ}}$ является накопительным и показывает общее количество отказов за весь жизненный цикл. Его зависимость от интенсивности отказов показана на рисунке 2.7.

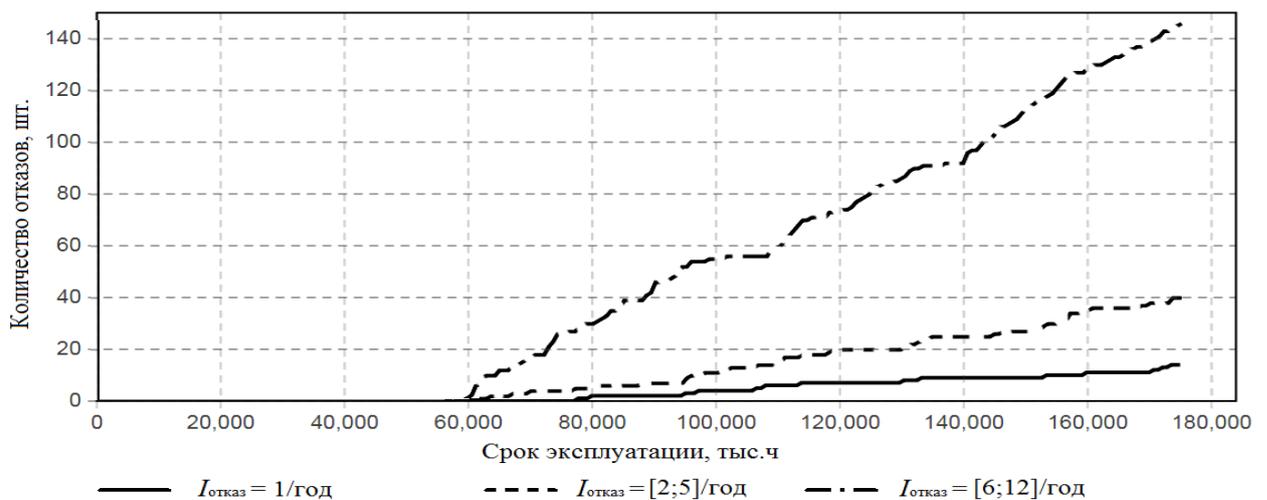


Рисунок 2.7 – График зависимости $k_{\text{отказ}}$ от интенсивности отказов

Увеличение параметра $I_{\text{отказ}}$ приводит к увеличению общей стоимости жизненного цикла ВС и затрат на стадии эксплуатации ($Cost_{\text{эксп.}}$) (рисунок 2.8).

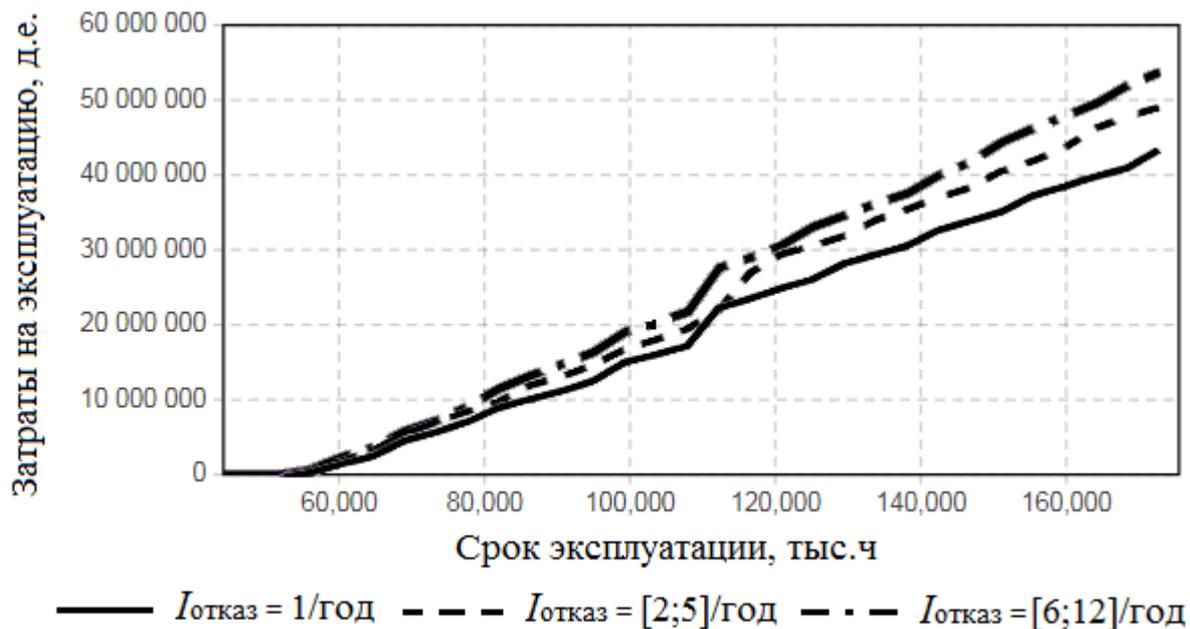


Рисунок 2.8 – График зависимости $Cost_{\text{эксп.}}$ от интенсивности отказов

Проанализировав результаты моделирования (Приложение А), выявлено, что увеличение диапазона значений входного параметра $I_{\text{отказ}}$ влечет за собой изменение выходных данных: увеличение общего количества отказов, времени непланового ТО, общего времени ожидания поставок запчастей, затрат на неплановое ТО и стоимости жизненного цикла ВС, а так же приводит к уменьшению коэффициента готовности.

Выходные данные полученные в ходе моделирования сопоставимы с результатами исследований Судова Е.В., Петрова А.В., Полищука Н.В [18, 19, 20].

2.5 Разработка имитационной модели контракта жизненного цикла изделия

Оперируя сведениями, содержащимися в БД АЛП, предоставляется возможным произвести расчет значений технической готовности изделия и его стоимости на этапе эксплуатации.

Однако, при сравнении вышеуказанных величин по результатам расчета со значениями полученными в ходе реальной эксплуатации, часто получается значительное отличие.

Непосредственное влияние на такой результат оказывают те предположения, которые зачастую берут в расчет в общепринятых методиках оценки уровня технической готовности и значения величины затрат на этапе эксплуатации. Особо значимым допущением представляется суждение о постоянстве случайного процесса появления отказов составных частей изделия и, вытекающим из него, постоянстве процесса изменений в системе управления запасами [20].

С целью нахождения более правильных оценок показателей технической готовности изделия и затрат на техническую эксплуатацию рационально использовать аппарат имитационного моделирования, позволяющий учитывать вышеупомянутые допущения.

Применение средств имитационного моделирования позволяет воспроизвести поведение сложной системы взаимодействующих элементов.

Проведение имитационных экспериментов дает возможность оценить влияние изменения различных параметров системы и принять правильное решение. Моделирование позволяет наблюдать за поведением реальной системы во времени с необходимым уровнем детальности.

Разработка имитационной модели выполнена в программном продукте AnyLogic, являющимся мировым лидером в сфере имитационного моделирования.

Среда ИМ AnyLogic имеет ряд преимуществ: наличие всех парадигм ИМ, что дает высокую гибкость к подходу моделирования; возможность выбора между парадигмами или применение комплексного подхода; обладает всеми свойствами необходимыми для разработки имитационных моделей.

Данная среда предоставляет возможность экспортировать разработанную модель в приложение или апплет, обеспечивая этим доступность применения результатов исследования в дальнейшем.

Java-платформа инструмента AnyLogic предоставляет практически безграничную расширяемость моделей за счет программирования на Java, создания пользовательских библиотек и работы с базами данных [21].

При построении имитационной модели стоимости жизненного цикла воздушного судна, используется комбинация дискретно-событийного и агентного методов ИМ.

Исходными данными для моделирования и расчетов является база данных АЛП, которая импортируется в AnyLogic. Так же существует возможность задавать исходные данные в ручном режиме.

На основании ГОСТ Р 57105 –2016, ГОСТ Р 53392 – 2017, ГОСТ Р 53393 – 2017 и научных трудов Судова Е.В. [22-26], построена имитационная модель жизненного цикла изделия, фрагмент входных данных которой представлен в таблице 2.11.

Реализованная для воздушных судов имитационная модель [26] с применением контрактов жизненного цикла, содержит следующие события:

- этап проектирования;
- этап производства;
- полет, в том числе с допустимыми отказами;
- отказы;
- плановое ТО;
- неплановое ТО;
- события управления запасами комплектующих изделий;
- простои из-за отсутствия запасных частей;

- простои по административным причинам;
- проведение работ, направленных на повышение надежности и увеличения ресурса.

Таблица 2.11 – Фрагмент списка входных данных

Наименование	Обозначение	Тип данных	Значение	Ед. изм.
1	2	3	4	5
Период эксплуатации изделия	Per_ekspl	Int	15	год
Среднее количество полетов в день	Kol_polet_god	Int	[1-3]	кол-во
Средняя продолжительность полета	Time_polet	Double	[2-9]	час
Периодичность транзитной проверки	Per_check_transit	Int	[1-3]	кол-во
Длительность транзитной проверки	Time_check_transit	Double	[0,8-2]	час
Периодичность ежедневной проверки	Per_check_daily	Double	[24-36]	час
Длительность ежедневной проверки	Time_check_daily	Double	[1-3,5]	час
Периодичность еженедельной проверки	Per_check_weekly	Double	[7-10]	день
Длительность еженедельной проверки	Time_check_weekly	Double	[3-5]	час
Периодичность А - проверки	Per_check_A	Double	[1-2]	мес
Длительность А - проверки	Time_check_A	Double	[20-50]	час
Периодичность SV - проверки	Per_check_SV	Double	[3-3,5]	год
Длительность SV - проверки	Time_check_SV	Double	[5-21]	день
Продолжительность административных простоев	Time_admin	Double	[1-4]	час
Интенсивность отказов	Intensiv_otkaz	Int	[1-32]	кол-во
Модель управления запасами	Model_yprav_zapas	Enum	$\left[\begin{array}{l} neprerv_m; \\ period_m; \\ yrovn_m \end{array} \right]$	–
Вероятность отказов составных частей	Ver_otkaz_sostav	Int [[]]	$\left[\begin{array}{l} \{v_{o1s} - v_{o1f}\}; \\ \{v_{o2s} - v_{o2f}\}; \\ \{v_{o3s} - v_{o3f}\}; \\ \dots \\ \{v_{ons} - v_{onf}\}; \end{array} \right]$	кол-во

Продолжение таблицы 2.11

1	2	3	4	5
Продолжительность операций непланового ТО	Time_neplanTO	Int[][]	$\begin{bmatrix} \{t_{n1s} - t_{n1f}\}; \\ \{t_{n2s} - t_{n2f}\}; \\ \{t_{n3s} - t_{n3f}\}; \\ \dots \\ \{t_{nns} - t_{nnf}\}; \end{bmatrix}$	час
Периодичность замены по ресурсу	PerZam_Res	Int[][]	$\begin{bmatrix} \{t_{r1s} - t_{r1f}\}; \\ \{t_{r2s} - t_{r2f}\}; \\ \{t_{r3s} - t_{r3f}\}; \\ \dots \\ \{t_{rns} - t_{rnf}\}; \end{bmatrix}$	час
Стоимость операций планового ТО	Cost_oper_PlanTO	Int[][]	$\begin{bmatrix} \{c_{p1s} - c_{p1f}\}; \\ \{c_{p2s} - c_{p2f}\}; \\ \{c_{p3s} - c_{p3f}\}; \\ \dots \\ \{c_{pns} - c_{pnf}\}; \end{bmatrix}$	руб.
Стоимость операций непланового ТО	Cost_oper_NeplanT O	Int[][]	$\begin{bmatrix} \{c_{n1s} - c_{n1f}\}; \\ \{c_{n2s} - c_{n2f}\}; \\ \{c_{n3s} - c_{n3f}\}; \\ \dots \\ \{c_{nns} - c_{nnf}\}; \end{bmatrix}$	руб..
Стоимость составных частей, подлежащих замене по ресурсу	Cost_zap_res	Int[][]	$\begin{bmatrix} \{c_{zr1s} - c_{zr1f}\}; \\ \{c_{zr2s} - c_{zr2f}\}; \\ \{c_{zr3s} - c_{zr3f}\}; \\ \dots \\ \{c_{zrns} - c_{zrnf}\}; \end{bmatrix}$	руб..

На рисунке 2.9 представлена диаграмма состояний агента «Plane», которая реализует вышеперечисленные действия.

Диаграмма состояний представляет собой состояния, соединенные переходами. Срабатывание перехода приводит к переходу управления диаграммы состояний в то состояние, в которое ведет этот переход. Состояния могут быть иерархическими – содержать другие состояния и переходы.

Использование диаграммы состояний позволяет определить состояние конкретного агента или системы в целом.

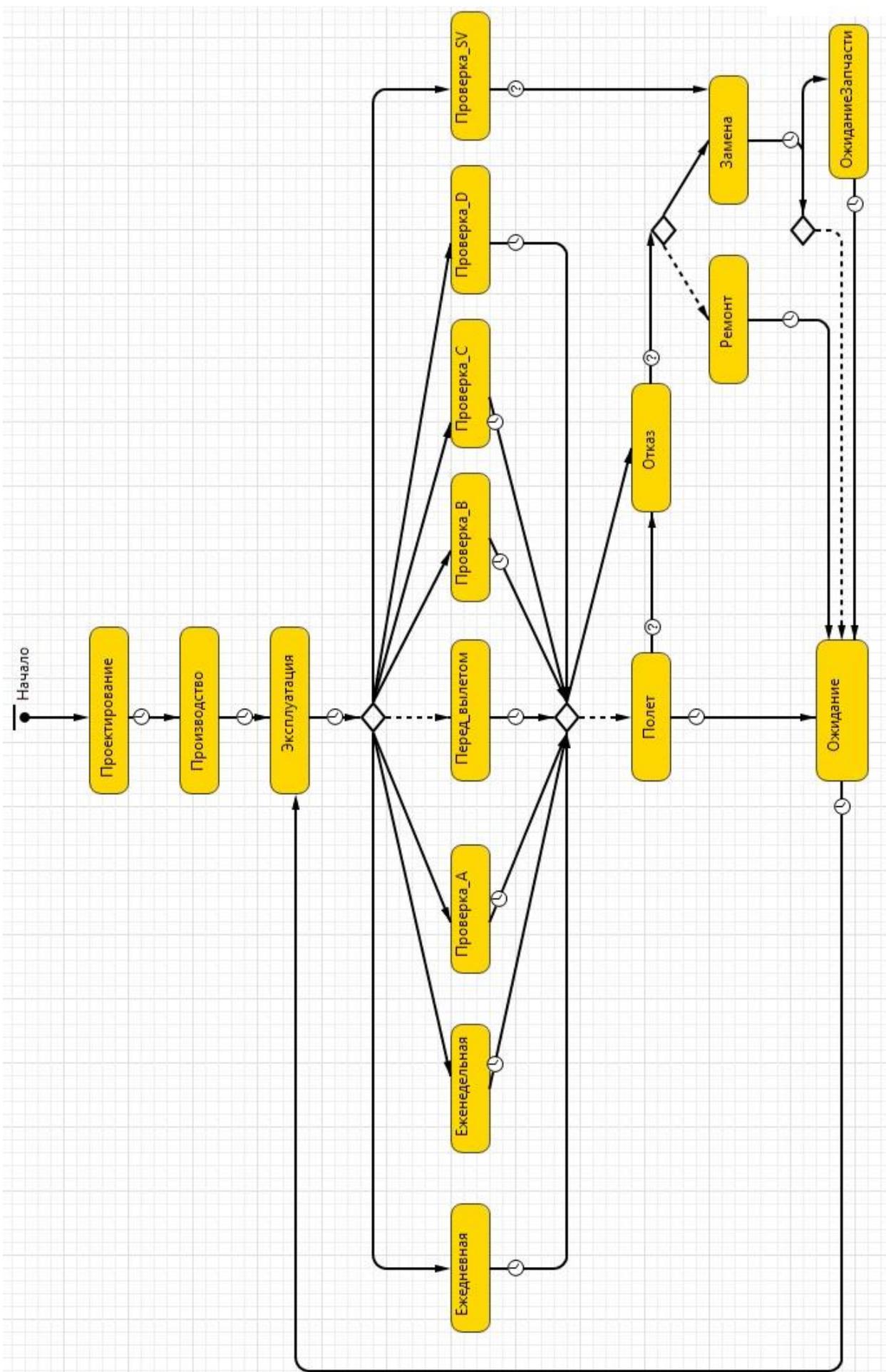


Рисунок 2.9 - Диаграмма состояний агента «Plane»

Любое состояние обладает двумя свойствами:

1) действие при входе – Код, выполняемый, когда управление переходит в это состояние;

2) действие при выходе – Код, выполняемый, когда управление покидает это состояние.

Переключение диаграммы состояний из одного состояния в другое, осуществляется переходом. Переход выполняется:

1) По таймауту – буден активирован, если истечет время заданного таймаута.

2) С заданной интенсивностью – будет активироваться с заданной интенсивностью.

3) При выполнении условия – будет активирован, когда будет выполнено заданное логическое условие.

Рассмотрим, подробнее процесс эксплуатации, состоящий из событий полета, событий планового ТО, событий непланового ТО, простоев по административным причинам, наступления отказов, замена составных частей, каждое событие характеризуется началом наступления, длительностью, состоянием.

В отсутствии базы данных АЛП для запуска процесса имитации необходимо задать следующие данные в ручном режиме:

- длительность и изначальную стоимость этапа проектирования;
- длительность и изначальную стоимость этапа производства;
- период эксплуатации изделия;
- данные о составе ВС;
- среднее количество полетов в год;
- среднюю продолжительность полета;
- периодичность операций планового ТО;
- продолжительность операций планового ТО;
- стоимость операций планового ТО;
- продолжительность административных простоев;

- интенсивность отказов;
- вероятности отказов составных частей;
- среднее время устранения отказов;
- стоимость составных частей, подлежащих замене;
- длительность операций непланового ТО;
- стоимость операций непланового ТО;
- периодичность замены частей по ресурсу;
- среднюю длительность ожидания запчастей из-за отсутствия на складе;
- продолжительность операций по восстановлению;
- стоимость операций по восстановлению;
- период пополнения склада запчастей;
- данные о начальном объеме запасных частей каждого типа;
- модель управления запасами.

После ввода входных данных и запуска процесса моделирования на экране отображаются и динамически обновляются сведения о жизненном цикле ВС в режиме модельного времени.

По окончании моделирования получаем следующие выходные данные:

- общее время налета;
- общее время планового ТО;
- общее время непланового ТО;
- коэффициент готовности;
- общее количество отказов;
- общее время эксплуатации;
- время ожидания поставки запчастей;
- затраты на плановое ТО;
- затраты на неплановое ТО;
- затраты на запчасти;
- общие затраты на этапе проектирования;
- общие затраты на этапе производства;
- общие затраты на этапе эксплуатации.

Результаты моделирования жизненного цикла ВС показаны на рисунке

2.10

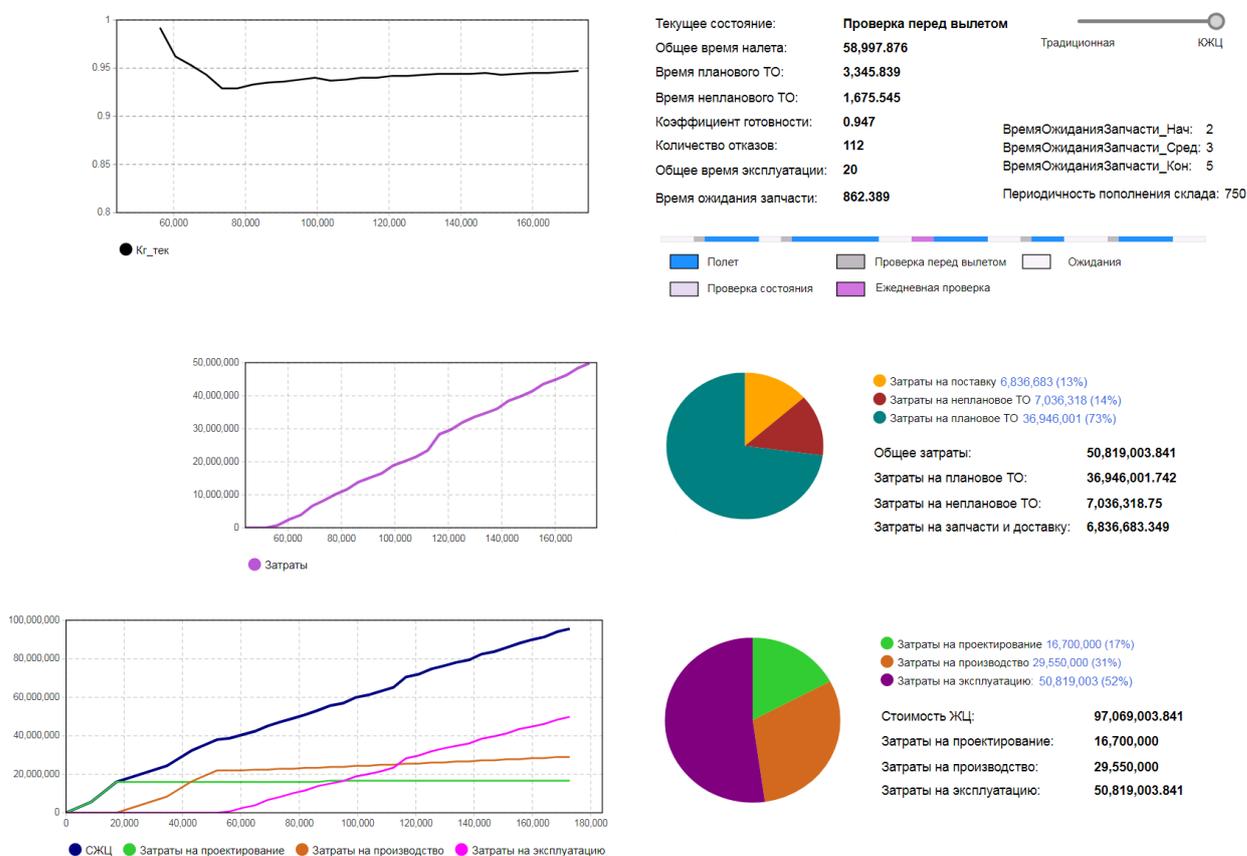


Рисунок 2.10 – Результат моделирования жизненного цикла ВС

2.5.1 Оценка влияния выбора модели управления запасами на показатель эксплуатационной готовности воздушного судна

Разработанная имитационная модель позволяет определить значения нормируемых показателей конечного результата, указанных потребителем-эксплуатантом в рамках контракта жизненного цикла. Одним из таких показателей является эксплуатационная готовность ВС.

При оценке уровня готовности следует учитывать простои ВС в связи со следующими видами причин:

- выполнение планового технического обслуживания (ТО);

- выполнение непланового ТО;
- отсутствие необходимых запасных частей.

Таким образом, эксплуатационная готовность ВС, вычисляется по формуле [20]:

$$A_0 = \frac{MTBM}{MTBM + MDT}, \quad (2.52)$$

где MTBM (Mean Time Between Maintenance) – среднее время между выполнением ТО (как планового, так и непланового);

MDT (Mean Down Time) – среднее время простоя из-за планового или непланового ТО.

Этот показатель характерен тем, что учитывает простои в ожидании запасных частей.

Как правило, причины простоев изделия отходят на второй план, в виду того, что эксплуатирующую организацию первостепенно интересует доля времени, в течении которого ВС фактически будет работать и обеспечивать боеготовность.

Следует акцентировать внимание на простоях, связанных с ожиданиями запасных частей, так как значение этого параметра напрямую влияет на показатель эксплуатационной готовности ВС.

В разработанной модели процесс эксплуатации парка ВС реализуется как последовательность равномерных временных шагов. На каждом шаге моделируется событие, происходящее с ВС, которое характеризуется длительностью, началом наступления, состоянием и другими, определяется вероятность наступления отказа, рассчитывается время простоев, при этом учитываются простои при выполнении планового ТО, непланового ТО и простои, связанные с отсутствием необходимых запасных частей, происходит расчет текущих значений показателей КЖЦ, в частности эксплуатационной готовности ВС, затраты потребителя-эксплуатанта, прибыль головного исполнителя (изготовителя).

Правильный выбор модели управления запасами оказывает непосредственное влияние на величину простоев ВС, поэтому к выбору этого параметра нужно относиться особенно тщательно (таблица 2.12) [16, 27].

Таблица 2.12 – Виды моделей управления запасами

Модель управления запасами	Описание	Формула расчета
Модель с непрерывным пополнением запасов	Модель подразумевает, что при отказе установленного на ВС изделия, восстановление производится путем замены отказавшего изделия на работоспособное из комплекта запасных частей, инструментов, принадлежностей (ЗИП), после чего сразу же формируется заявка на пополнение комплекта	$1 - \frac{(m_i \lambda_i T_i)^{A_i+1}}{(A_i + 1)! \sum_{j=0}^{A_i+1} \frac{(m_i \lambda_i T_i)^j}{j!}}$ <p>где m_i – число эксплуатируемых изделий -го типа; λ_i – интенсивность отказов i-го типа; A_i – начальный запас -го типа; T_i – среднее время от момента формирования заявки на пополнение ЗИП до момента доставки.</p>
Модель с периодически пополнением запасов	Модель подразумевает, что пополнение запасов производится через фиксированные промежутки времени. При этом пополнение осуществляется до начального (A_i) уровня.	$\frac{1}{m_i \lambda_i T_i} \sum_{j=0}^{A_i} \left(1 - \sum_{k=0}^j \frac{(m_i \lambda_i T_i)^k}{k!} e^{-m_i \lambda_i T_i} \right)$ <p>где T_i – периодичность пополнения заказов.</p>
Модель с пополнением запасов по уровню	В данной модели предполагается, что начальный запас изделий -го типа A_i ; расходуется для устранения отказов, пока уровень запасов не достигнет некоторого заданного порогового значения a_i , после чего формируется заявка на пополнение запасов данного типа объемом ($A_i - a_i$)	$1 - \frac{(m_i \lambda_i T_i)^{a_i+2}}{(m_i \lambda_i T_i)^{a_i+2} + (A_i - a_i)(1 + m_i \lambda_i T_i)^{a_i+1}}$ <p>где T_i – среднее время доставки запасных частей.</p>

На рисунке 2.11 изображена схема влияния наступления события отказа на изменение состояния ВС.

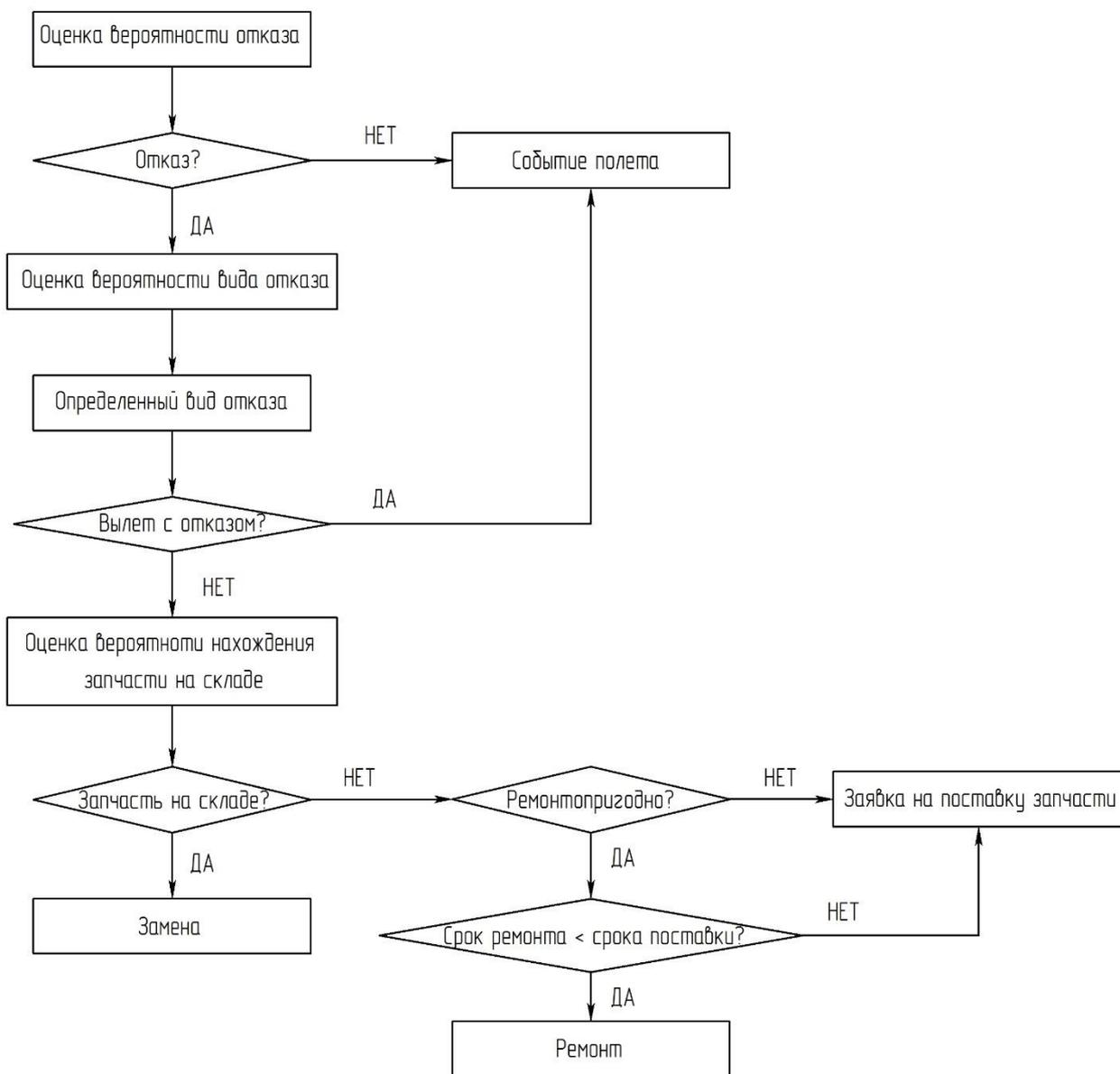


Рисунок 2.11 – Схема наступления события отказа

Вероятность отказа определяется из исходных данных базы АЛП [16].

По результатам моделирования получаем график зависимости показателя эксплуатационной готовности парка ВС от выбора вида модели управления запасами. Пример такого графика показан на рисунке 2.12.

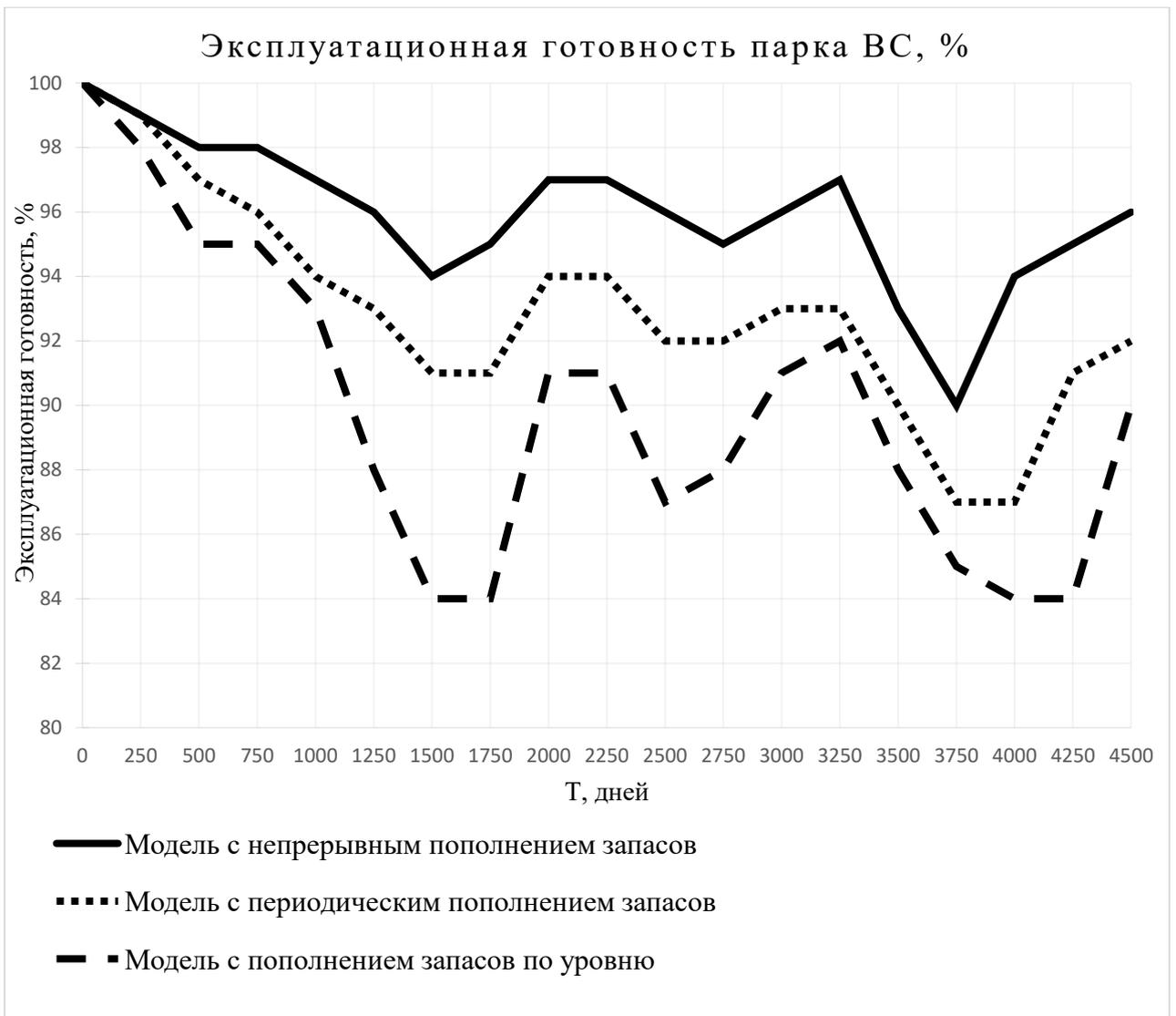


Рисунок 2.12 – График зависимости эксплуатационной готовности от вида модели управления запасами

Из графика видно, что модель с непрерывным пополнением запасов обеспечивает значение показателя эксплуатационной готовности на более высоком уровне по сравнению с другими видами моделей управления запасами.

2.6 Эффективность методологии построения средств автоматизации процессов информационного взаимодействия с изготовителем и потребителем изделий

2.6.1 Закономерности изменения уровня коэффициента готовности

Моделирование закономерностей представлено на рисунке 2.13.

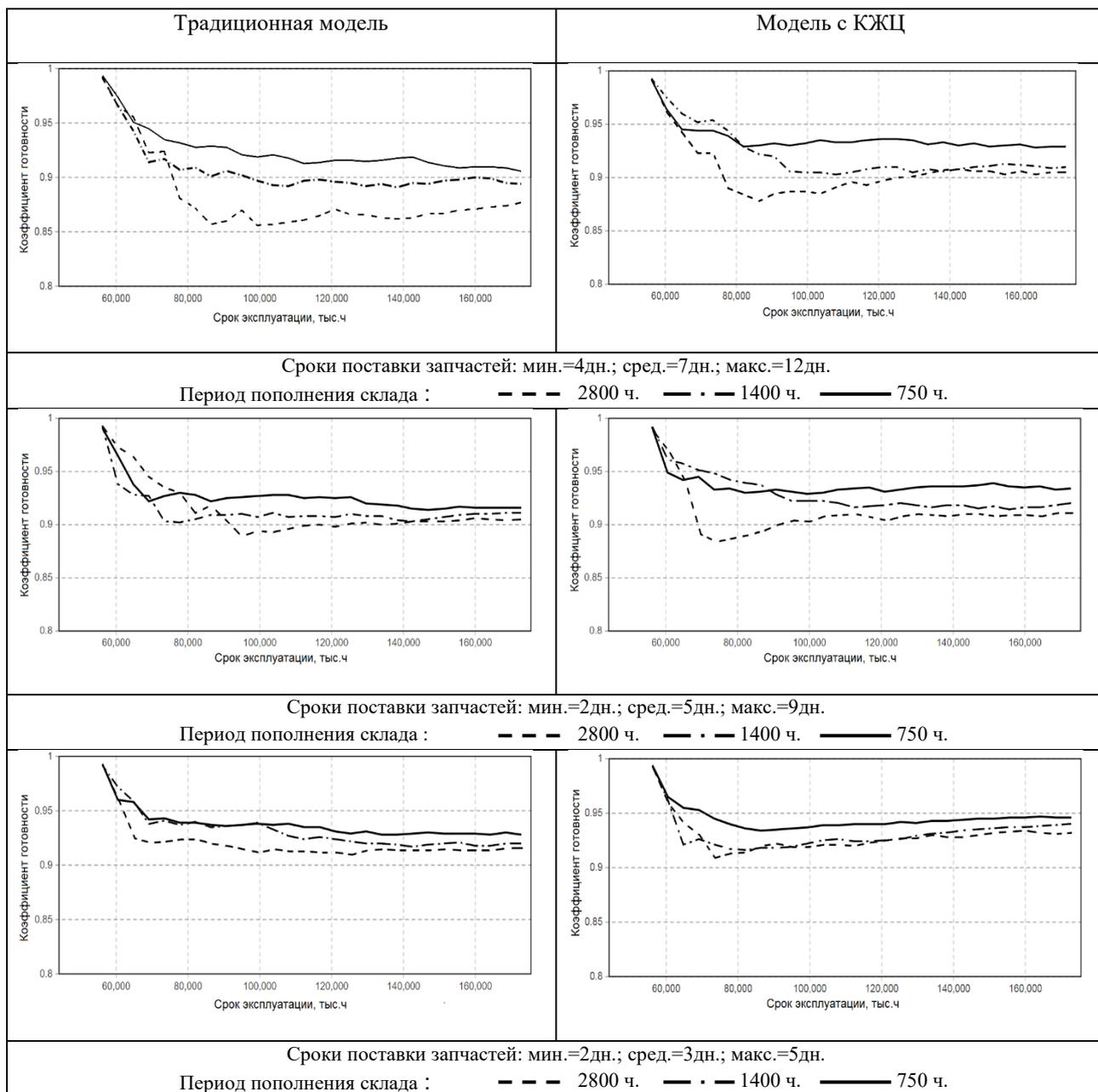


Рисунок 2.13 – Закономерности изменения уровня коэффициента ГОТОВНОСТИ

Представленное моделирование позволило выявить закономерности влияния параметров разработанной модели КЖЦ на эффективность взаимодействия изготовителя и потребителя наукоемких изделий. При одинаковых параметрах, задаваемых разным типам моделей, а именно традиционной и с использованием КЖЦ, прослеживаются закономерности повышения уровня коэффициента готовности для разработанной модели. Приложение Б содержит результаты серий моделирований на основании которых выявлены закономерности.

2.6.2 Сравнение модели жизненного цикла ВС на основе КЖЦ с традиционной моделью

Разработанная имитационная модель позволяет моделировать жизненный цикл ВС в двух режимах: традиционном (рисунок 2.14) и на основе КЖЦ (рисунок 2.15).

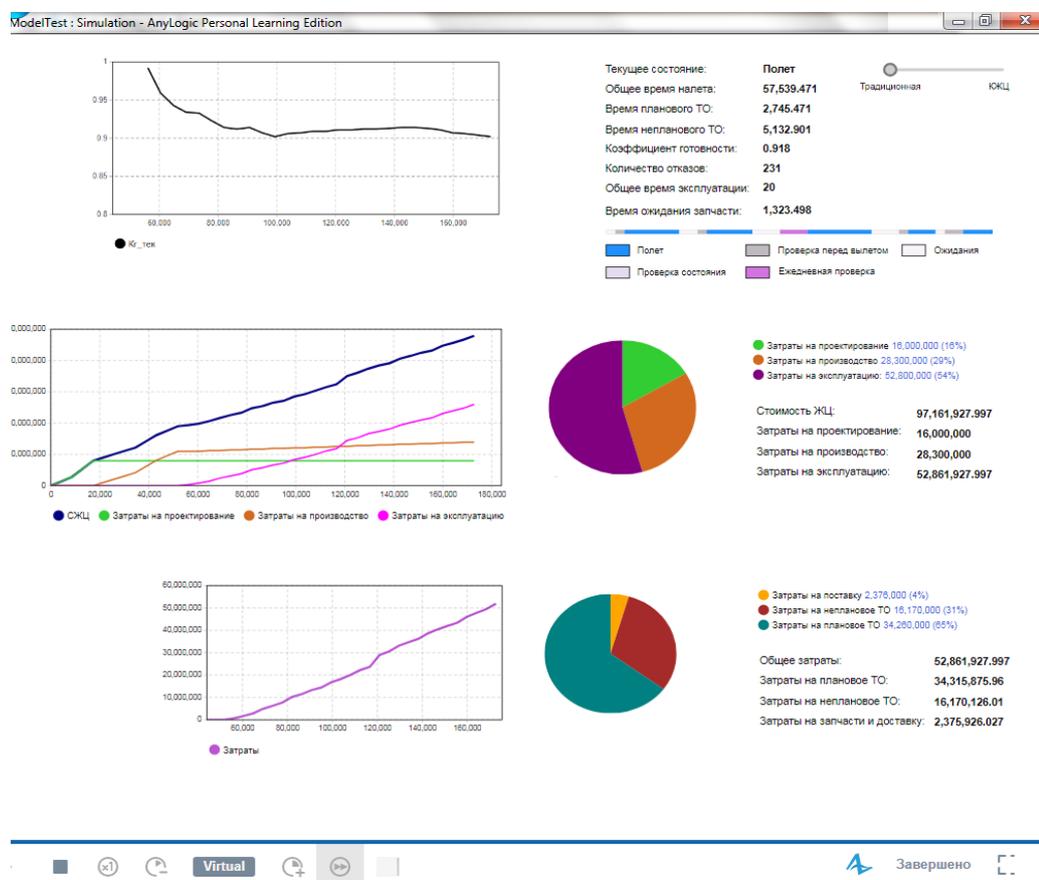


Рисунок 2.14 – Результат моделирования традиционной модели

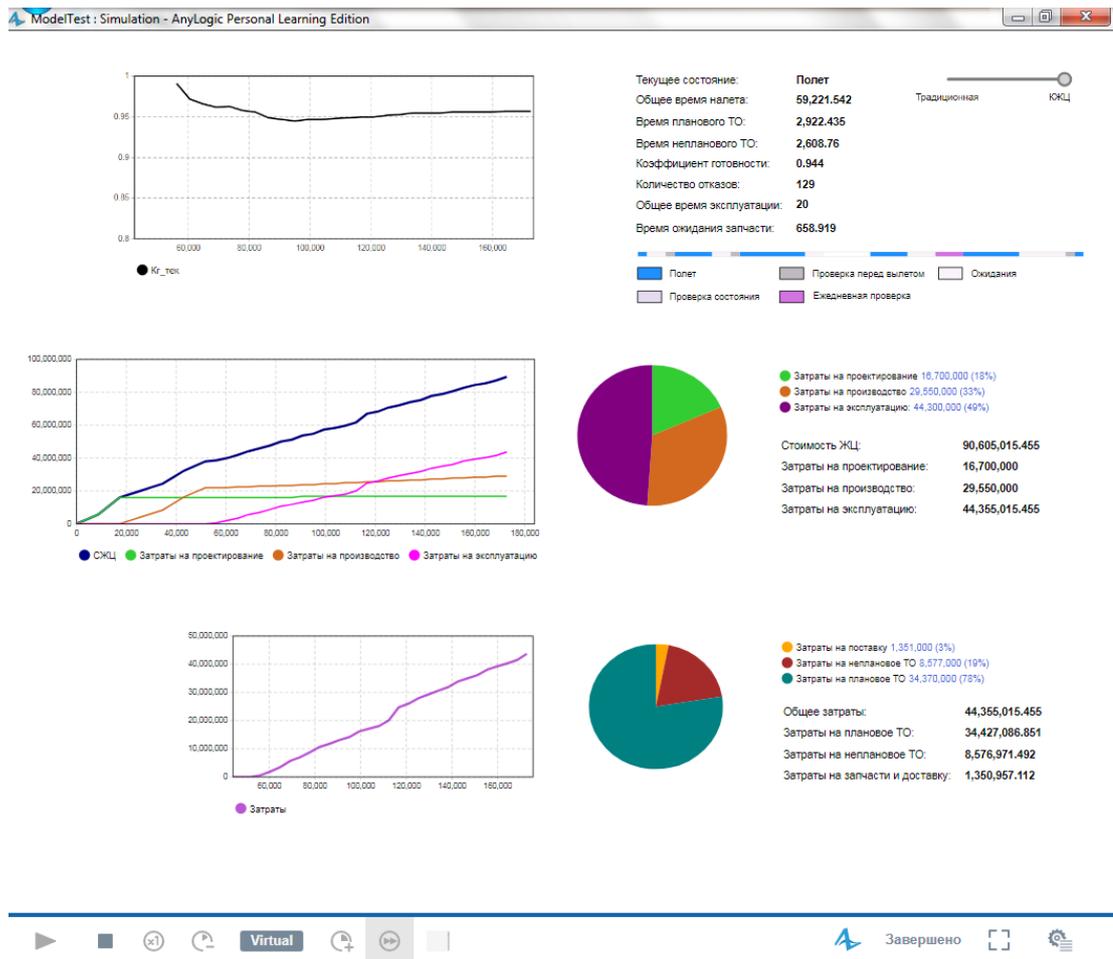


Рисунок 2.15 – Результат моделирования на основе КЖЦ

Результатом имитационного моделирования ЖЦ наукоемких изделий на основе КЖЦ с применением агентной диаграммы состояний изделия «Plane» является оценка эффективности, выражающаяся в снижении стоимости ЖЦ наукоемких изделий и повышении уровня коэффициента готовности (рисунок 2.16, 2.17).

Определим разницу стоимости ЖЦ (Δ СЖЦ) традиционной модели и модели основанной на КЖЦ по формуле:

$$\Delta \text{СЖЦ} = (\text{СЖЦ}_{\text{Традиц}} - \text{СЖЦ}_{\text{КЖЦ}}) * 100\%, \quad (2.53)$$

где $\text{СЖЦ}_{\text{Традиц}}$ – стоимость жизненного цикла традиционной модели;

$\text{СЖЦ}_{\text{КЖЦ}}$ – стоимость жизненного цикла модели основанной на КЖЦ.

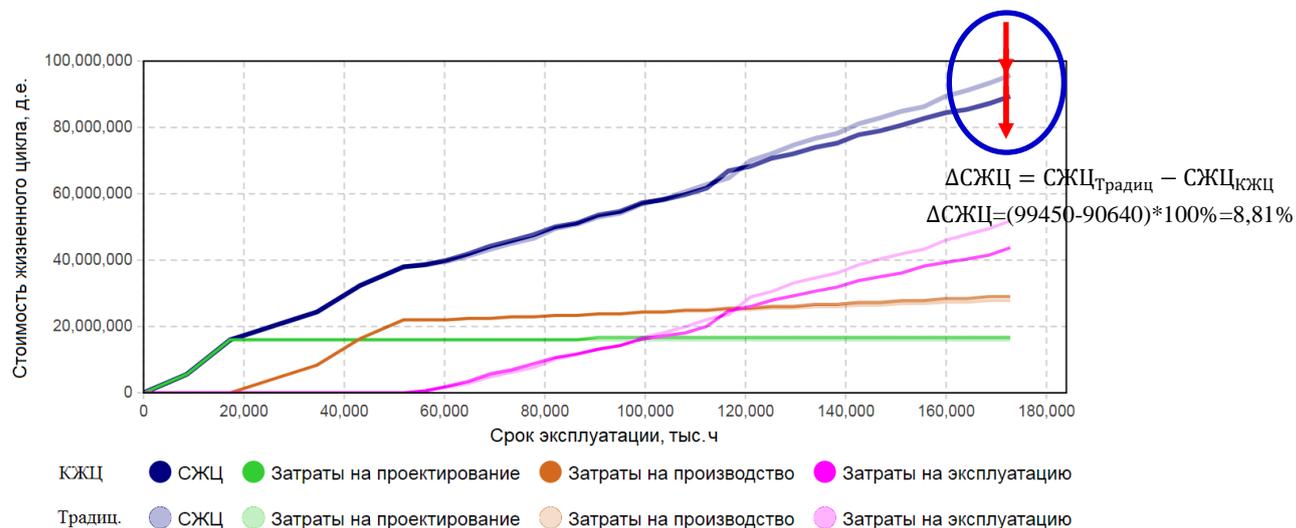


Рисунок 2.16 – Оценка эффективности ЖЦ при традиционной модели и при разработанной модели КЖЦ наукоемких изделий

По формуле (2.53) получим:

$$\Delta \text{СЖЦ} = (99450 - 90640) * 100\% = 8,81\%$$

Определим разницу уровня коэффициента готовности ($\Delta K_{\text{гот}}$) традиционной модели и модели основанной на КЖЦ по формуле:

$$\Delta K_{\text{гот}} = (|K_{\text{готКЖЦ}} - K_{\text{готТрадиц}}|) * 100\%, \quad (2.54)$$

где $K_{\text{готКЖЦ}}$ – уровень коэффициента готовности модели основанной на КЖЦ;

$K_{\text{готТрадиц}}$ - уровень коэффициента готовности традиционной модели.

По формуле (2.54), получим:

$$\Delta K_{\text{гот}} = (|0,955 - 0,9|) * 100\% = 5,5\%$$

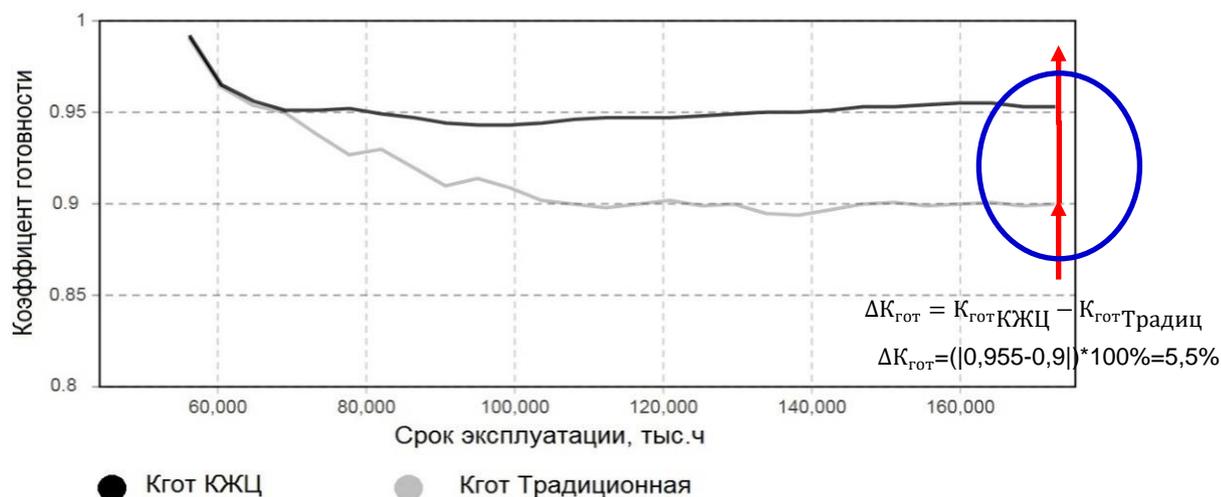


Рисунок 2.17 – Оценка эффективности коэффициента готовности при традиционной модели и разработанной модели КЖЦ наукоемких изделий

Оценка эффективности функционирования САПР на имитационной модели ЖЦ наукоемких изделий, что при выполнении моделирования с использованием традиционной модели взаимодействия изготовителя с потребителем стоимость и продолжительность этапов проектирования и производства практически неизменны по отношению к плановым показателям. В то время как при имитации стадий проектирования и производства с применением КЖЦ стоимость и продолжительность этих этапов отличаются от плановых. Уровень коэффициента готовности с применением модели КЖЦ значительно выше уровня коэффициента готовности с использованием традиционной модели взаимодействия изготовителя с потребителем.

2.7 Выводы по второй главе

Выполнена верификация алгоритма функционирования САПР на имитационной модели ЖЦ наукоемких изделий как эффективности автоматизированного взаимодействия изготовителя и потребителя наукоемких изделий. Посредством применения средств имитационного

моделирования воспроизведено поведение такой сложной системы как воздушное судно.

Определено состояние конкретного агента и системы в целом на основе использования диаграммы состояний, где процесс эксплуатации рассматривается состоящим из событий полета, событий планового ТО, событий непланового ТО, простоев по административным причинам, наступления отказов, замены составных частей, каждое событие характеризуется началом наступления, длительностью, состоянием.

Выявлены закономерности влияния параметров разработанной модели КЖЦ на эффективность взаимодействия изготовителя и потребителя наукоемких изделий. При одинаковых параметрах, задаваемых разным типам моделей, а именно традиционной и с использованием КЖЦ, прослеживаются закономерности повышения уровня коэффициента готовности для разработанной модели – 5,5 % и снижения стоимости ЖЦ наукоемких изделий – 8,81 %.

Имитационная модель с подробно представленной стадией эксплуатации позволила провести имитацию процесса жизненного цикла изделия как при использовании традиционной модели взаимодействия «изготовитель – потребитель», так и при использовании КЖЦ с целью получения общей стоимости ЖЦ и значения коэффициента готовности.

3 Исследование эффективности производственных систем в зависимости от проектных решений

Высокое качество функционирования производственной системы достигается единым комплексом решений, принимаемых при выборе деталей для проектируемой ГПС, разработке технологических процессов их изготовления, проектировании самой ГПС, диспетчировании и управлении ходом производственного процесса. Для выявления закономерностей влияния технологических, конструкторских, проектных и управленческих решений на эффективность ГПС с использованием разработанной автоматизированной системы компьютерного моделирования выполнены вычислительные эксперименты. В дальнейшем планируется использовать выявленные закономерности в качестве информационной базы при разработке автоматизированной системы предпроектных исследований.

3.1 Параметры станков

3.1.1 Длительность цикла загрузки (выгрузки) в рабочей зоне станка

Рассмотрим работу ГПС с количеством станков $C = (1, 2, \dots, 10)$ при варьировании длительности цикла загрузки (выгрузки) ДУ на станке $T_c = (5, 10, 20, \dots, 60)$ с. Эффективность работы ГПС будем оценивать усредненными значениями трех показателей: коэффициента загрузки $K_{ГПС}$, производительности $P_{ГПС}$ и прироста срока окупаемости L_0 , а также параметрами их вероятностного распределения. Обобщенные результаты проведенных вычислительных экспериментов приведены в приложении В, таблица В.1. В графическом виде данная информация представлена на рисунках 3.1 и 3.2.

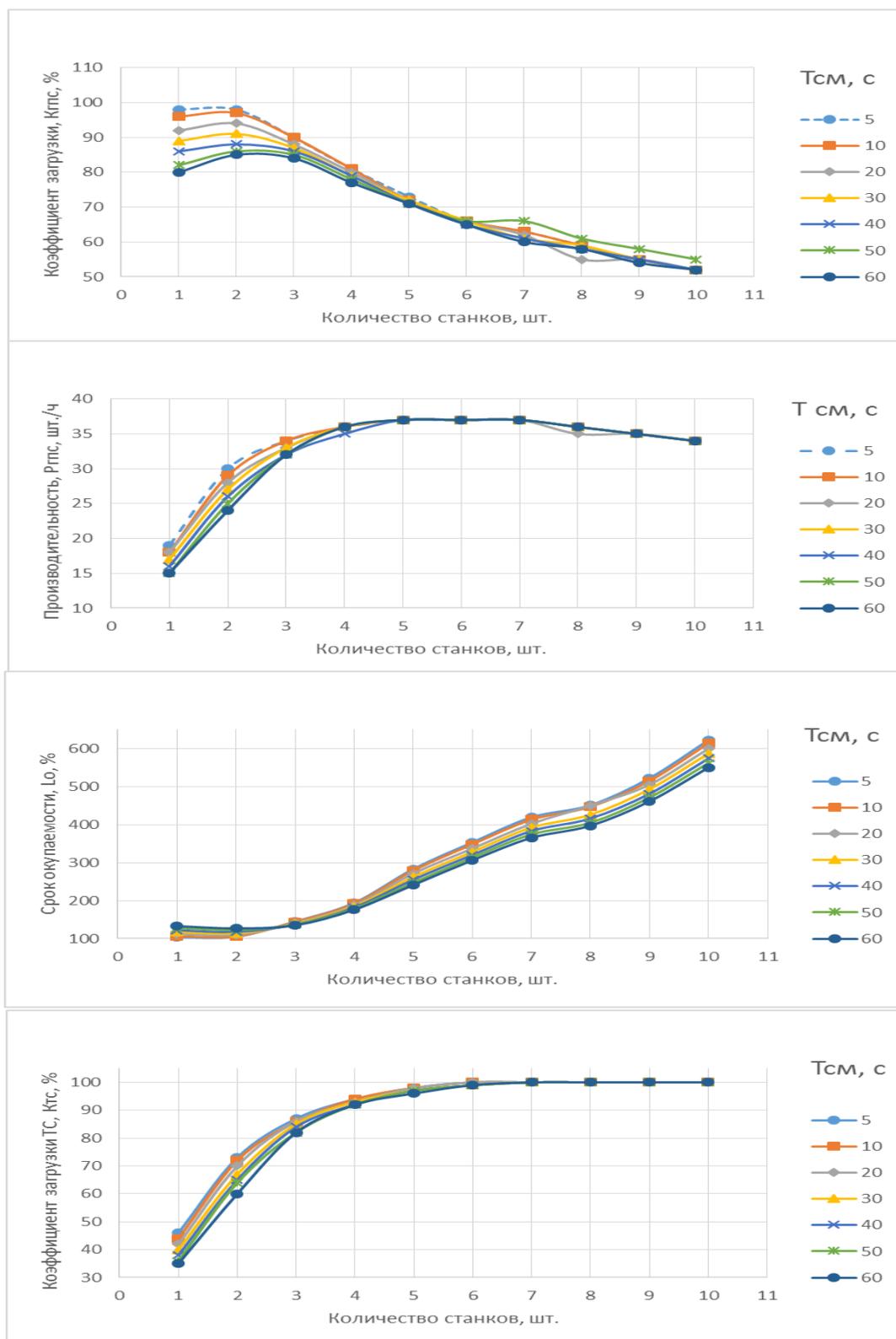
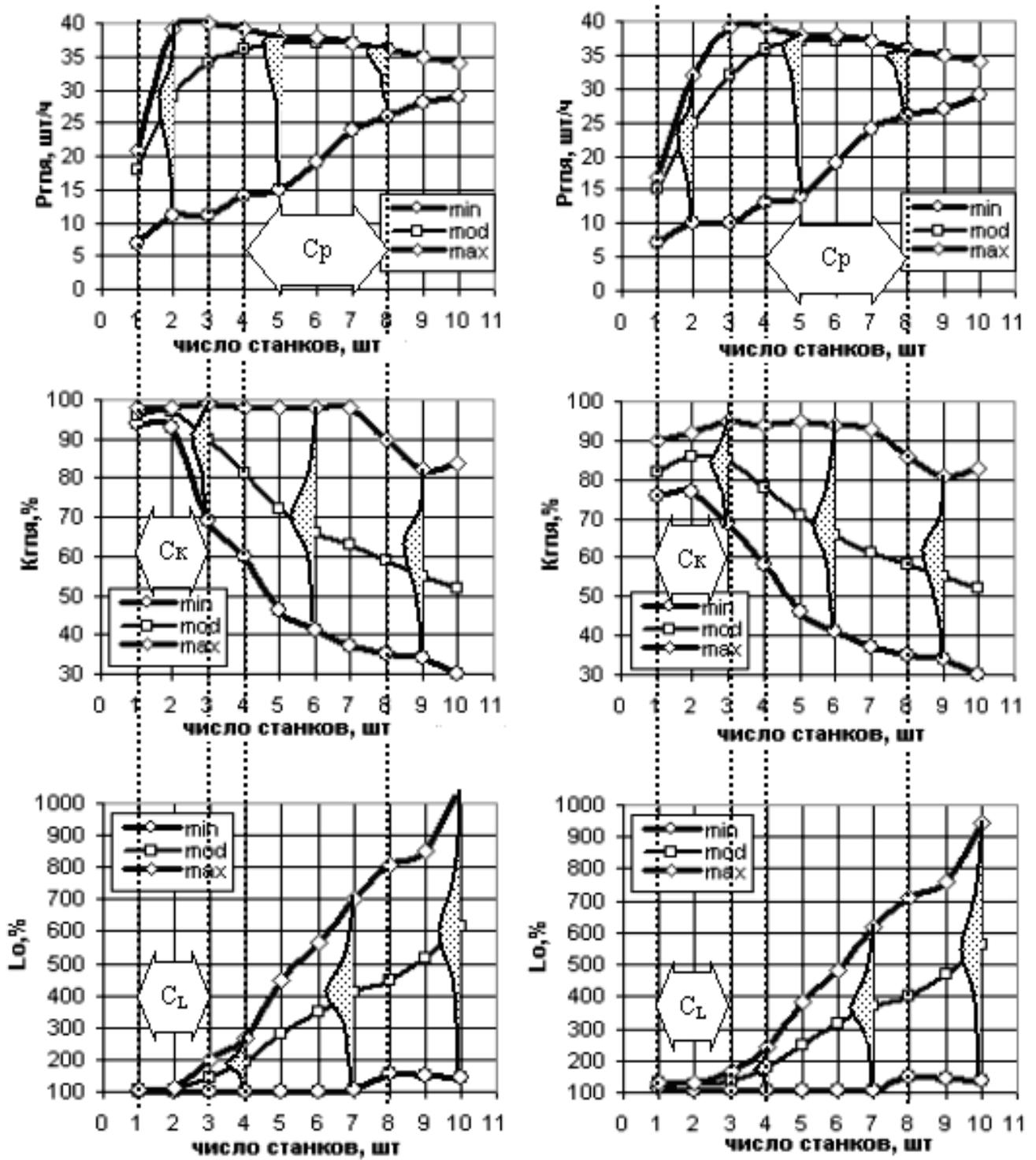


Рисунок – 3.1 Зависимость эффективности производственной системы от времени смены заготовки при различном количестве станков



а) $T_c=10$ с

б) $T_c=50$ с

Рисунок 3.2 – Статистические характеристики показателей эффективности ГПС для различного количества станков при различной длительности загрузки (выгрузки) паллет

По критерию производительности $P_{ГПС}$ рациональное количество станков C_P находится в диапазоне от 4 до 8 шт. При этих значениях значение показателя производительности практически не изменяется от длительности цикла загрузки (выгрузки) ДУ и составляет 36-37 шт./ч. Если рассматривать меньшее количество станков, например 2, и при увеличении T_C от 5 до 60 с то на графике видно, что производительность снижается примерно на 17 % с 30 шт./ч до 25 шт./ч.

Высокая загрузка транспортного средства доставки заготовок ($K_{ТС}=90 - 100 \%$) также достигается при количестве станков в диапазоне $C_P = 4 - 8$ шт. В то же время прирост срока окупаемости почти линейно увеличивается более чем в 2 раза со 180 % до 400-450 %. С учетом того, что средняя производительность достигает максимального значения 37 шт./ч в диапазоне от 5 до 7 станков, а минимальный срок окупаемости при этом составляет 250 % для ГПС из 5 станков, то наиболее рациональным по критерию производительности является количество станков $C_L=5$ шт. Но и для этого количества оборудования экономически рассчитанный срок окупаемости увеличится в 2,5 раза.

Наиболее высокие значения коэффициента загрузки $K_{ГПС}$ достигаются при количестве станков $C_K=1 - 3$ шт. При этом максимальное значение $K_{ГПС}$ увеличивается с 85 % при длительности цикла загрузки (выгрузки) $T_C=60$ с до 98 % при $T_C=5$ с. В оптимальном по $K_{ГПС}$ диапазоне станков достигается минимум прироста срока окупаемости, не превышающего 140 % при $C_K=3$ шт. Значение производительности при этом возрастает с 15 – 17 шт./ч при $C=1$ шт. до 32-34 шт./ч при $C=3$ шт. Другими словами увеличение производительности ГПС в 2 раза можно достичь увеличением количества оборудования в 3 раза.

Высокая стабильность и минимальная дисперсия значений загрузки и прироста срока окупаемости характерна в диапазоне $C_K=C_L= 1 - 3$ шт. (рисунок 3.2 а, б).

При минимальном количестве станков $C_P=4$ шт. отмечается максимальная нестабильность производительности, значение которой

рассеивается в диапазоне 15 - 40 шт/ч ($\omega_p=25$). Снижение разброса $P_{ГПС}$ начинается от 8 станков $\omega_p = 11$. В то же время прирост срока окупаемости при этом возрастает с 200 % до 450 %, что делает сомнительным эффект стабилизации производительности ГПС. Сокращение длительности загрузки (выгрузки) паллет на в рабочей зоне станков с 50 с до 10 с не оказывает существенного влияния на производительность. Для коэффициента загрузки сокращение длительности загрузки (выгрузки) паллет дает заметное повышение для диапазона в 1 – 2 станка. Сокращение цикла загрузки (выгрузки) T_C с последующим увеличением количества станков приводит к снижению среднего значения $K_{ГПС}$, (рисунок 3.2, б).

Сокращение длительности загрузки (выгрузки) паллет привело к неожиданному увеличению прироста срока окупаемости ГПС, по сравнению с длительностью $T_C=50$ с.

Таким образом, можно предположить, что сокращение длительности загрузки (выгрузки) паллет приводит к значимому повышению эффективности при количестве станков в диапазоне 1-2 шт. При этом достигается высокое и стабильное значение коэффициента загрузки ГПС в совокупности с минимальным приростом срока окупаемости. Для остальных случаев сокращение T_C либо не приводит к заметным улучшениям показателей эффективности ГПС ($K_{ГПС}$ и $P_{ГПС}$), либо приводит к ухудшению, как в случае с приростом срока окупаемости L_0 .

Следовательно, повышение эффективности ГПС за счет установки более скоростных приводов на устройства автоматической загрузки паллет на станки нецелесообразно, так как в большинстве случаев ГПС оснащаются станками в количестве более 2 штук.

3.1.2 Емкость пристаночных накопителей паллет и число станков

Для сокращения потерь времени, возникающих из-за того, что транспортное средство не всегда успевает доставлять заготовки, станки

оснащают пристаночными накопителями [28, 29]. Соответственно, чем больше вместимость накопителей, тем меньше ожидается простоев. Рассмотрим влияние количества позиций в накопителях при различном количестве станков на эффективность ГПС. В вычислительных экспериментах выполнялось варьирование емкости пристаночных накопителей в диапазоне от 2 до 14 штук. Полученные результаты представлены в таблице В.2 приложения В и на рисунке 3.3.

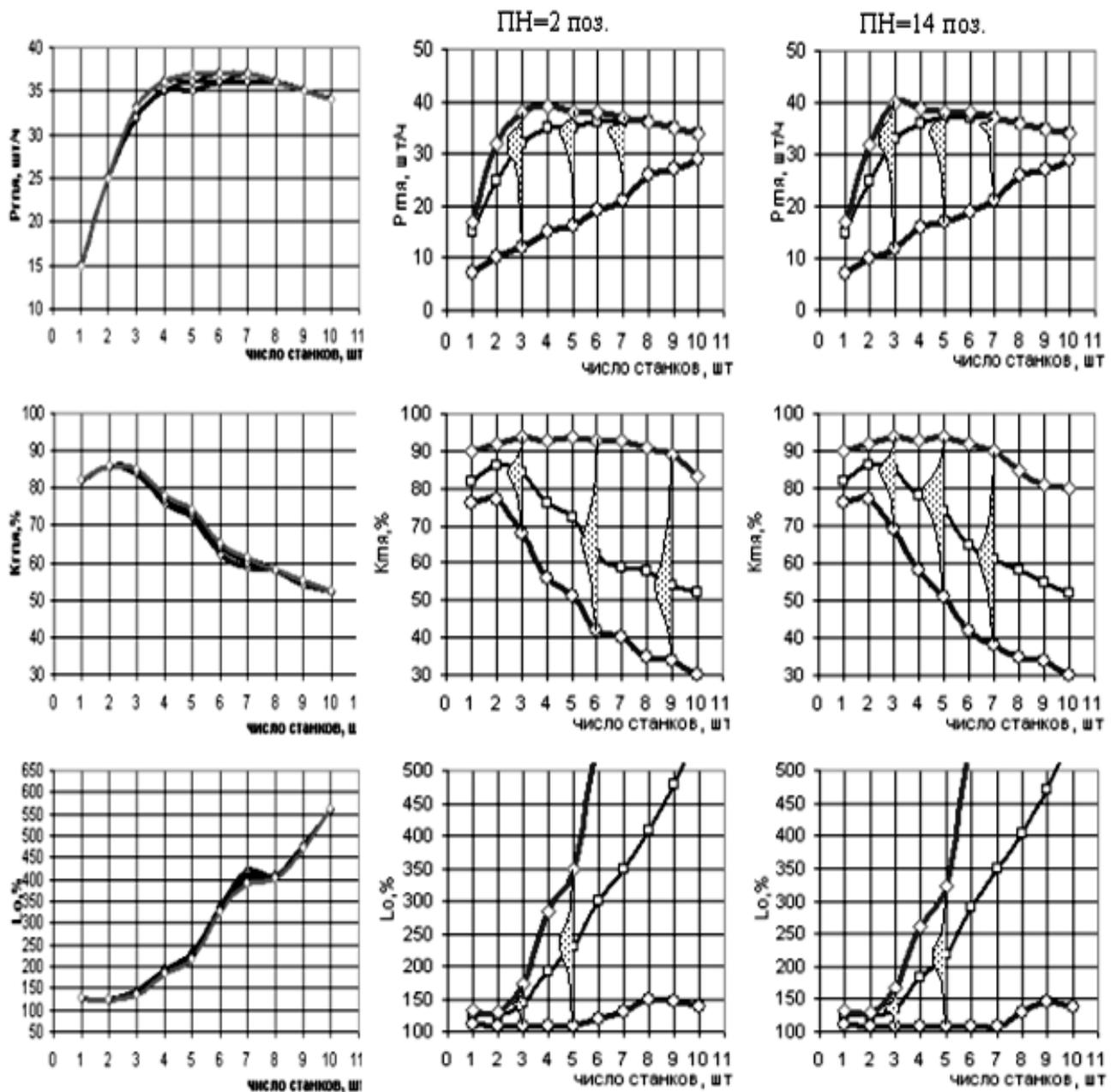


Рисунок 3.3 – Влияние емкости пристаночных накопителей на эффективность ГПС

3.2 Параметры и число транспортных средств

Скорость передвижения V_{TC} и время загрузки (выгрузки) паллет T_{CM} являются основными техническими характеристиками двухместного робокара, который задан в исходных данных для вычислительных экспериментов. Рассмотрим результаты серии вычислительных экспериментов для выявления зависимости эффективности ГПС от характеристик робокара для различного количества станков.

3.2.1 Влияние цикла загрузки робокара на эффективность ГПС

Зависимости средних значений эффективности ГПС для проведенных экспериментов приведены на рисунке 3.4.

Из графиков видно, что длительность загрузки (выгрузки) робокара T_{CM} оказывает более значимое влияние на эффективность ГПС в отличие от аналогичного параметра для станка T_C . Сокращение T_{CM} с 60 с до 20 с приводит к повышению производительности с 28 шт./ч до 51 шт./ч или на 87 % (рисунок 3.4, а). Ужесточение T_{CM} оказывает существенное влияние на выбор количества станков. Практически для всего диапазона количества станков $C_P=2 - 10$ шт. при $T_{CM}=60$ с производительность изменяется незначительно и составляет $P_{ГПС}=27 - 28$ шт./ч. Максимальная производительность $P_{ГПС}=60 - 70$ шт./ч достигается при $T_{CM}=20$ с в диапазоне $C_P=6 - 10$ станков. Сокращение T_{CM} приводит не столько к повышению $K_{ГПС}$, сколько увеличивает диапазон предпочтительного количества станков, при котором достигается максимальная загрузка ГПС (рисунок 3.4, б). Так, если максимальное значение $K_{ГПС}=82$ % достигается при $T_{CM}=60$ с и $C=2$ станка, то при $T_{CM}=10$ с такая же загрузка достигается при количестве станков в диапазоне от 2 до 8 шт.

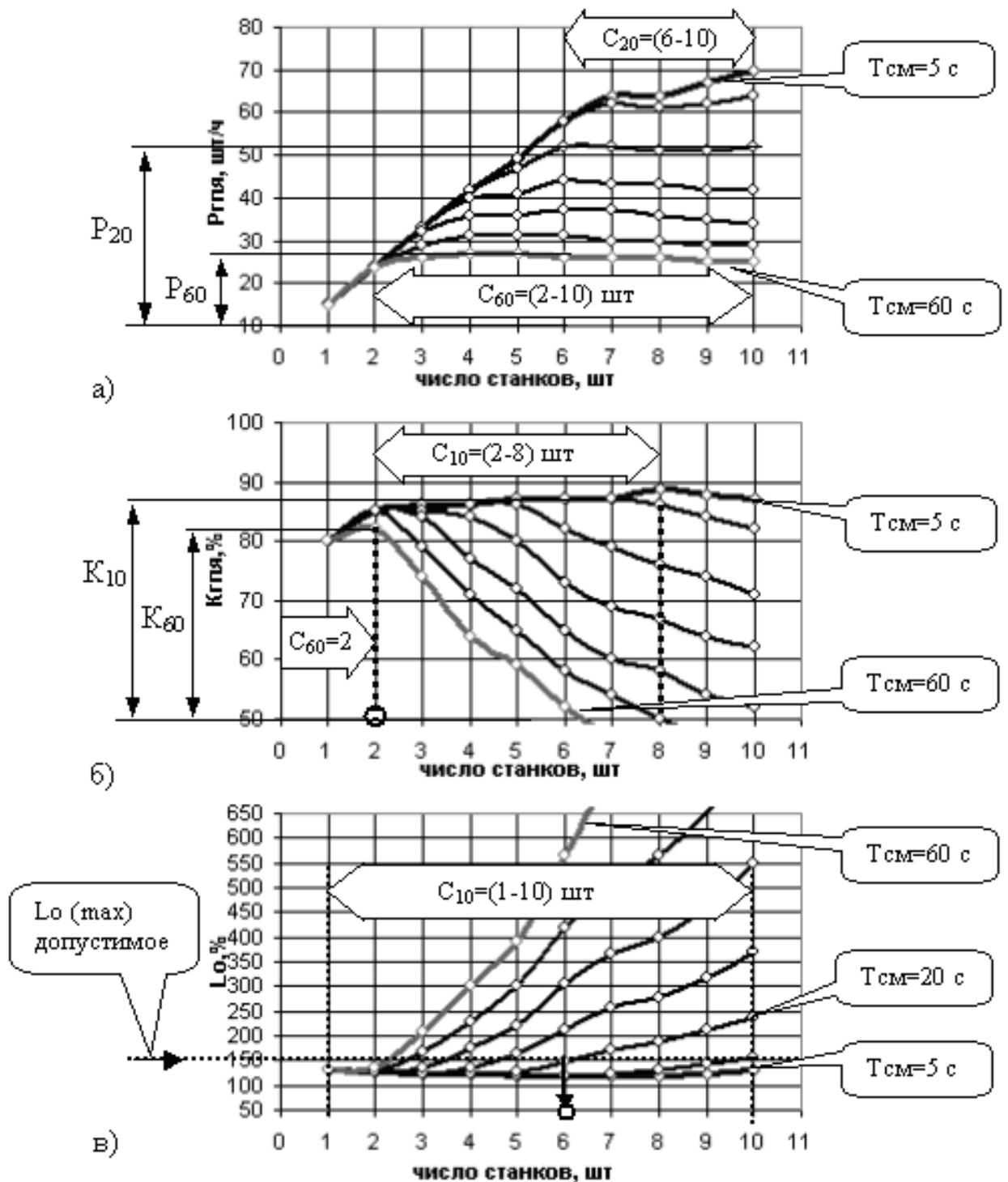


Рисунок 3.4 - Зависимость показателей эффективности ГПС длительности загрузки робокара и количества числа станков

Анализ прироста срока окупаемости (рисунок 3.4, в) показывает, что сокращение длительности цикла загрузки робокара позволяет минимизировать L_0 для всего исследуемого диапазона количества станков.

Можно отметить, что в случае $T_{CM} \leq 10$ с обеспечивается значение прироста срока окупаемости не более 150 %.

Полученные результаты можно использовать для определения количества станков по заданному значению прироста срока окупаемости и длительности цикла загрузки (выгрузки) робокара. Так, если заданы $L_0=150$ % и $T_{CM}=20$ с то по графику видно, что количество станков не должно превышать 6 шт.

Анализ рассеяния показателей эффективности ГПС при длительности цикла загрузки $T_{CM}=10$ с $T_{CM}=50$ с приведен на рисунке 3.5.

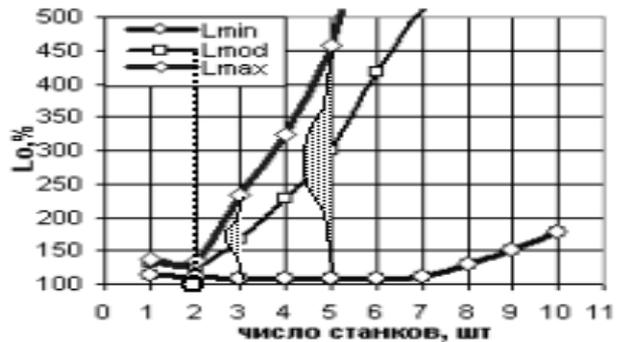
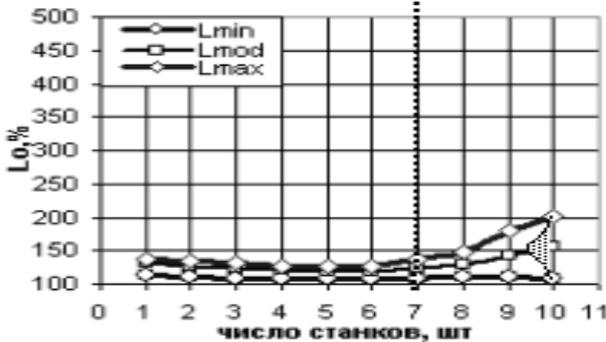
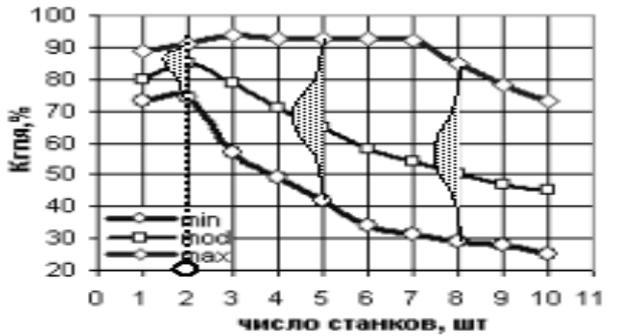
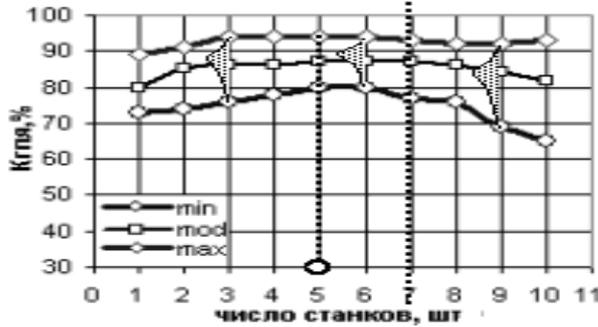
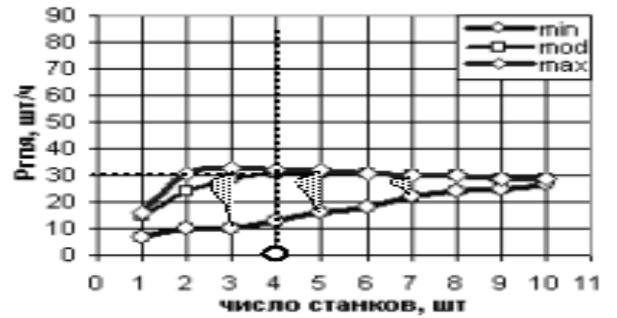
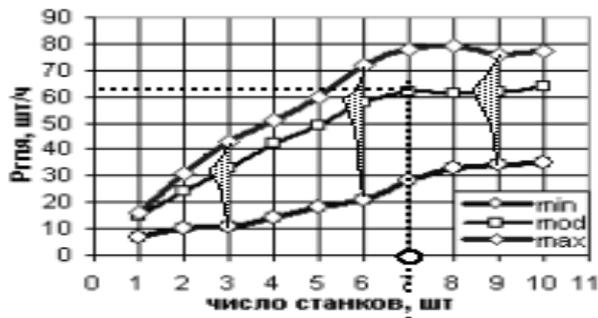
Сокращение длительности цикла загрузки робокара позволяет добиться увеличения оптимального количества станков по критерию максимальной производительности с 4 станков до 7-ми, что дает повешение производительности с 30 шт./ч до 80 шт./ч.

Следует также отметить, что достижение максимальной производительности при $T_{CM}=10$ с не приводит к ухудшению загрузки и срока окупаемости, в отличии от $T_{CM}=50$ с для которого оптимальное количество станков по коэффициенту загрузки и приросту срока окупаемости составит 2 шт., а по производительности – 7 шт.

Таким образом, сокращение времени загрузки (выгрузки) робокара позволяет выполнять оценку проектных решений по одному из показателей эффективности без ухудшения значения остальных.

3.2.2 Влияние скорости робокара на эффективность ГПС

Исследование влияния скорости робокара на эффективность ГПС проводилось в диапазоне $V_{TC}=0,5 - 3$ м/с. Для большинства современных средств доставки заготовок скорость перемещения составляет около 2 м/с. В то же время значение 3,5 м/с выбрано для рассмотрения вопроса о влиянии высокой скорости робокара на повышение эффективности ГПС.

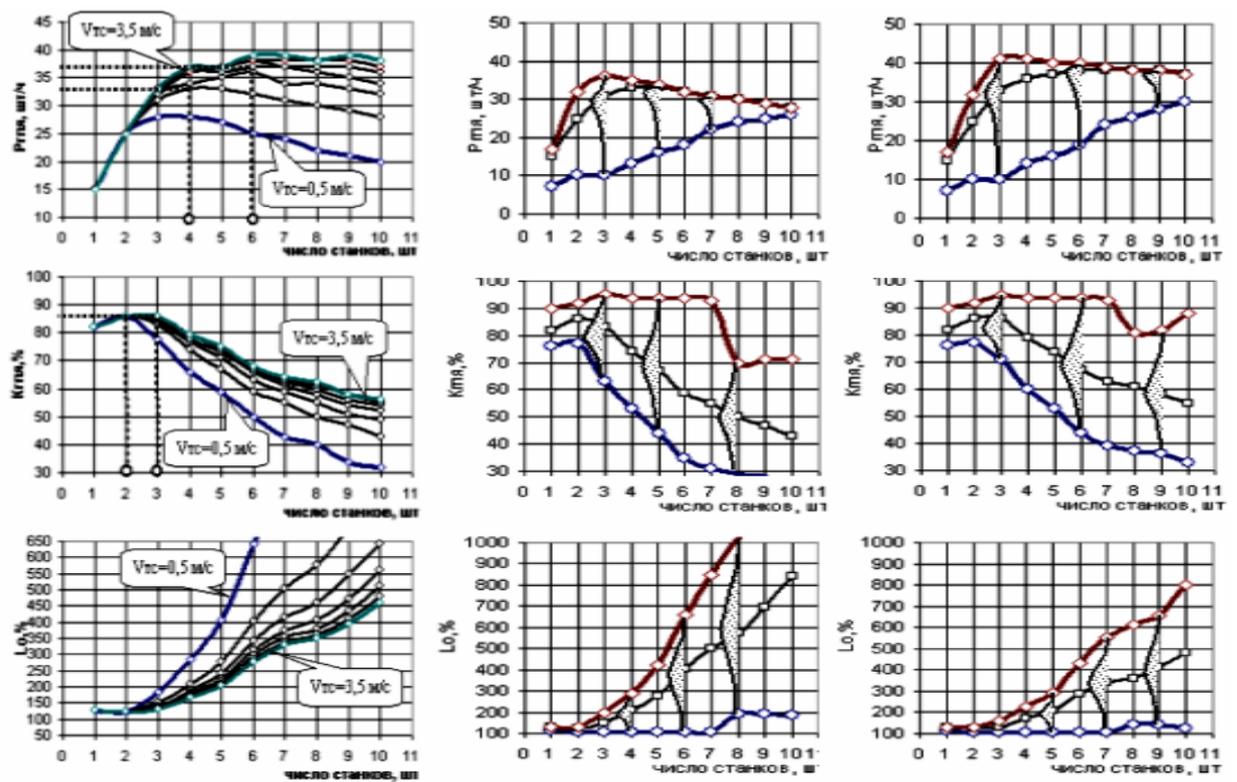


а) $T_{CM}=10$ с;

б) $T_{CM}=50$ с

Рисунок 3.5 – Влияние граничных значений длительности загрузки (выгрузки) робокара на рассеяние показателей эффективности ГПС для различного количества станков

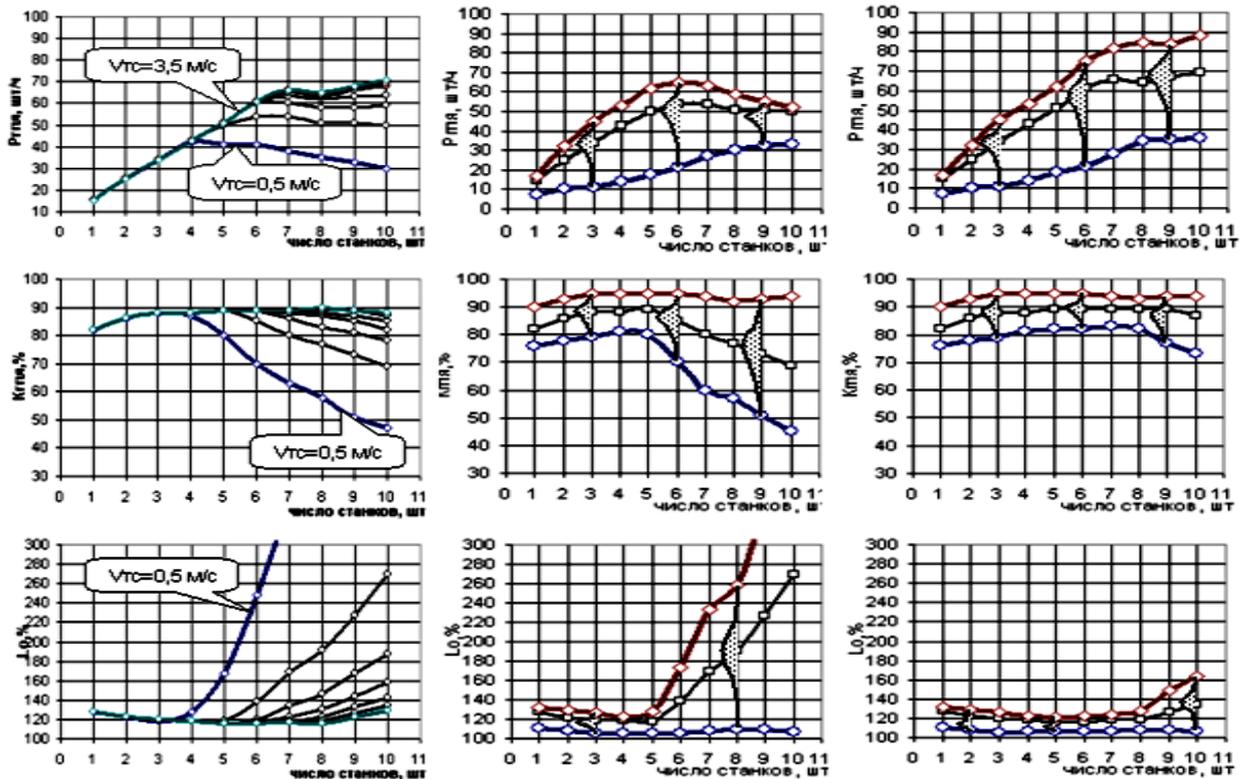
Как и в предыдущих исследованиях в этом разделе выполнено 2 серии экспериментов для времени загрузки (выгрузки) паллет $T_{CM}=40$ с, что сопоставимо с паспортными данными робокаров и $T_{CM}=10$ с, так как было установлено, что при такой длительности достигаются приемлемые значения всех трех анализируемых показателей эффективности. Часть результатов проведенных вычислительных экспериментов приведена на рисунке 3.6, остальные сведены в таблицу В.4, приложения В.



а)

$V_{TC}=1,0 \text{ м/с}$

$V_{TC}=3,0 \text{ м/с}$



б)

а) $T_{CM}=40 \text{ с}$; б) $T_{CM}=10 \text{ с}$

Рисунок 3.6 - Зависимости эффективности ГПС от количества станков при скорости перемещения робокары $V_{TC} = (0,5...3,5) \text{ м/с}$ и различной длительности цикла загрузки робокара

Повышение скорости робота до 1,5 м/с и более делает предпочтительным количество станков $C=6$ шт., хотя при этом наблюдается лишь незначительное повышение средней производительности.

Сопоставление с коэффициентом загрузки и приростом срока окупаемости при $V_{TC} \geq 1,0$ м/с и $T_{CM}=40$ с дает целесообразный диапазон количества станков $C=1 - 3$ шт., что позволяет говорить о несовпадении проектных параметров оцениваемых по различным критериям.

Анализируя рассеяние показателей эффективности ГПС при повышении маршевой скорости робота с 1 до 3 м/с прослеживается повышение средней производительности и появление участка стабилизации при различном количестве станков. Вместе с тем следует отметить увеличение разброса производительности за счет повышения ее максимальных значений. Для коэффициента загрузки и прироста срока окупаемости минимальные значения разброса соответствуют диапазону количества станков $C=1 - 3$ шт.

При использовании робота с длительностью загрузки $T_{CM}=10$ с разными значениями маршевой скорости передвижения отмечаются совпадения рационального количества станков по средним значениям всех исследуемых показателей эффективности ($P_{ГПС}$, $K_{ГПС}$ и L_0). Однако, если оценивать количество станков по рассеянию значений показателей эффективности, то можно отметить, что при $V_{TC}=1$ м/с по рассеянию производительности количество станков составит 6 – 7 шт., а по рассеянию коэффициента загрузки и прироста срока окупаемости – 1 – 5 шт.

Для времени смены $T_{CM}=10$ с и скорости передвижения $V_{TC}=3$ м/с средние значения показателей эффективности и их рассеяние стабильно принимают экстремальные значения при количестве станков $C=2 - 8$ шт., что совпадает для производительности $P_{ГПС}$ при количестве станков $C=7-8$ шт. Таким образом, параллельное ужесточение параметров робота позволяет достичь совпадения оптимального количества станков для всех исследуемых показателей эффективности.

3.2.3 Использование нескольких робокаров с паспортными характеристиками

На графиках (рисунок 3.6), отражающих зависимость средних значений показателей эффективности от изменения количества станков при использовании одного робокара ($N_{ТС}=1$ шт.), оборудования с паспортными характеристиками и установленной трудоемкостью производственной программы, значение средней производительности $P_{ГПС}=37$ шт./ч достигается при использовании 6 станков. Подобный результат можно увидеть и на рисунке 3.7 для длительности цикла загрузки $T_{СМ}=40$ с, что подтверждает корректность производимых вычислительных экспериментов.

Для 6 станков коэффициент загрузки $K_{ГПС}$ составляет 65 %, а среднее значение прироста срока окупаемости $L_O=320$ %, что означает превышение экономически рассчитанного норматива более чем в 3 раза. Данное значение окупаемости делает экономически невыгодным создание подобной ГПС.

Если такую ГПС оснастить двумя робокарами, то достигается повышение производительности до $P_{ГПС}=55$ шт./ч.

Прирост производительности ГПС составит:

$$\Delta P = \frac{(55 - 37)}{37} \times 100 \approx 49 \text{ \%} .$$

При использовании 2-х робокаров $K_{ГПС}$ увеличивается на 31 % и составляет 85 %, прирост срока окупаемости заметно снижается до $L_O=132$ %. Это означает, что при рассчитанном сроке окупаемости, например 2 года, срок окупаемости с учетом прироста из-за неучтенных простоев для данной ГПС составит 2,64 года.

Отсюда можно сделать вывод, что увеличение количества робокаров до 2 штук для ГПС из 6 станков значительно улучшает средние значения каждого из исследуемых показателей эффективности.

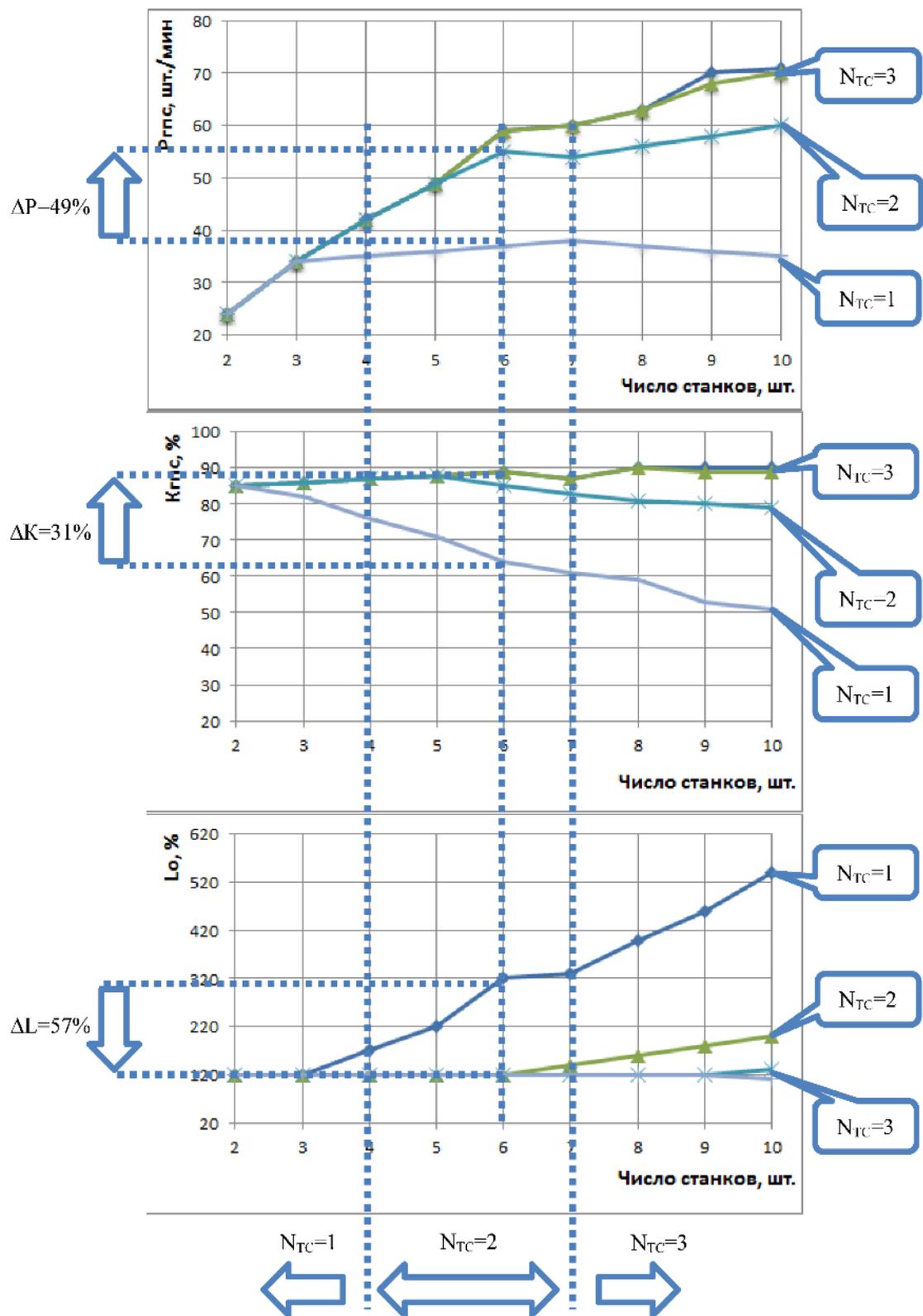


Рисунок 3.7 – Зависимости эффективности ГПС для различного числа станков и роботаков

Исходя из графиков можно отметить, что использование двух робокаров уже целесообразно при количестве станков $C=4$ шт., а трех робокаров – при $C=7$ станков.

Вместе с усредненными значениями показателей эффективности одной из количественных оценок является поле рассеяния $\omega = X_{max} - X_{min}$. Поле рассеяния характеризует устойчивость функционирования производственной системы: чем меньше данная величина, тем более стабилен и предсказуем производственный процесс.

Поле рассеяния показателей эффективности для ГПС с одним робокаром и для ГПС с тремя робокарами представлено на рисунке 3.8 а) и б) соответственно.

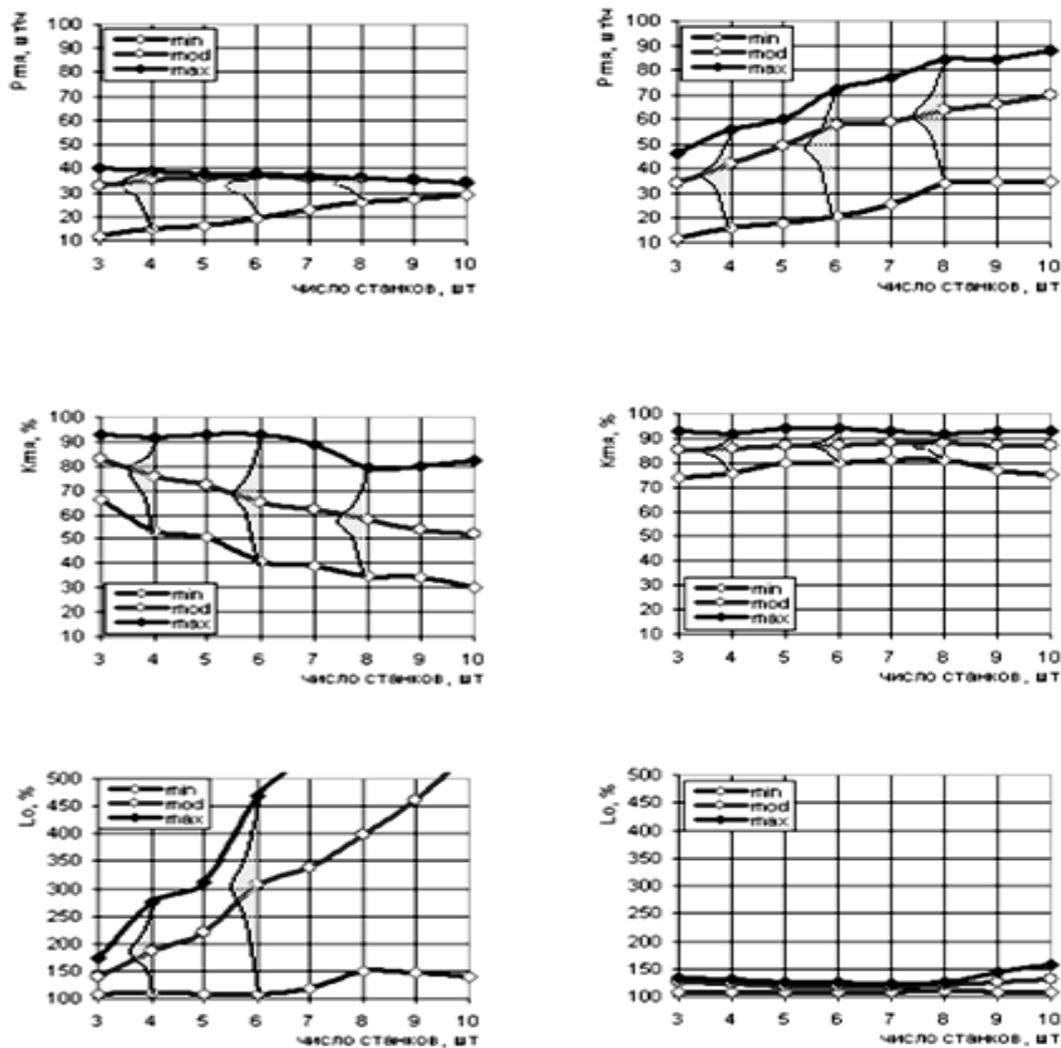
Исходя из представленных графиков можно отметить, что поле рассеяния загрузки оборудования ω_K и прироста срока окупаемости ω_L имеют гораздо меньший разброс по сравнению с полем рассеяния производительности.

На рисунке 3.8 видно, что при использовании трех робокаров для производительности ГПС характерно практически линейное повышение среднего значения, в сопровождении с незначительным расширением поля рассеяния ω_P . Расширение поля рассеяния ω_P вызвано тем, что при использовании как одного так и трех робокаров минимальные значения производительности ГПС приблизительно одинаковы, с небольшим преимуществом для трех робокаров, а вот максимальные и, соответственно, средние значения повышаются с увеличением количества станков.

Такие результаты обосновываются тем, что при проведении вычислительных экспериментов обрабатывались сменные задания со значительным разбросом трудоемкости $\omega_T = 22,7 - 2,5 = 20,2$ мин.

Приведенные результаты вычислительных экспериментов получены для ГПС, использующих робокры с паспортными характеристиками ($V_{TC} = 2$ м/с, $T_{CM} = 40$ с). Далее рассмотрим зависимость эффективности функционирования

ГПС при использовании различного количества робокаров с сокращенной длительностью цикла загрузки (выгрузки) паллет.



а) $N_{TC}=1$ шт.;

б) $N_{TC}=3$ шт.

Рисунок 3.8 – Поле рассеяния показателей эффективности ГПС для различного числа станков и робокаров

3.2.4 Использование робокара с форсированным циклом загрузки/выгрузки

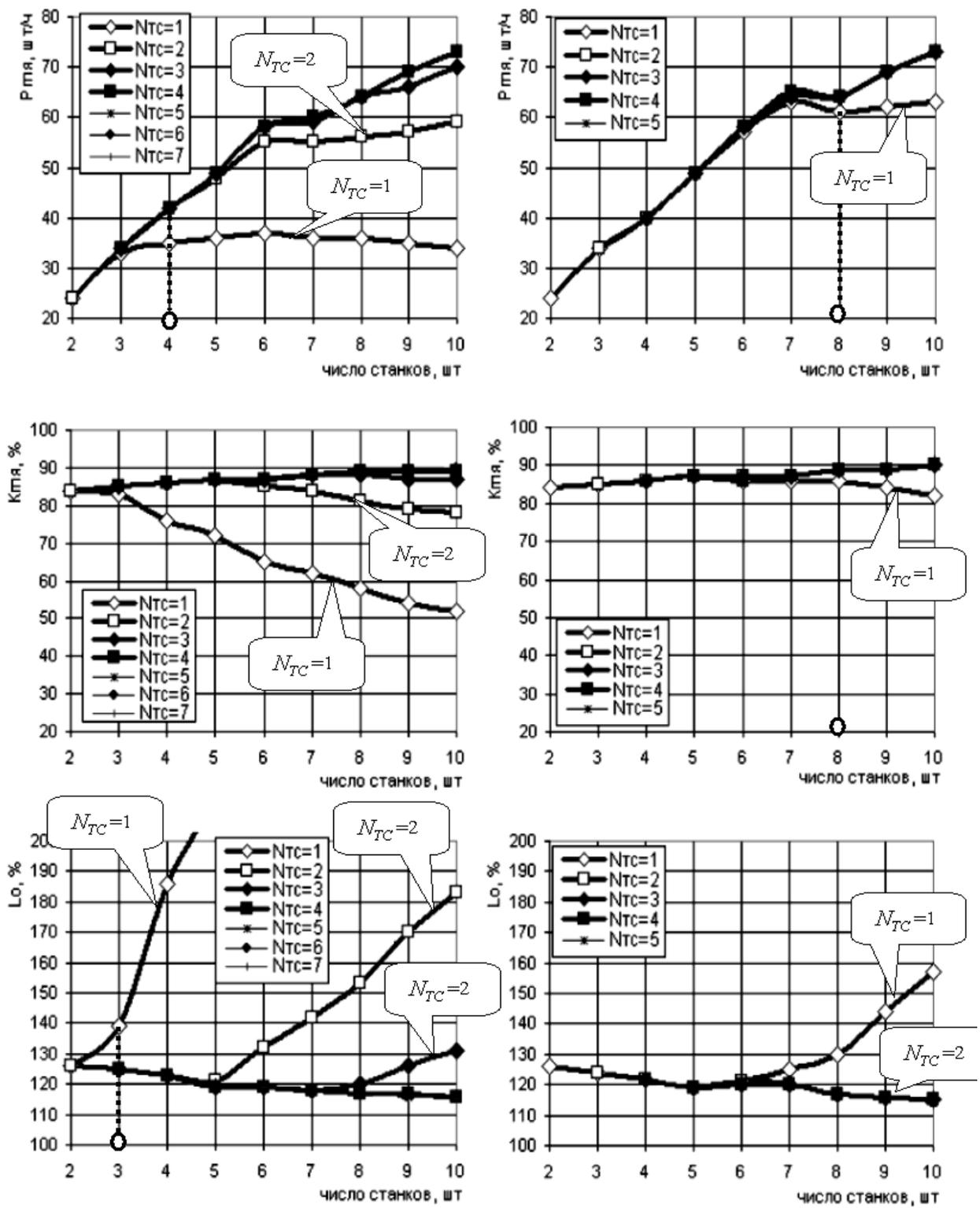
Как и в предыдущих вычислительных экспериментах рассмотрены зависимости изменения поля рассеяния и средних значений показателей эффективности ($P_{ГПС}$, $K_{ГПС}$ и L_0) при варьировании количества станков от 1 до 10 шт. и при изменении количества робокаров от 1 до 5 шт.

Зависимости средних значений показателей эффективности приведены на рисунке 3.9. Для наглядности (рисунок 3.9, а) представлены зависимости с использованием робокаров с паспортными характеристиками ($T_{CM}=40$ с) совместно с зависимостями для робокаров со временем смены паллет $T_{CM}=10$ с.

Из графиков можно сделать вывод, что включение в состав ГПС робокаров с ускоренным циклом загрузки (выгрузки) паллет не дает существенного улучшения эффективности по всем трем исследуемым показателям. Однако сокращение T_{CM} значительно сокращает необходимое число робокаров. Так при $T_{CM}=40$ с для критерия максимального значения средней производительности $P_{ГПС}$ использование двух робокаров требуется при количестве станков $C=4$ шт., тогда как при $T_{CM}=10$ с необходимость включения в состав ГПС двух средств доставки заготовок возникает только при количестве станков $C=8$ шт. (рисунок 3.8). Так же следует отметить совпадение поведения кривых, отражающих эффективность по критериям производительности $P_{ГПС}$ и загрузки $K_{ГПС}$, чего не наблюдалось в вычислительных экспериментах с использованием одного робокара.

Зависимости поля рассеяния показателей эффективности при включении в состав ГПС средств доставки заготовок с сокращенным временем загрузки (выгрузки) паллет также приведены в сравнении с результатами вычислительных экспериментов, проведенных для транспортных средств с паспортным значением длительности цикла загрузки (рисунок 3.10).

По графикам видно, что как и в предыдущем эксперименте, сокращение времени смены заготовок на транспортном средстве не дает существенного улучшения показателей эффективности для ГПС с количеством станков менее 7 шт.

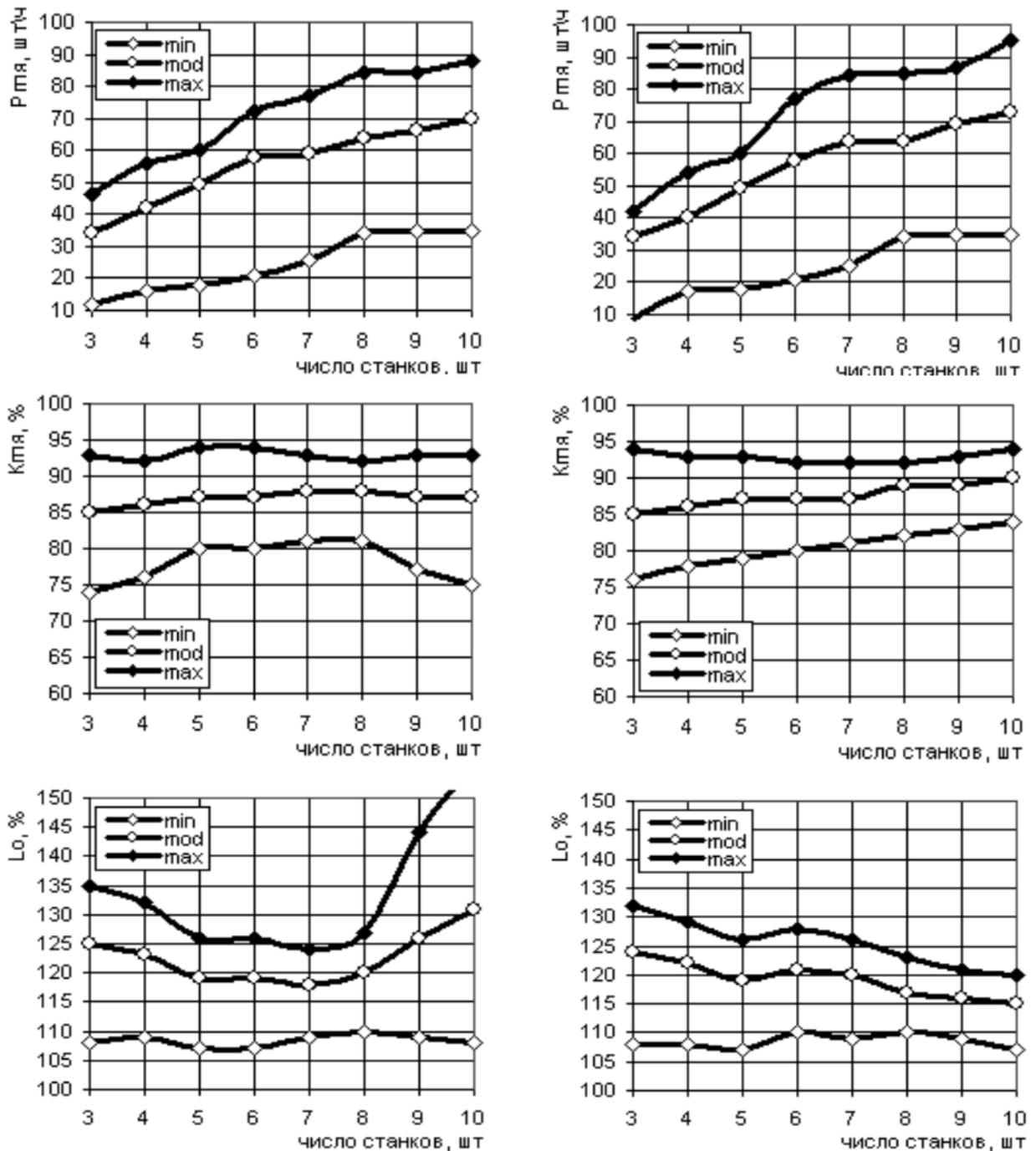


а) $T_{CM} = 40$ с;

б) $T_{CM} = 10$ с

Рисунок 3.10 – Показатели эффективности ГПС при различном числе станков и средств доставки заготовок

При последующем увеличении количества станков при $T_{CM}=10$ с для коэффициента загрузки и прироста срока окупаемости отмечается стабильно малое рассеяние ($\omega_K=10\%$, $\varepsilon_K=0,11$, $\omega_L=13\%$, $\varepsilon_L=0,11$ для числа станков $C=10$ шт., рисунок 3.11, б).



а) $T_{CM}=40$ с;

б) $T_{CM}=10$ с

Рисунок 3.11 – Поле рассеяния показателей эффективности ГПС при различном числе станков и трех робокарах

3.3 Сводные результаты оценки эффективности ГПС

Целью проведения данных вычислительных экспериментов является оценка влияния изменяемых параметров основного и вспомогательного технологического оборудования, а также режимов их работы на показатели эффективности ГПС.

Всего проведено 9 серий экспериментов, для каждой из которых изменяемый параметр x_i варьировался в диапазоне допустимых значений $x_i = \{x_i^{\min}, \dots, x_i^{\max}\}, i = 1, \dots, 9$. Граничные значения диапазона выбраны на основе возможности их практической реализации.

Такая возможность обеспечивается либо проектированием модульной конструкции нового оборудования, отвечающего требованиям технического задания на организацию ГПС, либо организацией работы ГПС за счет выбора времени цикла безлюдной работы и варьирования содержимого сменных заданий.

Для каждого из параметров x_i проанализировано 6 – 7 значений заданного диапазона при фиксированных значениях остальных 8 параметров, соответствующих значениям, принятым в ходе проведения вычислительных экспериментов (отмечается в условиях проведения эксперимента), либо паспортным значениям.

Анализ воздействия каждого из девяти параметров на эффективность ГПС выполнялся на основе средних значений и поля рассеяния трех показателей: производительности $P_{ГПС}$, коэффициента загрузки $K_{ГПС}$ и срока окупаемости L_0 .

Для систематизации полученных результатов выполнено приведение абсолютного значения каждого параметра x_i к его относительному представлению в форме равнозначных дискрет приращения аргумента

$$x_i = k \times x_i^{\min}$$

где k – номер интервала;

x_i^{\min} – наименьшее значение i -го параметра, принятое как дискрета приращения.

Результаты систематизации представлены в таблице 3.1, в которой прочерки соответствуют отсутствующим значениям параметра.

Таблица 3.1 – Значения параметров после приведения к относительному представлению

k	$k \times x_i^{\min}$	$T_{Ц}$, мин	T_C , с	$T_{СМ}$, с	$V_{ТС}$, м/с	$M_{ПН}$, шт.	S_{2T}	$t_{ум}$		
								$S_{СТ}$	$S_{ТЦ}$	$S_{ТС}$
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Значения x_i для k -го интервала i -го параметра										
неиспользуемые значения		-	5	5	-	-	-	-	-	-
1	$1 \times x_i^{\min}$	240	10	10	0,5	2	1,0	1,0	1,0	1,0
2	$2 \times x_i^{\min}$	480	20	20	1,0	4	2,0	2,0	2,0	2,0
3	$3 \times x_i^{\min}$	720	30	30	1,5	6	3,0	3,0	3,0	3,0
4	$4 \times x_i^{\min}$	960	40	40	2,0	8	4,0	4,0	4,0	4,0
5	$5 \times x_i^{\min}$	1200	50	50	2,5	10	5,0	5,0	5,0	5,0
6	$6 \times x_i^{\min}$	1440	60	60	3,0	12	-	-	-	-
неиспользуемые значения		-	-	-	3,5	-	-	-	-	-

В этой таблице:

- $T_{Ц}$ – время выполнения СЗ, мин;
- T_C - время смены заготовок на станке, с;
- $T_{СМ}$ - время смены заготовок на робокаре, с;

- V_{TC} - максимальное значение маршевой скорости транспортного средства, м/с;
- $M_{ПН}$ – количество пристаночных накопителей, шт.;
- S_{2T} – 2 позиции на робокаре;
- $S_{СТ}$ - робокар с паспортными характеристиками;
- $S_{ТЦ}$ – робокар с форсированным временем цикла загрузки;
- $S_{ТС}$ - робокар с форсированными характеристиками.

Выполненная систематизация привела к исключению из рассмотрения части граничных значений параметров (это минимальные значения времени смены заготовок на станке $T_C=5$ с и на робокаре $T_{CM}=5$ с и максимальное значение маршевой скорости транспортного средства $V_{TC}=3,5$ м/с), что позволило задать общий относительный аргумент для 50 значений параметров. Неучтенные значения параметров при этом составили 5,7 % ($100/53 \times 3$).

Выполненное приведение значений параметров к представлению в форме относительных аргументов позволило соотнести на одной шкале несколько различных функции.

Полученные результаты вычислительных экспериментов, представленных как наибольшие средние значения исследуемых показателей эффективности $K_{ГПС}$, $P_{ГПС}$, L_O , полученные при соответствующем числе станков, приведены в таблицах 3.2 - 3.4.

Исходя из данных таблицы 3.2 максимальное значение производительности $P_{ГПС}=77$ шт./ч достигается в случае выпуска изделий с трудоемкостью $t_{ум}=1$ мин, с применением робокара $S_{ТС}$ с форсированными характеристиками. Данное значение производительности достигается при работе двух станков, имеющих коэффициент загрузки $K_{ГПС}=86$ % и прирост срока окупаемости $L_O=117$ % от рассчитанного экономически.

Таблица 3.2 – Наибольшие средние значения производительности ГПС и соответствующие им значения количества станков

k	$T_{Ц}$, мин	T_C , с	$T_{СМ}$, с	$V_{ТС}$, м/с	$M_{ПН}$, шт.	S_{2T}	$t_{ум}$		
							$S_{СТ}$	$S_{ТЦ}$	$S_{ТС}$
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Производительность, $R_{ГПС}$, шт./ч								
1	39	37	64	28	36	67	34	73	77
2	38	37	52	33	36	67	34	70	73
3	38	37	44	36	37	67	33	66	69
4	37	37	37	37	37	64	33	63	66
5	38	37	31	38	37	63	32	60	63
6	38	37	27	38	37	-	-	-	-
	Количество станков, C_P , шт.								
1	3	5	10	3	6	5	2	3	2
2	4	5	6	4	5	5	2	4	3
3	6	5	6	6	7	5	3	5	4
4	6	5	6	6	7	6	3	6	5
5	4	5	4	6	6	6	4	6	6
6	4	5	4	6	6				

Таблица 3.3 - Наибольшие средние значения загрузки ГПС и соответствующие им значения количества станков

k	$T_{Ц}$, мин	T_C , с	$T_{СМ}$, с	$V_{ТС}$, м/с	$M_{ПН}$, шт.	S_{2T}	$t_{ум}$		
							$S_{СТ}$	$S_{ТЦ}$	$S_{ТС}$
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Коэффициент загрузки $K_{ГПС}$, %								
1	77	97	87	86	86	70	54	55	86
2	80	94	86	86	86	78	71	71	92
3	82	91	85	86	86	81	78	78	95
4	85	88	85	86	86	83	83	83	96
5	85	86	85	86	86	85	86	86	97
6	86	85	82	86	86				
	Количество станков, C_K , шт.								
1	1	2	7	2	2	2	1	1	1
2	2	2	5	2	2	3	1	1	2
3	2	2	3	2	2	4	2	3	1
4	2	2	2	2	2	1	1	2	2
5	2	2	2	2	2	1	1	1	1
6	2	2	2	3	2				

При использовании робокара S_{TC} достигается наибольшая производительность во всем диапазоне варьирования всех анализируемых параметров (выделено полужирным в таблице 3.2). При трудоемкости обрабатываемых заготовок $t_{um} \geq 3$ мин и с применением робокара S_{TC} достигается и максимальное значение коэффициента загрузки ГПС, соответствующего $K_{ГПС}=95 - 97$ % (таблица 3.3). В то же время производительности $P_{ГПС} = 63 - 69$ шт./ч соответствует число станков $C_P=4 - 6$ шт., а загрузка $K_{ГПС}=95 - 97$ % достигается при использовании одного-двух станков.

Максимальное количество станков для наибольшей средней производительности $P_{ГПС} = 64$ шт./ч составляет $C_P=10$ шт. Но по показателю загрузки $K_{ГПС}= 87$ % целесообразно выбрать только $C_K=7$ станков (таблица 3.3), а по показателю прироста срока окупаемости $L_O=119$ % - $C_L=5$ станков (таблица 3.4).

Таблица 3.4 - Наименьшие средние значения прироста срока окупаемости ГПС и соответствующие им значения количества станков

k	$T_{Ц}, \text{ мин}$	$T_{С}, \text{ с}$	$T_{СМ}, \text{ с}$	$V_{ТС}, \text{ м/с}$	$M_{ПШ}, \text{ шт.}$	S_{2T}	t_{um}		
							$S_{СТ}$	$S_{ТЦ}$	$S_{ТС}$
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Прирост срока окупаемости, L_O , %									
1	133	106	119	123	123	160	184	183	117
2	131	110	122	122	122	134	142	142	108
3	129	114	124	123	123	126	128	128	106
4	125	118	127	123	123	121	121	121	104
5	125	123	127	123	123	120	117	117	103
6	125	127	133	123	123				
Количество станков, C_L , шт.									
1	1	1	5	2	2	1	1	1	1
2	2	2	4	2	2	1	1	1	1
3	2	2	3	2	2	1	1	1	1
4	2	2	2	2	2	1	1	1	1
5	2	2	2	2	2	1	1	1	1
6	2	2	1	2	2				

Таким образом, результаты проведённых вычислительных экспериментов в описанном виде не дают возможности определить однозначное соответствие между исследуемыми наборами параметров оборудования, режимов эксплуатации и трудоемкости изделий – с одной стороны, и числом станков в ГПС, оцениваемым по показателям $K_{ГПС}$, $P_{ГПС}$, L_0 , с другой.

Для определения зависимостей между параметрами ГПС и показателями эффективности ее функционирования произведем статистическую и графическую обработку полученных результатов. Графическая интерпретация данных, представленных в таблицах 3.1 – 3.4, приведена на рисунке 3.12.

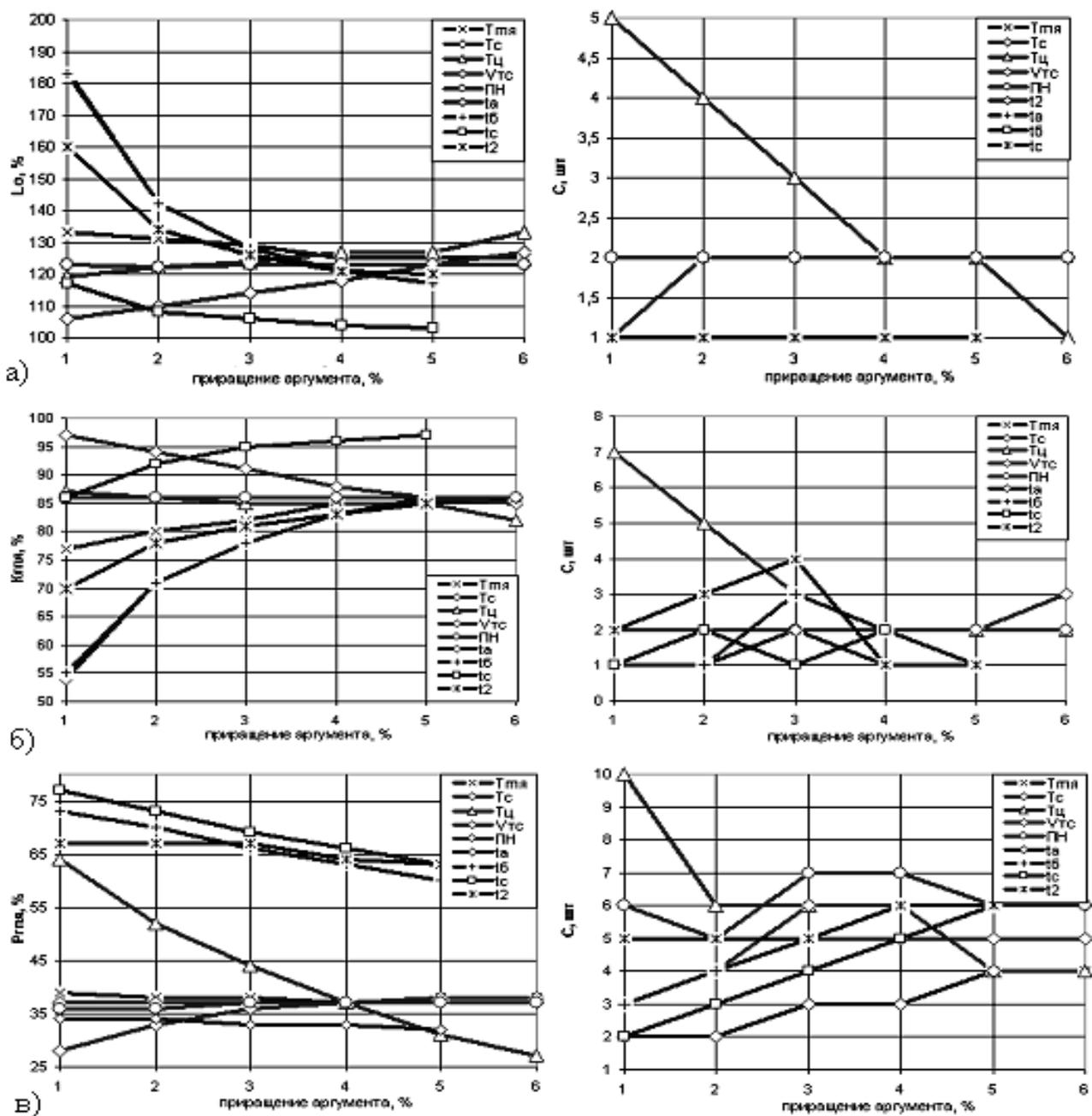
Приведенные зависимости отражают изменение средних значений показателей эффективности и числа станков при изменении исследуемых параметров. На графиках видно, что проанализированные значения параметров ГПС оказывают не равнозначное влияние на соответствующие показатели эффективности.

Рассчитаем количественную (вес) оценку каждого параметра β_j , $j = [1, 2, \dots, 9]$ через отношение разности граничных значений диапазона изменения показателя эффективности к минимальному значению показателя:

$$\beta_j = \frac{(\max_j - \min_j)}{\min_j}.$$

Так, для цикла смены заготовок на робокаре $T_{СМ}$ влияние β_P его значений на производительность $P_{ГПС}$ составит (таблица 3.5):

$$\beta(P_{ГПЯ}) = \frac{64 - 27}{27} = 1,37.$$



а) - прироста срока окупаемости L_0 и соответствующего количества станков C_L ; б) – коэффициента загрузки $K_{плз}$ и соответствующего количества станков C_K ; в) – производительности $P_{плз}$ и соответствующего количества станков C_P

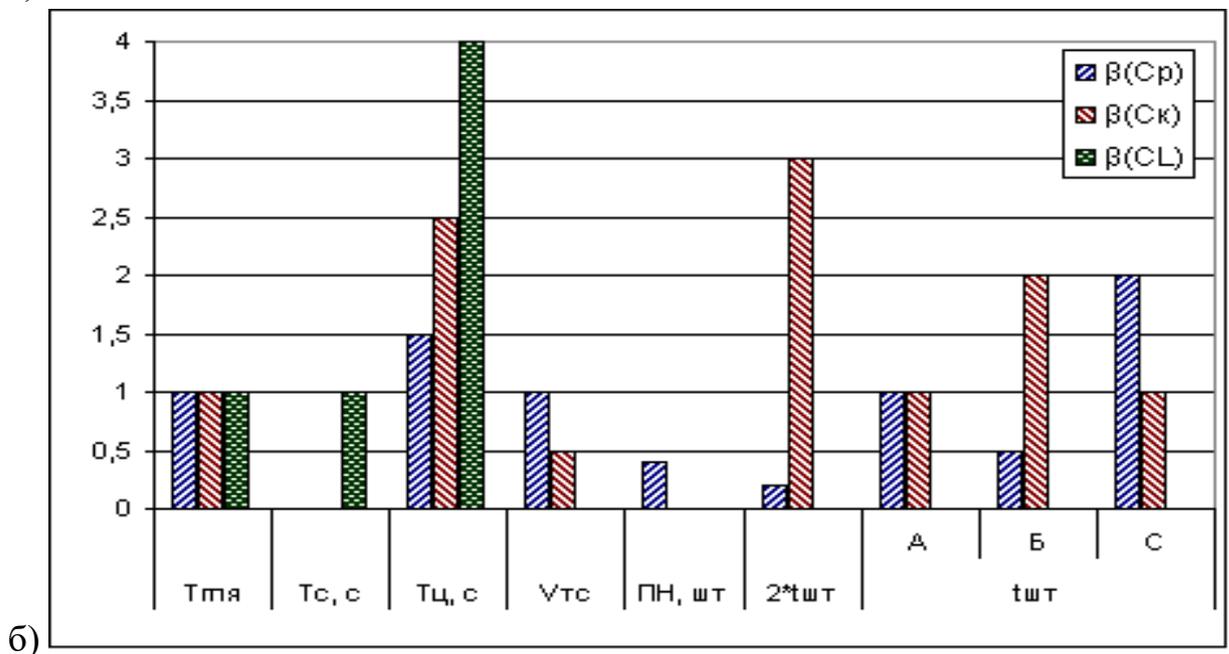
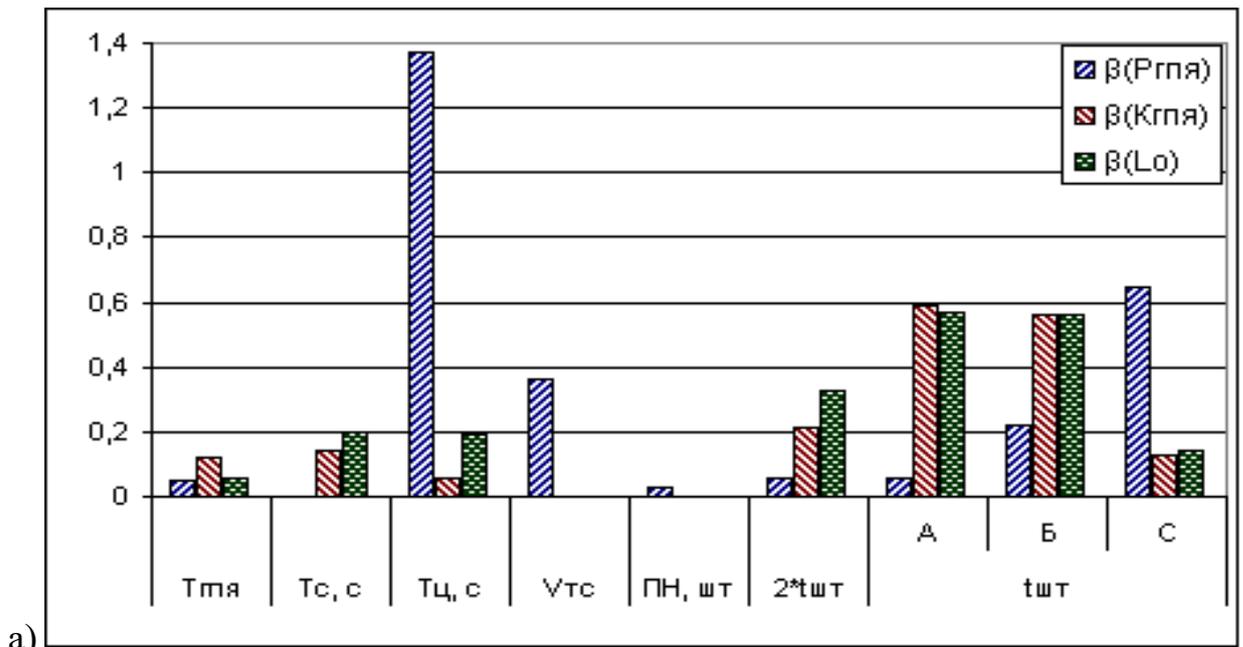
Рисунок 3.12 – Зависимости изменения показателей эффективности и числа станков при изменении исследуемых параметров

Таблица 3.5 - Количественное исследуемых параметров на показатели эффективности ГПС

β	$T_{Ц}$, мин	T_C , с	T_{CM} , с	V_{TC} , м/с	$M_{ПН}$, шт.	S_{2T}	$t_{ум}$		
							S_{CT}	S_{TC}	S_{TC}
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Влияние исследуемых параметров на показатели эффективности ГПС									
$\beta(P_{ГПС})$	0,05	0	1,37	0,36	0,03	0,06	0,06	0,22	0,65
$\beta(K_{ГПС})$	1,0	0	1,5	1,0	0,4	0,2	1,0	0,5	2,0
$\beta(L_0)$	0,12	0,14	0,06	0	0	0,21	0,59	0,56	0,13
Влияние исследуемых параметров на рациональное количество станков в ГПС									
$\beta(C_P)$	1,0	0	2,5	0,5	0	3,0	1,0	2,0	1,0
$\beta(C_K)$	0,06	0,20	0,19	0	0	0,33	0,57	0,56	0,14
$\beta(C_L)$	1,0	1,0	4,0	0	0	0	0	0	0

Влияние этого же параметра (цикл загрузки паллет, T_{CM}) но уже на количество станков составит $\beta(C_P) = (10-4)/4 = 1,5$. Результаты расчёта по такому принципу влияния каждого из 9 исследуемых параметров на показатели эффективности $K_{ГПС}$, $P_{ГПС}$, L_0 и соответствующее количество станков C_P , C_K и C_L сведены в таблицу 3.5, а их графическая интерпретация представлена на рисунке 3.13.

Исходя из полученных результатов можно сделать вывод, что проанализированные характеристики оборудования, объектов производства и режимов работы выборочно и в различной степени оказывают влияние на показатели эффективности ГПС. На производительность $P_{ГПС}$ наибольшее влияние оказывает время загрузки (выгрузки) заготовок на транспортном средстве T_{CM} , весовой коэффициент которого составил $\beta_1(P_{ГПС})=1,37$. При этом его значение превышает значение следующего по важности коэффициента, соответствующего влиянию трудоёмкости изделий, более чем в два раза ($\beta_9(P_{ГПС})=0,65$).



а) – показатели эффективности; б) – количество станков

Рисунок 3.13 – Результаты количественной оценки исследуемых параметров на эффективность ГПС

Так как трудоемкость производственной программы анализировалась при различных характеристиках робокара (S_{CT} , S_{2T} , S_{TC}), можно сделать вывод о незначительном влиянии трудоемкости на эффективность ГПС: использование робокара с паспортными характеристиками S_{CT} и трудоемкости

S_{2T} оказывают незначительное влияние на производительность ($\beta_6(P_{ГПС}) = \beta_7(P_{ГПС}) = 0,06$). В то же время, использование робокара с ужесточенными характеристиками оказывает существенное влияние на выбор количества станков системы. Отдельно проанализированные характеристики робокара T_{CM} и V_{TC} , отличающиеся высоким значением весовых коэффициентов, также подтверждают сделанный выше вывод (рисунок 3.14).

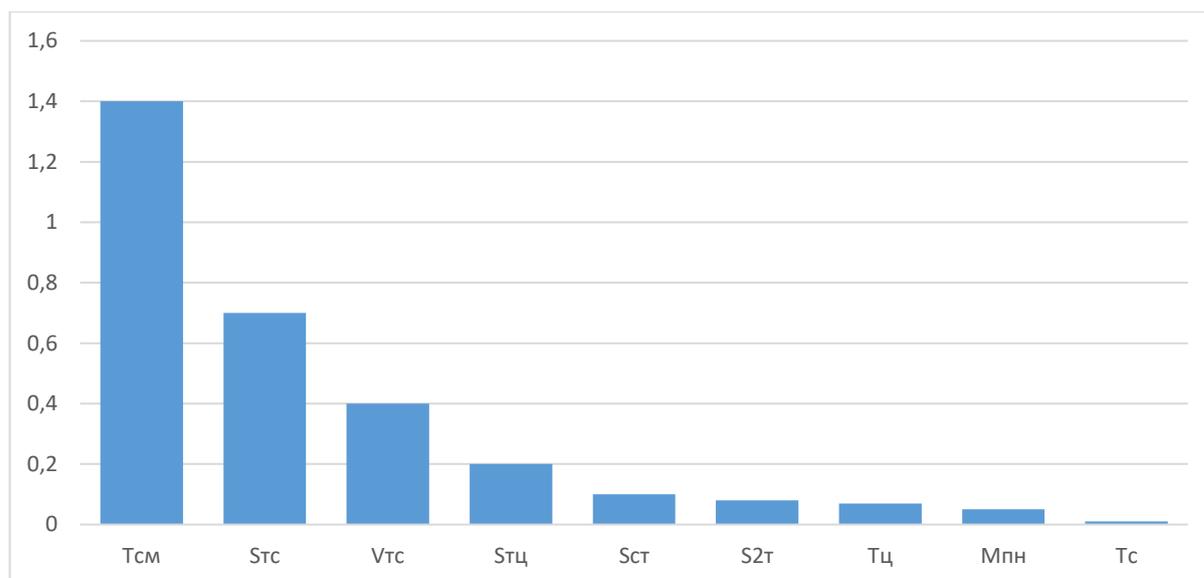


Рисунок 3.14 – Ранжированные по степени значимости параметры производственной системы для критерия производительности

Судя по графику, можно сделать вывод о том, что для повышения производительности в количественном выражении является подбор характеристик транспортных средств и их количество.

3.4 Сводная количественная оценка эффективности принятия решений

В результате проведения вычислительных экспериментов при варьировании количества транспортных средств таблица 3.1 была дополнена новыми варьируемыми параметрами – это количество робокаров, имеющих

паспортные характеристики $N_{ТС}^{\Pi}$, и количество робокар с форсированными характеристиками $N_{ТС}^{\Phi}$. Так как применение нескольких робокар позволяет создать ГПС с любым допустимым количеством станков, для оценки варьируемых параметров воспользуемся весовыми коэффициентами средних значений и поля рассеяния показателей эффективности.

Расчет весовых коэффициентов ε , отражающих разброс показателей рассчитаем по тому же принципу, по которому рассчитывались коэффициенты β для средних значений (таблица 3.6):

$$\varepsilon = \frac{\omega^{\max} - \omega^{\min}}{\omega^{\min}},$$

где ω^{\max} , ω^{\min} – наибольшее и наименьшее значение поля рассеяния показателя эффективности производственной системы.

Таблица 3.6 – Обобщенная количественная оценка влияния параметров производственной системы на показатели ее эффективности

ε	$T_{ц},$ мин	$T_{с},$ с	$T_{см},$ с	$V_{ТС},$ м/с	$M_{пн},$	$S_{2г}$	$t_{шт}$			$N_{ТС}^{\Pi}$	$N_{ТС}^{\Phi}$
						$S_{СТ}$	$S_{ТЦ}$	$S_{ТС}$			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Влияние на показатели эффективности											
$\varepsilon(P_{ГПЯ})$	0,05	0	1,37	0,36	0,03	0,06	0,06	0,22	0,65	0,97	0,16
$\varepsilon(K_{ГПЯ})$	1,0	0	1,5	1,0	0,4	0,2	1,0	0,5	2,0	0,07	0,02
$\varepsilon(L_0)$	0,12	0,14	0,06	0	0	0,21	0,59	0,56	0,13	0,1	0,04
Влияние на оптимальное число станков в ГПС											
$\varepsilon(C_p)$	1,0	0	2,5	0,5	0	3,0	1,0	2,0	1,0	0,67	0
$\varepsilon(C_K)$	0,06	0,20	0,19	0	0	0,33	0,57	0,56	0,14	4,0	0,8
$\varepsilon(C_L)$	1,0	1,0	4,0	0	0	0	0	0	0	4,0	1,0

Полученные результаты частично совпадают с результатами, представленными в таблице 3.5. Дополнительно введенные параметры оказывают незначительное влияние на эффективность ГПС. При этом, как и было отмечено в подразделе 3.2.4, форсированные характеристики робокара снижают требования к количеству средств доставки заготовок. В отношении станков весовой коэффициент, отвечающий за количество транспортных средств с паспортными характеристиками, имеет максимальное значение по загрузке оборудования и по приросту срока окупаемости. Это объясняется тем, что увеличение робокар с паспортными характеристиками позволяет обслуживать большее количество станков.

3.5 Выводы по третьей главе

Рассмотренные в разделе этапы предпроектных исследований ГПС и их содержание представлены в виде формализованного описания, включающего математическое, алгоритмическое, методическое и программное обеспечение программ и программных модулей.

Разработано содержание Технического задания на проектирование и Технического предложения по созданию ГПС, детально проработана последовательность и содержание этапов перехода от ТЗ к ТП.

Конкретизирован набор входных данных и выходных результатов выполнения каждого этапа, обосновано использование математического и инфологического аппарата для реализации проектных процедур.

Предложена методика оценки влияния проектных параметров на эффективность производственных систем, основанная на ранжировании весов их воздействия на принятые показатели эффективности.

Таким образом, обеспечение высокой эффективности функционирования производственных систем возможно лишь при последовательном поиске оптимальных проектных параметров и производственных структур. Единым практическим инструментарием для

этого служат разработанные программные продукты, основанные на едином формализованном описании процессов функционирования производственных систем.

Проведенные вычислительные эксперименты показали, что использование разработанного комплекса программных средств позволяет: а) повысить производительность проектируемой производственной системы на 19-45 %, сократить рассеяние производительности на 53 %; б) повысить загрузку системы на 46-54 %, сократить рассеяние загрузки на 29 %; в) снизить срок окупаемости производственной системы на 24-31 %, сократить рассеяние срока окупаемости на 57 %.

Заключение

Разработана концепция единого инструментария, учитывающего эффективность технических и стоимостных характеристик на этапах проектирования, производства и эксплуатации наукоемких изделий. Реализация данного инструментария позволяет обеспечить достижение требуемого уровня коэффициента готовности на этапе эксплуатации и снижение стоимости ЖЦ наукоемких изделий посредством улучшения конструкторских и технологических параметров на этапах проектирования и производства, соответственно.

Выявлена зависимость дополнительной прибыли от затрат на проектирование и производство, обосновывающая стимулирование затрат при симметричных и асимметричных пропорциях долевого взаимодействия изготовителя и потребителя в условиях риск-разделенного партнерства.

Разработана математическая модель оценки эффективности жизненного цикла наукоемких изделий в виде контракта жизненного цикла, включающего этапы проектирования, производства и эксплуатации. На этапах проектирования и производства данная модель позволяет учитывать планируемые затраты, планируемые сроки поставки изделия, планируемые значения технических показателей к моменту поставки. На этапе эксплуатации – коэффициент готовности изделия и затраты, обеспечивающие его необходимый уровень, срок поставки МТО и время ТОиР. Предложенная модель учитывает такие параметры как затраты времени и денежных средств, простой изделия в ожидании поставки МТО, нахождение наукоемких изделий

Эффективность функционирования САПР оценивается посредством имитационного моделирования. Разработанная методология информационной поддержки жизненного цикла наукоемких изделий позволяет обеспечить эффективность автоматизированного взаимодействия изготовителя и

потребителя, демонстрируя снижение стоимости ЖЦ на 8,81 % и повышение уровня коэффициента готовности на 5,5 % на этапе эксплуатации.

Разработанная методика оценки влияния проектных параметров на эффективность производственных систем позволила:

а) установить, что использование рекомендуемого количества транспортных средств с заданными параметрами обеспечивает возможность создания производственных систем, которые:

- могут состоять из произвольного количества станков, требуемых для достижения заданной производительности;

- функционируют со значением средней загрузки 87 – 90 %;

- обеспечивают окупаемость затрат на их создание, лишь на 8 – 20 % больше экономически рассчитанного минимума;

б) сформировать на основе количественной оценки степени влияния на показатели эффективности производственных систем ранжированный список проектных параметров и алгоритмов взаимодействия оборудования, технологических и эксплуатационных режимов.

Предполагается, что дальнейшие статистические исследования с использованием разработанного комплекса программных средств позволят выявить рекомендуемые значения параметров, алгоритмов и режимов, которые можно будет использовать в качестве типовых.

Совокупность полученных результатов следует рассматривать как новую методологию системной интеграции обеспечения САПР в информационной поддержке жизненного цикла наукоемких изделий.

Список использованных источников

1 Федорович, В. А. США: военная экономика (организация и управление) / В. Б. Муравник, О. И Бочкарев; под общ. ред. П. С. Золоторева и Е. А. Роговского. – М.: Междунар. отношения, 2013. – 616 с.

2 Кузнецова (Кондусова), В. Б. Государственные контракты как модель управления жизненным циклом наукоемкой продукции / В.Б. Кузнецова (Кондусова), Д. В. Кондусов, А. И. Сергеев // материалы школы-семинара молодых ученых и специалистов в области компьютерной интеграции производства. – Оренбург: ОГУ, 2016. – С. 236-240.

3 Кузнецова (Кондусова), В. Б. Принципиальные отличия контракта жизненного цикла изделия от существующей системы обеспечения вооружения и военной техники / В. Б. Кузнецова (Кондусова), Д. В. Кондусов, А. И. Сергеев // Наука и бизнес: пути развития. – 2017. – № 11 (77). – С. 16-19.

4 Кузнецова (Кондусова), В. Б. Модель контракции с возмещением издержек производства при оптимизации стоимости владения наукоемких изделий / В. Б. Кузнецова (Кондусова), Д. В. Кондусов, А. А. Корнипаева // Компьютерная интеграция производства и ИПИ-технологии : материалы VIII Всерос. науч.-практ. конф., 16-17 нояб. 2017 г., Оренбург. – Оренбург: ОГУ, 2017. – С. 91-94.

5 Кузнецова (Кондусова), В. Б. Эксплуатационные затраты в рамках контракта жизненного цикла изделий / В. Б. Кузнецова (Кондусова), Д. В. Кондусов, А. И. Сергеев // Научно-практические аспекты развития современной техники и технологий в условиях курса на инновации: сб. ст. по итогам Междунар. науч.-практ. конф., 4 дек. 2017 г., Магнитогорск. – Стерлитамак: АМИ, 2017. – С. 143-147.

6 Кузнецова (Кондусова), В. Б. Модель контракции с включением фактора риск-разделенного партнерства как способа достижения установленных показателей качества при интегрированной логистической

поддержке изделий / Кузнецова (Кондусова) В. Б., Сердюк А. И., Кондусов Д. В., Сергеев А. И. // СТИН. – 2018. – № 2. – С. 2-4. (переводная версия Kondusova (Kuznetsova), V. B. Contract model with risk sharing in integrated logistical product support / V. B. Kuznetsova (Kondusova), A. I. Serdyuk, D. V. Kondusov, A. I. Sergeev // Russian Engineering Research. – 2018. - Vol. 38, No. 8. - P. 614-616, DOI: 10.3103/S1068798X18080099)

7 Кузнецова (Кондусова), В. Б. К вопросу об анализе интегрированной логистической поддержки и контракте жизненного цикла / В. Б. Кузнецова (Кондусова), А. И. Сергеев, Д. В. Кондусов // Компьютерная интеграция производства и ИПП-технологии: материалы VII Всерос. науч.-практ. конф., 12-13 ноября 2015 г., Оренбург. – Оренбург: ОГУ, 2015. – С. 254-259.

8 ГОСТ Р 56136-2014 Управление жизненным циклом продукции военного назначения. Термины и определения. – М.: Стандартинформ, 2015. – 11 с.

9 Кравченко, А. Ю. Модель системы технической эксплуатации вооружения и военной техники на основе анализа логистической поддержки [Электронный ресурс] / А.Ю. Кравченко, Е.В. Судов, В.Б. Артеменко // «Вооружение и экономика». – М.: Российская академия ракетных и артиллерийских наук, №2(39), 2017. – Режим доступа: <http://www.viek.ru/39/33-42.pdf>. – Дата обращения: 02.10.2017.

10 О государственном оборонном заказе [Электронный ресурс] / Федеральный закон от 29.12.2012 N 275-ФЗ. – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_140175/. – Дата обращения: 10.12.2017.

11 Кузнецова (Кондусова), В. Б. Концепция контракта жизненного цикла и функционально-стоимостный анализ / В. Б. Кузнецова (Кондусова), А. И. Сердюк, А. И. Сергеев, Д. В. Кондусов // Сборник материалов I Международной научно – технической конференции «Автоматизация, энерго-

и ресурсосбережение в промышленном производстве». – Уфа: Нефтегазовое дело, 2016. – С.303-310.

12 ГОСТ Р 56111-2014 Интегрированная логистическая поддержка экспортируемой продукции военного назначения. Номенклатура показателей эксплуатационно-технических характеристик. – М.: Стандартинформ, 2015. – 15 с.

13 Кузнецова (Кондусова), В. Б. Функциональное моделирование системы мониторинга эксплуатации наукоемких изделий / В. Б. Кузнецова (Кондусова), Д. В. Кондусов, А. И. Сердюк, А. И. Сергеев // СТИН. – 2017. – № 5. – С. 2-6. (переводная версия Kuznetsova (Kondusova), V. B. Monitoring System for High-Tech Equipment / V. B. Kuznetsova (Kondusova), D. V. Kondusov, A. I. Serdyuk, A. I. Sergeev // Russian Engineering Research, 2017. - Vol. 37, No. 10. - P. 892-896, DOI: 10.3103/S1068798X17100136)

14 Кузнецова (Кондусова), В. Б. Развитие методологии комплексной автоматизации интегрированной логистической поддержки изделий / В. Б. Кузнецова (Кондусова), А. И. Сергеев, А. И. Сердюк, Д. В. Кондусов // СТИН. – 2016. – № 7. – С. 9-11. (переводная версия Kuznetsova (Kondusova), V. B. Automation of Integrated Logistical Product Support / V. B. Kuznetsova (Kondusova), A. I. Sergeev, A. I. Serdyuk, D. V. Kondusov // Russian Engineering Research. – 2017. – Vol. – 37. – № 1. – P. 57-59, DOI: 10.3103/S1068798X17010117).

15 Кондусова, В. Б. Исследование модели конструирования стоимости как инструмента управления жизненным циклом изделия / В. Б. Кондусова // Оборонный комплекс – научно-техническому прогрессу России. – 2018. – № 4. – С. 65-68.

16 Судов, Е. В. Анализ логистической поддержки. Основные положения и практика применения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://cals.ru/sites/default/files/downloads/lss/full_lsa_training_course_rev2_03_2012.pdf. – Дата обращения: 17.02.2018.

17 Моделирование процессов и систем: учебное пособие / В. В. Зиновьев, А. Н. Стародубов, П. И. Николаев. - Кемерово: КузГТУ, 2016. – 146 с.

18 Расчет прямых затрат на техническую эксплуатацию на основе результатов АЛП [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://cals.ru/sites/default/files/downloads/lss/petrov_lsa_dmc_02_2012.pdf. – Дата обращения: 12.02.2018.

19 Полищук, Н.В. Интегрированная логистическая поддержка и стоимость жизненного цикла воздушного судна.// Транспортное дело России. – 2017.–№4. – С.112-116

20 Петров, А.В. Применение методов имитационного моделирования при выполнении анализа логистической поддержки наукоемких изделий // Информационные технологии в проектировании и производстве. – 2011. - №4. – С.26-32.

21 AnyLogic - лидирующий инструмент имитационного моделирования [Электронный ресурс].– Режим доступа: <https://www.anylogic.ru/features/>. – Дата обращения:16.02.2018.

22 ГОСТ Р 57105 – 2016 Интегрированная логистическая поддержка. Анализ логистической поддержки. Требования к структуре и составу базы данных. – М.: Стандартинформ, 2016. – 11 с.

23 ГОСТ Р 53393 – 2017 Интегрированная логистическая поддержка. Основные положения. – М.: Стандартинформ, 2016. – 9 с.

24 Кузнецова (Кондусова), В. Б. Формирование предварительной стоимости воздушного судна с использованием генетических алгоритмов / Д. В. Кондусов, В. Б. Кузнецова (Кондусова), А. И. Сергеев // Компьютерная интеграция производства и ИПИ-технологии : материалы VIII Всерос. науч.-практ. конф., 16-17 нояб. 2017 г., Оренбург. – Оренбург: ОГУ, 2017. – С. 609-612.

25 Судов, Е. В. Анализ логистической поддержки: теория и практика / Е.В. Судов, А.И. Левин, А.Н. Петров, А.В. Петров, Д.Н. Бороздин. – М.: ООО Издательство «ИнформБюро», 2014. – 260 с.

26 Кондусова, В.Б. Разработка имитационной модели жизненного цикла сложных изделий машиностроения с длительным сроком эксплуатации на основе применения контракта жизненного цикла / В. Б. Кондусова, Д. В. Кондусов // Информационные технологии в проектировании и производстве. – 2019. – № 2. – С. 30-34.

27 Кондусова, В. Б. Применение имитационного моделирования в рамках контракта жизненного цикла в целях определения его нормируемых показателей / В. Б. Кондусова // Информационные технологии в проектировании и производстве. – 2018. – № 4. – С. 49-52.

28 Бондаренко, В. А. Основы создания ГПС механообработки: учеб. пособие для вузов/ В. А. Бондаренко, А. И. Сердюк. – Оренбург: Оренбургский гос. ун-т, 2001. - 206 с.: ил.- Библиогр.: с. 214 – 215.

29 Вильчевский, Н. О. Принципы автоматизированного проектирования АТСС ГПС механообработки на ЭВМ / Н. О. Вильчевский, О. Б. Маликов, С.Ф. Пилипчук // Автоматизация проектирования в машиностроении. - Л., 1987.- С. 92-96.

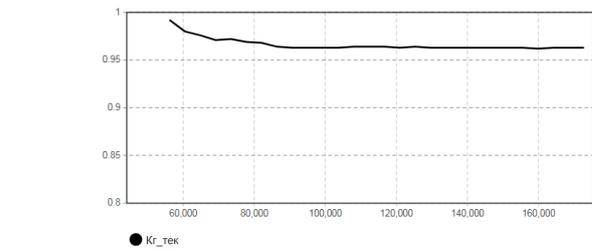
Приложение А

(справочное)

Результаты моделирования для верификации модели



Рисунок А.1 – Результаты моделирования при $I_{\text{отказ}} = 1/\text{год}$, вариант 1.



Текущее состояние: **Полет**

Общее время налета: **59,957.397**

Время планового ТО: **3,680.091**

Время непланового ТО: **348.191**

Коэффициент готовности: **0,963**

Количество отказов: **16**

Общее время эксплуатации: **20**

Время ожидания запчастей: **76.904**

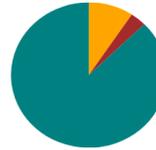
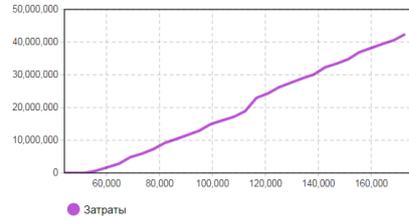
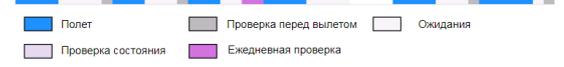
Традиционная ЮКЦ

ВремяОжиданияЗапчасти_Нач: 2

ВремяОжиданияЗапчасти_Сред: 3

ВремяОжиданияЗапчасти_Кон: 5

Периодичность пополнения склада: 1,400



Затраты на поставку 4,033,000 (9%)

Затраты на неплановое ТО 1,431,000 (3%)

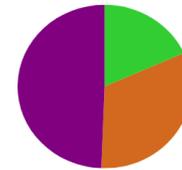
Затраты на плановое ТО 37,780,000 (87%)

Общие затраты: **43,305,656.232**

Затраты на плановое ТО: **37,841,686.784**

Затраты на неплановое ТО: **1,430,599.055**

Затраты на запчасти и доставку: **4,033,370.393**



Затраты на проектирование 16,000,000 (18%)

Затраты на производство 28,300,000 (32%)

Затраты на эксплуатацию: 43,250,000 (49%)

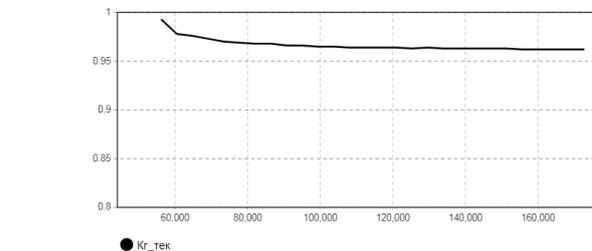
Стоимость ЖЦ: **87,605,656.232**

Затраты на проектирование: **16,000,000**

Затраты на производство: **28,300,000**

Затраты на эксплуатацию: **43,305,656.232**

Рисунок А.2 – Результаты моделирования при $I_{отказ} = 1/\text{год}$, вариант 2.



Текущее состояние: **Ожидание**

Общее время налета: **59,412.841**

Время планового ТО: **3,685.43**

Время непланового ТО: **559.44**

Коэффициент готовности: **0,96**

Количество отказов: **34**

Общее время эксплуатации: **20**

Время ожидания запчастей: **109.669**

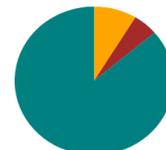
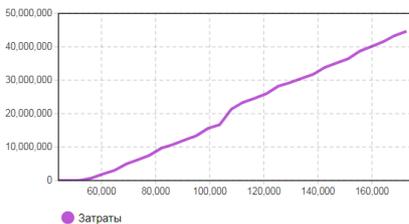
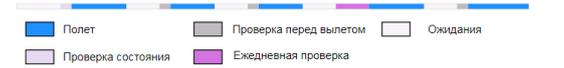
Традиционная ЮКЦ

ВремяОжиданияЗапчасти_Нач: 2

ВремяОжиданияЗапчасти_Сред: 3

ВремяОжиданияЗапчасти_Кон: 5

Периодичность пополнения склада: 1,400



Затраты на поставку 4,279,000 (9%)

Затраты на неплановое ТО 2,486,000 (5%)

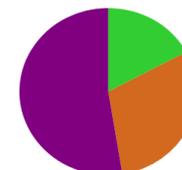
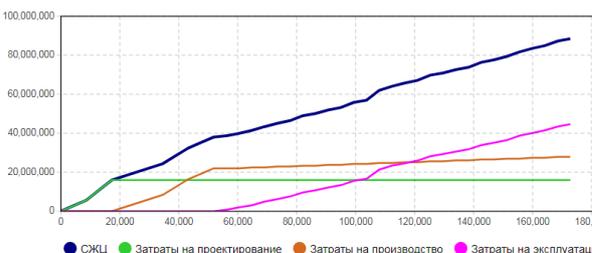
Затраты на плановое ТО 42,320,000 (86%)

Общие затраты: **49,204,020.426**

Затраты на плановое ТО: **42,439,413.762**

Затраты на неплановое ТО: **2,485,627.094**

Затраты на запчасти и доставку: **4,278,979.571**



Затраты на проектирование 16,000,000 (17%)

Затраты на производство 28,300,000 (30%)

Затраты на эксплуатацию: 49,080,000 (53%)

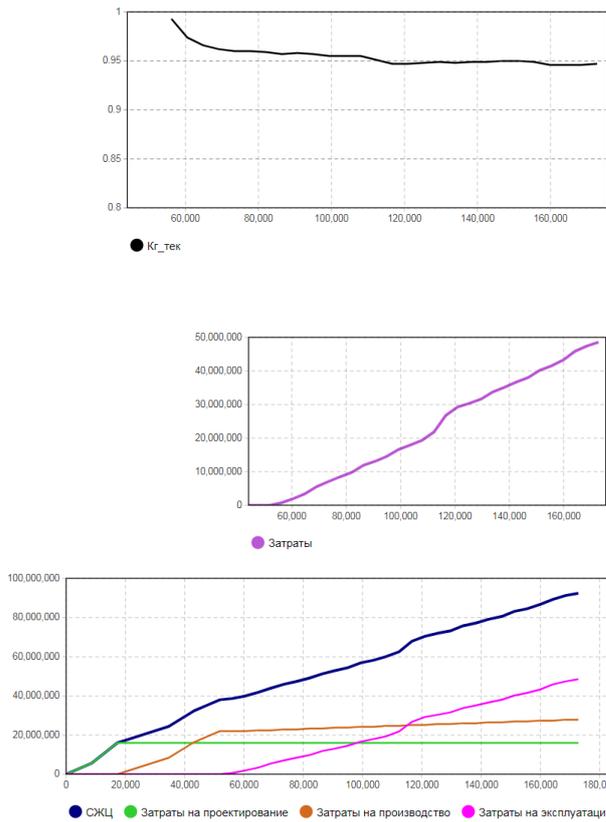
Стоимость ЖЦ: **93,504,020.426**

Затраты на проектирование: **16,000,000**

Затраты на производство: **28,300,000**

Затраты на эксплуатацию: **49,204,020.426**

Рисунок А.3 – Результаты моделирования при $I_{отказ} = [2;5]/\text{год}$



Текущее состояние: **Ожидание**

Общее время полета: **59,010.048**

Время планового ТО: **3,709.494**

Время непланового ТО: **1,257.218**

Коэффициент готовности: **0.947**

Количество отказов: **66**

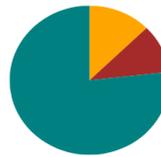
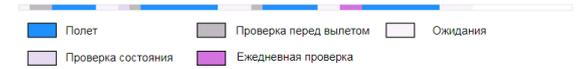
Общее время эксплуатации: **20**

Время ожидания запчастей: **897.953**

Традиционная КЖЦ

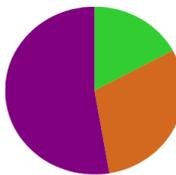
ВремяОжиданияЗапчасти_Нач: 2
ВремяОжиданияЗапчасти_Сред: 3
ВремяОжиданияЗапчасти_Кон: 5

Периодичность пополнения склада: 1,400



● Затраты на поставку 6,247,030 (13%)
● Затраты на неплановое ТО 5,217,615 (11%)
● Затраты на плановое ТО 38,034,681 (77%)

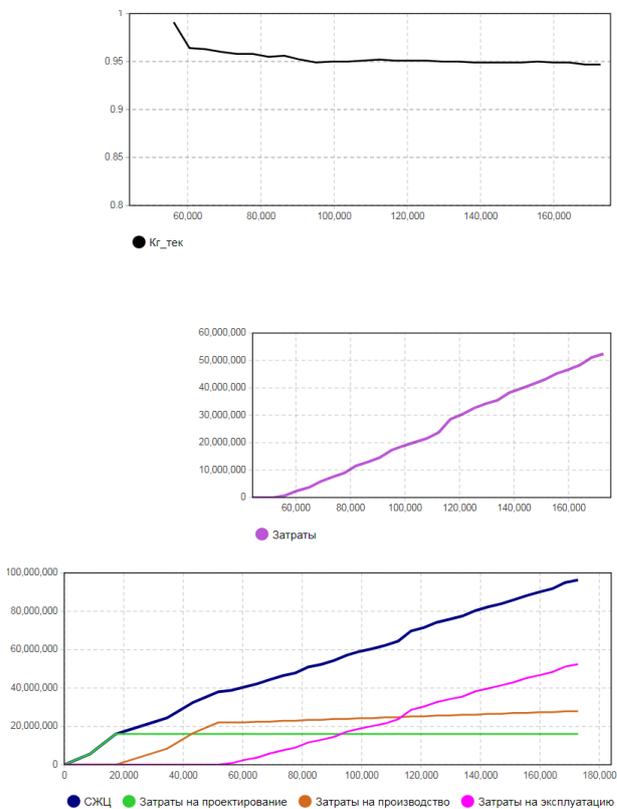
Общие затраты: **49,499,327.55**
Затраты на плановое ТО: **38,034,681.573**
Затраты на неплановое ТО: **5,217,615.912**
Затраты на запчасти и доставку: **6,247,030.065**



● Затраты на проектирование 16,000,000 (17%)
● Затраты на производство 28,300,000 (30%)
● Затраты на эксплуатацию: 49,499,327 (53%)

Стоимость ЖЦ: **93,799,327.55**
Затраты на проектирование: **16,000,000**
Затраты на производство: **28,300,000**
Затраты на эксплуатацию: **49,499,327.55**

Рисунок А.4 – Результаты моделирования при $I_{отказ} = [3;8]/год$



Текущее состояние: **Полет**

Общее время полета: **58,822.742**

Время планового ТО: **3,605.276**

Время непланового ТО: **1,623.974**

Коэффициент готовности: **0.948**

Количество отказов: **95**

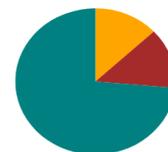
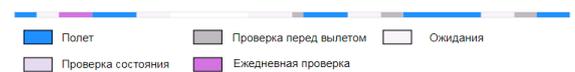
Общее время эксплуатации: **20**

Время ожидания запчастей: **534.867**

Традиционная КЖЦ

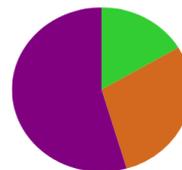
ВремяОжиданияЗапчасти_Нач: 2
ВремяОжиданияЗапчасти_Сред: 3
ВремяОжиданияЗапчасти_Кон: 5

Периодичность пополнения склада: 1,400



● Затраты на поставку 6,905,000 (13%)
● Затраты на неплановое ТО 7,114,000 (13%)
● Затраты на плановое ТО 39,090,000 (74%)

Общие затраты: **53,263,799.367**
Затраты на плановое ТО: **39,162,387.953**
Затраты на неплановое ТО: **7,196,620.684**
Затраты на запчасти и доставку: **6,904,790.731**



● Затраты на проектирование 16,000,000 (16%)
● Затраты на производство 28,300,000 (29%)
● Затраты на эксплуатацию: 53,110,000 (55%)

Стоимость ЖЦ: **97,563,799.367**
Затраты на проектирование: **16,000,000**
Затраты на производство: **28,300,000**
Затраты на эксплуатацию: **53,263,799.367**

Рисунок А.5 – Результаты моделирования при $I_{отказ} = [4;10]/год$

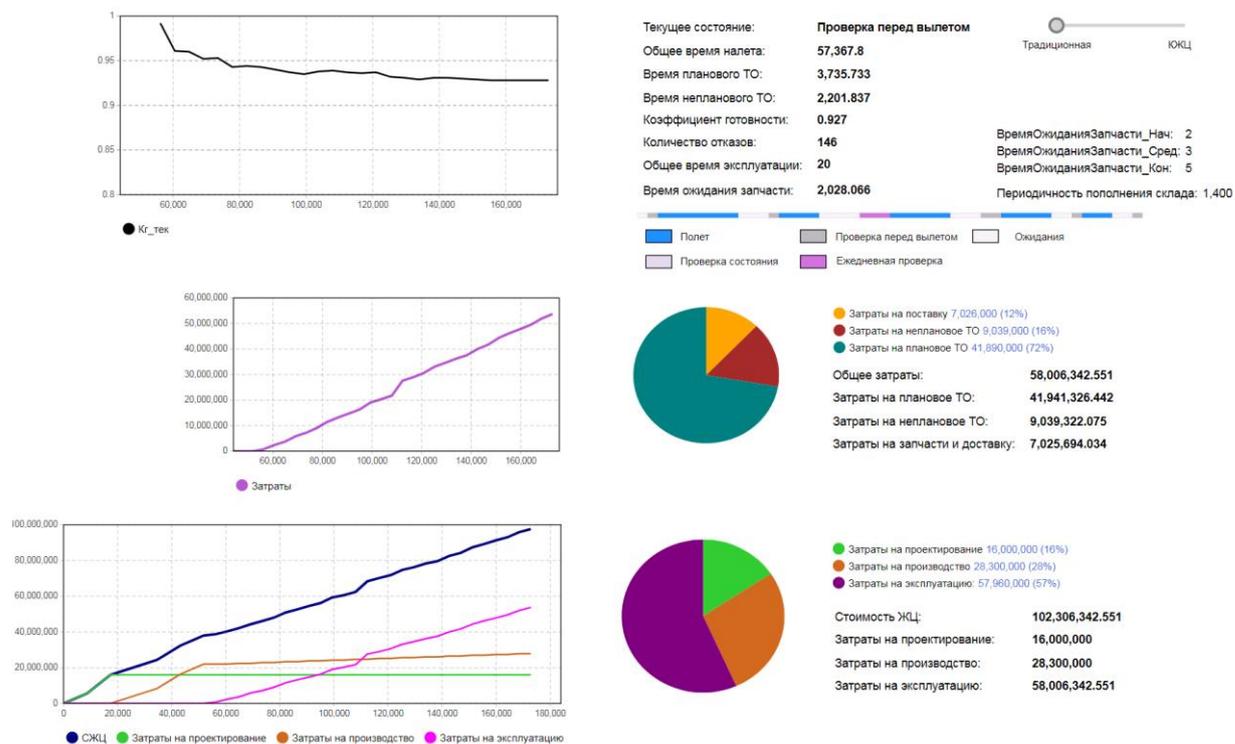


Рисунок А.6 – Результаты моделирования при $I_{\text{отказ}} = [6;12]/\text{год}$

Приложение Б

(справочное)

Результаты моделирования для главы 2

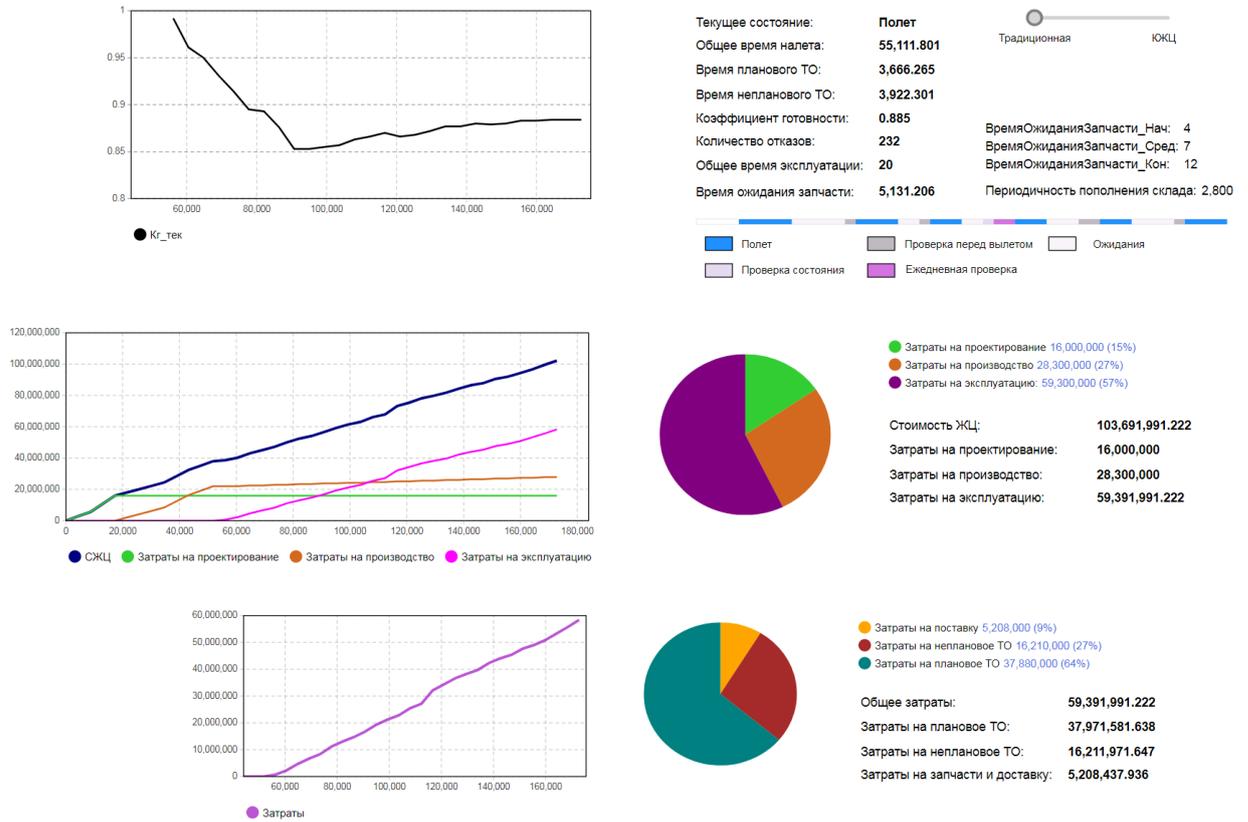


Рисунок Б.1 – Результаты моделирования (тип модели=традиционная; периодичность пополнения склада=2800; время ожидания запчасти=[4;7;12])

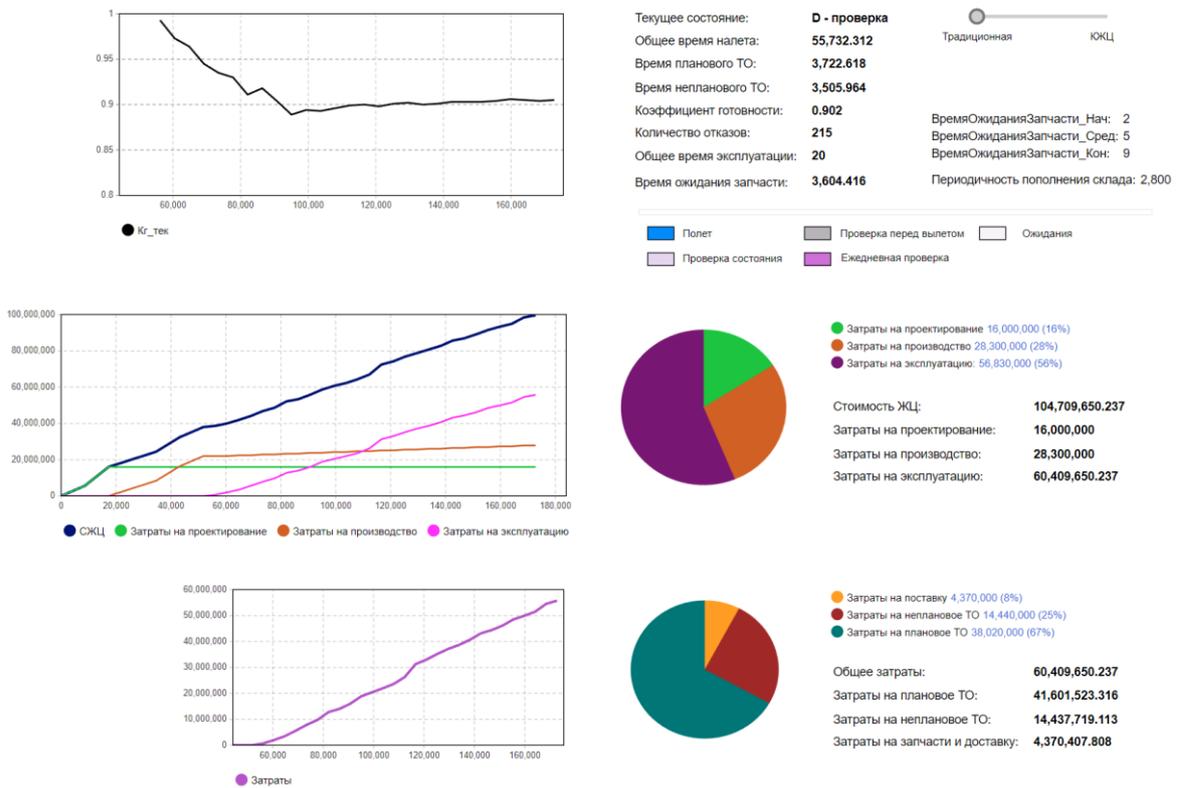


Рисунок Б.2 – Результаты моделирования (тип модели=традиционная; периодичность пополнения склада=2800; время ожидания запчасти=[2;5;9])



Рисунок Б.3 – Результаты моделирования (тип модели=традиционная; периодичность пополнения склада=2800; время ожидания запчасти=[2;3;5])



Рисунок Б.4 – Результаты моделирования (тип модели=КЖЦ; периодичность пополнения склада=2800; время ожидания запчасти=[4;7;12])



Рисунок Б.5 – Результаты моделирования (тип модели=КЖЦ; периодичность пополнения склада=2800; время ожидания запчасти=[2;5;9])



Рисунок Б.6 – Результаты моделирования (тип модели=КЗЦ; периодичность пополнения склада=2800; время ожидания запчасти=[2;3;5])

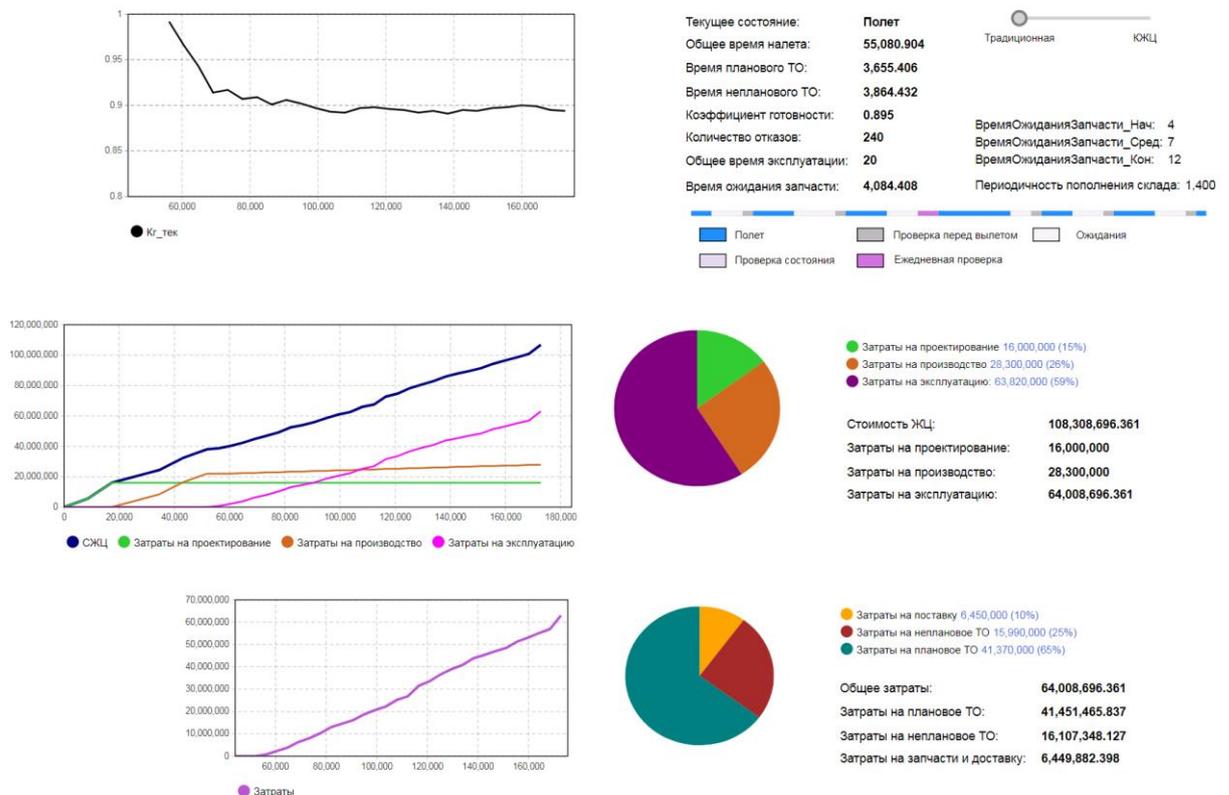


Рисунок Б.7 – Результаты моделирования (тип модели=традиционная; периодичность пополнения склада=1400; время ожидания запчасти=[4;7;12])



Рисунок Б.8 – Результаты моделирования (тип модели=традиционная; периодичность пополнения склада=1400; время ожидания запчастей=[2;5;9])

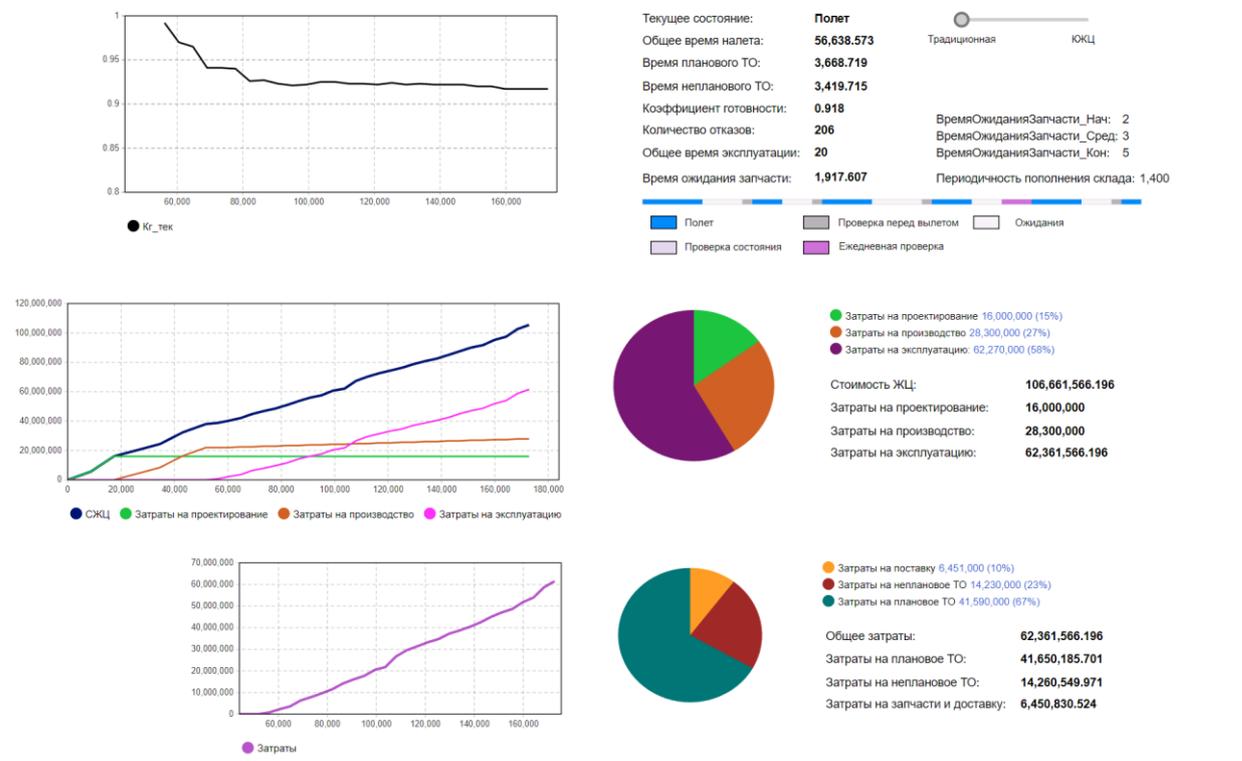
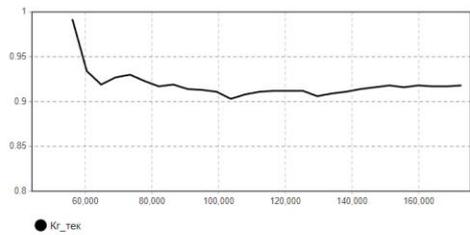


Рисунок Б.9 – Результаты моделирования (тип модели=традиционная; периодичность пополнения склада=1400; время ожидания запчастей=[2;3;5])



Текущее состояние: **Ожидание**

Общее время налета: **56,910.695**

Время планового ТО: **3,265.813**

Время непланового ТО: **2,232**

Коэффициент готовности: **0.918**

Количество отказов: **127**

Общее время эксплуатации: **20**

Время ожидания запчастей: **3,484.776**

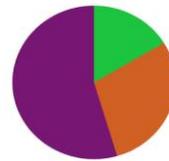
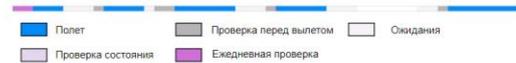
Традиционная КЖЦ

ВремяОжиданияЗапчасти_Нач: 4

ВремяОжиданияЗапчасти_Сред: 7

ВремяОжиданияЗапчасти_Кон: 12

Периодичность пополнения склада: 1,400



Затраты на проектирование: 16,700,000 (16%)

Затраты на производство: 29,550,000 (29%)

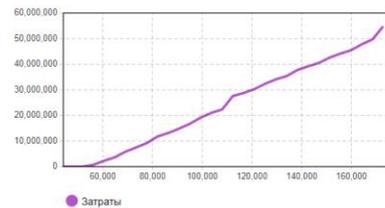
Затраты на эксплуатацию: 55,580,000 (55%)

Стоимость ЖЦ: **101,915,945.017**

Затраты на проектирование: **16,700,000**

Затраты на производство: **29,550,000**

Затраты на эксплуатацию: **55,665,945.017**



Затраты на поставку: 6,940,000 (12%)

Затраты на неплановое ТО: 9,281,000 (17%)

Затраты на плановое ТО: 39,370,000 (71%)

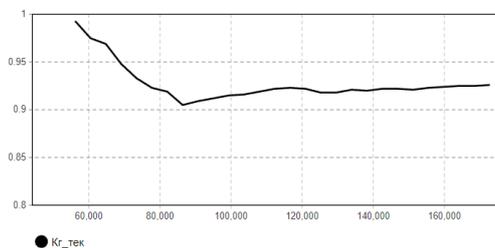
Общие затраты: **55,665,945.017**

Затраты на плановое ТО: **39,444,941.022**

Затраты на неплановое ТО: **9,280,682.255**

Затраты на запчасти и доставку: **6,940,321.74**

Рисунок Б.10 – Результаты моделирования (тип модели=КЖЦ; периодичность пополнения склада=1400; время ожидания запчасти=[4;7;12])



Текущее состояние: **Полет**

Общее время налета: **57,835.419**

Время планового ТО: **3,305.813**

Время непланового ТО: **2,555.723**

Коэффициент готовности: **0.927**

Количество отказов: **147**

Общее время эксплуатации: **20**

Время ожидания запчастей: **2,224.072**

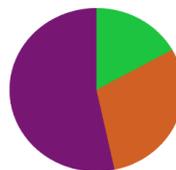
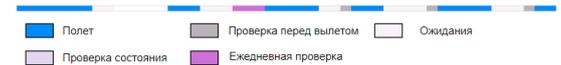
Традиционная КЖЦ

ВремяОжиданияЗапчасти_Нач: 2

ВремяОжиданияЗапчасти_Сред: 5

ВремяОжиданияЗапчасти_Кон: 9

Периодичность пополнения склада: 1,400



Затраты на проектирование: 16,700,000 (17%)

Затраты на производство: 29,550,000 (30%)

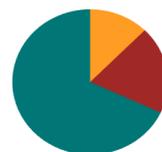
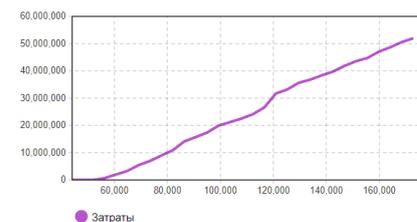
Затраты на эксплуатацию: 52,890,000 (53%)

Стоимость ЖЦ: **99,199,393.435**

Затраты на проектирование: **16,700,000**

Затраты на производство: **29,550,000**

Затраты на эксплуатацию: **52,949,393.435**



Затраты на поставку: 6,548,000 (12%)

Затраты на неплановое ТО: 10,340,000 (20%)

Затраты на плановое ТО: 36,000,000 (68%)

Общие затраты: **52,949,393.435**

Затраты на плановое ТО: **36,061,441.674**

Затраты на неплановое ТО: **10,340,285.4**

Затраты на запчасти и доставку: **6,547,666.361**

Рисунок Б.11 – Результаты моделирования (тип модели=КЖЦ; периодичность пополнения склада=1400; время ожидания запчасти=[2;5;9])



Рисунок Б.12 – Результаты моделирования (тип модели=КЖЦ; периодичность пополнения склада=1400; время ожидания запчасти=[2;3;5])

Приложение В

(справочное)

Результаты вычислительных экспериментов к главе 3

В.1 – Эффективность ГПС при разной длительности цикла загрузки/ выгрузки станков

Время изделий 5,0; 13,2; 3,4; 2,5; 17,0; 7,1; 2,8; 12,5; 6,1; 22,7

Тгпс=960 мин, ПЗ мах=300 шт

Координаты станков: 4,8; 8,8; 13,8; 17,8; 22,8; 26,8; 31,8; 35,8; 40,8; 44,8

Робокара 2/2/40, склад – внешний

	Тс, сек	5			10			20			30			40			50			60		
		Значение			min mod max			min mod max			min mod max			min mod max			min mod max			min mod max		
		60/6			60/6			60/6			60/6			60/6			60/6			60/6		
1 станок	Показатель	60/6			60/6			60/6			60/6			60/6			60/6			60/6		
	№з	120	303	360	120	303	360	120	303	360	120	303	360	120	303	360	120	303	360	120	303	360
	Тсз	965	981	985	975	1006	1015	995	1057	1075	1015	1107	1135	1035	1157	1195	1055	1208	1255	1075	1258	1315
	Кгпя	97	98	99	94	96	98	89	92	96	84	89	94	80	86	92	76	82	90	73	80	89
	Ктс	19	46	53	19	44	51	19	42	48	18	40	46	18	38	43	18	36	41	17	35	39
	Ро	7	19	22	7	18	21	7	18	20	7	17	19	7	16	18	7	15	17	7	15	16
Lo	101	103	103	102	106	107	104	112	113	107	117	119	109	122	125	111	128	132	113	133	138	
2 станка	Показатель	60/102			60/102			60/102			60/102			60/102			60/102			60/102		
	№з	180	485	660	180	485	660	180	485	660	180	485	660	180	485	660	180	485	660	180	485	660
	Тсз	964	989	1024	972	1003	1031	987	1038	1064	1002	1078	1119	1017	1118	1174	1032	1158	1229	1047	1198	1284
	Кгпя	93	98	99	93	97	98	89	94	97	85	91	95	81	88	94	77	86	92	74	85	91
	Ктс	28	73	96	28	72	96	28	70	92	27	67	87	27	65	83	26	64	79	26	60	76
	Ро	11	30	40	11	29	39	11	28	37	11	27	35	11	26	34	10	25	32	10	24	31
Lo	101	105	113	102	106	112	104	110	112	105	114	118	107	118	124	108	123	130	110	127	135	
3 станка	Показатель	60/746			60/746			60/746			60/746			60/746			60/746			60/746		
	№з	180	640	900	180	640	900	180	640	900	180	640	900	180	640	900	180	640	900	180	640	900
	Тсз	963	1155	1376	968	1161	1378	978	1172	1381	988	1186	1384	998	1198	1388	1008	1213	1393	1018	1228	1399
	Кгпя	69	90	99	69	90	99	69	88	98	69	87	97	69	86	96	69	85	95	68	84	94
	Ктс	32	87	100	32	86	100	31	86	100	31	85	100	31	84	100	31	82	99	30	82	99
	Ро	11	34	40	11	34	40	11	33	40	11	33	40	11	32	40	10	32	39	10	32	39
Lo	101	145	202	102	144	197	103	141	189	104	139	181	105	137	174	106	137	168	107	135	163	
4 станка	Показатель	80/540			80/540			80/540			80/540			80/540			80/540			80/540		
	№з	240	806	1040	240	806	1040	240	806	1040	240	806	1040	240	806	1040	240	806	1040	240	806	1040
	Тсз	965	1335	1599	970	1339	1602	980	1349	1609	990	1359	1619	1000	1369	1629	1010	1380	1639	1020	1390	1649
	Кгпя	60	81	99	60	81	98	59	80	97	59	79	96	59	79	95	58	78	94	58	77	94
	Ктс	42	94	100	41	94	100	41	93	100	41	93	100	41	92	100	40	92	100	40	92	100
	Ро	14	36	39	14	36	39	14	36	39	14	36	39	14	35	39	13	36	39	13	36	39
Lo	102	194	275	102	192	270	103	188	261	104	185	254	105	182	247	106	179	240	108	176	234	
5 станков	Показатель	120/177			120/177			120/177			120/177			120/177			120/177			120/177		
	№з	240	922	1320	240	922	1320	240	922	1320	240	922	1320	240	922	1320	240	922	1320	240	922	1320
	Тсз	964	1590	2065	968	1592	2065	976	1598	2065	984	1602	2066	992	1604	2066	1000	1609	2066	1008	1613	2066
	Кгпя	46	73	99	46	72	98	46	72	98	46	72	97	46	71	96	46	71	95	46	71	94
	Ктс	46	98	100	46	98	100	46	98	100	45	97	100	45	97	100	45	97	100	44	96	100
	Ро	15	37	38	15	37	38	15	37	38	15	37	38	15	37	38	14	37	38	14	37	38
Lo	102	283	459	102	279	449	103	271	430	104	262	413	105	255	397	106	247	382	107	241	368	
6 станков	Показатель	120/312			120/312			120/312			120/312			120/312			120/312			120/312		
	№з	360	1024	1440	360	1024	1440	360	1024	1440	360	1024	1440	360	1024	1440	360	1024	1440	360	1024	1440
	Тсз	968	1791	2305	973	1791	2305	983	1795	2306	993	1800	2306	1003	1801	2306	1013	1804	2306	1023	1808	2306
	Кгпя	41	66	99	41	66	98	41	66	97	41	66	96	41	65	95	41	65	94	41	65	93
	Ктс	60	100	100	60	100	100	60	100	100	59	99	100	59	99	100	59	99	100	58	99	100
	Ро	19	37	38	19	37	38	19	37	38	19	37	38	19	37	38	19	37	38	19	37	38
Lo	103	353	574	103	348	563	104	337	541	105	328	521	106	320	502	107	313	485	108	306	469	
7 станков	Показатель	120/659			120/659			120/659			120/659			120/659			120/659			120/659		
	№з	480	1114	1560	480	1114	1560	480	1114	1560	480	1114	1560	480	1114	1560	480	1114	1560	480	1114	1560
	Тсз	976	1955	2582	982	1958	2583	993	1964	2586	1005	1970	2589	1016	1976	2592	1028	1982	2595	1039	1987	2598
	Кгпя	37	63	98	37	63	98	37	62	96	37	61	95	37	61	94	37	61	93	37	61	92
	Ктс	76	100	100	76	100	100	75	100	100	75	100	100	75	100	100	74	100	100	74	100	100
	Ро	24	37	37	24	37	37	24	37	37	24	37	37	24	37	37	24	37	37	24	37	37
Lo	103	419	717	104	413	705	105	402	681	106	392	658	107	383	638	108	374	618	110	365	600	
8 станков	Показатель	150/162			150/162			150/162			150/162			150/162			150/162			150/162		
	№з	600	1180	1650	600	1180	1650	600	1180	1650	600	1180	1650	600	1180	1650	600	1180	1650	600	1180	1650
	Тсз	1195	2016	2764	1196	2016	2764	1170	2189	2827	1203	2020	2764	1206	2022	2764	1209	2024	2765	1215	2027	2765
	Кгпя	35	59	80	35	59	80	34	55	81	35	59	80	35	58	79	35	58	79	35	58	79
	Ктс	83	100	100	82	100	100	82	100	100	82	100	100	81	100	100	81	100	100	81	100	100
	Ро	26	36	36	26	36	36	28	35	35	26	36	36	26	36	36	26	36	36	26	36	36
Lo	155	451	821	154	447	806	147	505	829	152	426	754	151	416	731	150	405	708	150	397	688	
9 станков	Показатель	150/209			150/209			150/209			150/209			150/209			150/209			150/209		
	№з	600	1254	1650	600	1254	1650	600	1254	1650	600	1254	1650	600	1254	1650	600	1254	1650	600	1254	1650
	Тсз	1166	2187	2826	1167	2188	2826	1170	2189	2827	1173	2191	2827	1176	2192	2827	1183	2187	2827	1191	2187	2827
	Кгпя	34	55	82	34	55	82	34	55	81	34	55	81	34	55	81	34	55	81	34	54	80
	Ктс	91	100	100	90	100	100	90	100	100	90	100	100	89	100	100	89	100	100	89	100	100
	Ро	28	35	35	28	35	35	28	35	35	28	35	35	27	35	35	27	35	35	27	35	35
Lo	149	522	868	148	515	854	147	505	829	146	493	805	145	481	782	146	471	760	146	461	740	
10 станков	Показатель	150/308			150/308			150/308			150/308			150/308			150/308			150/308		
	№з	600	1342	1800	600	1342	1800	600	1342	1800	600	1342	1800	600	1342	1800	600	1342	1800	600	1342	1800
	Тсз	1144	2377	3149	1145	2378	3149	1147	2379	3150	1150	2380	3150</									

В.3 - Эффективность ГПС при разной емкости пристаночных накопителей в зависимости от правил обслуживания основного технологического оборудования

а) Принята номенклатура изделий для ГПЯ из 10 наименований с трудоемкостью

5,0; 13,2; 3,4; 2,5; 17; 7,1; 2,8; 1,8; 6,4; 24 мин

б) 5 станков (первые из списка), склад 60*8=480 ячеек

в) цикл безлюдной работы 480 мин

- предельный размер партий запуска 60 шт

- дискретность приращения партий запуска ... 30

- процент недогрузки оборудования d..... 1%

г) $V_y=1,0$ м/мин, $t_d=20$ сек, 1 станок с приоритетом, совм. отработка

д) изменялись: 1) сочетания правил приоритетов; 2) емкость ППН=2, 4, 6, 8, 10 поз.

Основное правило	Дополнит. правило	Показатель	2 поз. ППН			4 поз. ППН			6 поз. ППН			8 поз. ППН			10 поз. ППН			
			min	mod	max	min	mod	max										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
1	1	N _{СЗ}	150	327	450				150	327	450							
		T _{СЗ}	505	561	604	505	551	591	505	543	589	505	545	589	505	543	589	
		K _{ГПЯ}	79	89	94	81	90	94	81	91	94	81	91	94	81	91	94	
		K _{ТС}	33	62	77	37	68	88	44	77	100	42	73	98	46	80	100	
		P _о	18	35	45	18	36	46	18	36	48	18	36	47	18	37	49	
		L _о	107	124	139	107	120	137	107	117	137	107	118	137	107	117	137	
	2	N _{СЗ}																
		T _{СЗ}	505	560	602	505	549	589	505	543	587	505	545	587	505	542	587	
		K _{ГПЯ}	79	89	94	81	90	94	81	91	94	81	91	94	81	91	94	
		K _{ТС}	33	62	77	37	68	88	43	76	99	42	72	97	45	80	100	
		P _о	18	35	45	18	36	46	18	36	48	18	36	48	18	37	49	
		L _о	107	124	138	107	119	136	107	117	136	107	117	136	107	116	136	
	3	N _{СЗ}																
		T _{СЗ}	505	560	602	505	549	589	505	543	587	505	545	587	505	542	587	
		K _{ГПЯ}	79	89	94	81	90	94	81	91	94	81	91	94	81	91	94	
		K _{ТС}	33	62	77	37	68	88	43	76	99	42	72	97	45	80	100	
		P _о	18	35	45	18	36	46	18	36	48	18	36	48	18	37	49	
		L _о	107	124	138	107	119	136	107	117	136	107	117	136	107	116	136	
2	1	N _{СЗ}																
		T _{СЗ}	505	562	604	505	554	595	512	578	652	508	560	606	506	594	693	
		K _{ГПЯ}	79	89	94	80	89	94	73	87	93	79	88	94	69	87	94	
		K _{ТС}	33	62	77	36	67	87	44	76	100	41	72	94	45	80	100	
		P _о	18	35	45	18	35	46	17	35	46	18	35	46	17	34	46	
		L _о	107	125	139	107	122	139	108	133	168	108	124	144	108	140	187	
	2	N _{СЗ}																
		T _{СЗ}	505	561	605	505	554	596	511	577	645	507	560	604	513	592	689	
		K _{ГПЯ}	79	89	94	80	89	94	74	88	93	79	89	94	69	87	93	
		K _{ТС}	33	62	77	36	67	87	43	76	100	41	72	95	45	80	100	
		P _о	18	35	45	18	35	46	17	35	46	18	35	46	18	34	46	
		L _о	107	124	140	107	122	139	108	132	164	108	124	141	110	140	185	
	3	N _{СЗ}																
		T _{СЗ}	505	561	605	505	554	596	511	577	645	507	560	604	513	592	689	
		K _{ГПЯ}	79	89	94	80	89	94	74	88	93	79	89	94	69	87	93	
		K _{ТС}	33	62	77	36	67	87	43	76	100	41	72	95	45	80	100	
		P _о	18	35	45	18	35	46	17	35	46	18	35	46	18	34	46	
		L _о	107	124	140	107	122	139	108	132	164	108	124	141	110	140	185	
3	1	N _{СЗ}																
		T _{СЗ}	505	562	603	505	555	596	512	576	645	505	561	611	515	585	679	
		K _{ГПЯ}	79	89	94	80	89	94	74	88	93	79	89	94	71	87	93	
		K _{ТС}	32	61	77	36	67	87	44	76	100	41	72	95	45	80	100	
		P _о	18	35	45	18	35	46	17	35	46	18	35	46	17	34	46	
		L _о	107	124	138	107	122	139	108	131	162	107	125	146	109	136	178	
	2	N _{СЗ}																
		T _{СЗ}	505	560	602	505	554	596	512	575	650	505	560	610	513	584	680	
		K _{ГПЯ}	79	89	94	80	89	94	73	88	93	78	89	94	70	88	93	
		K _{ТС}	33	62	77	36	67	87	44	76	100	41	72	96	45	80	100	
		P _о	18	35	45	18	35	46	17	35	46	18	35	46	17	34	46	
		L _о	107	124	138	107	121	138	108	131	165	107	124	145	109	136	185	
	3	N _{СЗ}																
		T _{СЗ}	505	562	606	505	555	596	511	575	646	505	560	608	517	588	691	
		K _{ГПЯ}	79	89	94	80	89	94	74	88	93	79	89	94	69	87	92	
		K _{ТС}	33	62	77	36	67	87	43	76	100	41	72	95	44	80	100	
		P _о	18	35	45	18	35	46	17	35	46	18	35	46	17	34	46	
		L _о	107	125	140	107	122	139	108	131	163	107	124	144	110	138	186	

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
4	1	NCЗ																
		TCЗ	504	570	619	505	559	606	505	547	593	505	552	593	505	546	589	
		KГПЯ	77	88	94	79	89	94	80	90	94	80	90	94	81	91	94	
		KTC	32	61	76	36	67	87	43	76	99	41	72	96	45	79	100	
		PO	18	35	44	18	35	45	17	36	48	18	35	47	18	37	49	
	LO	107	128	148	107	124	144	107	119	139	107	121	139	107	118	137		
	2	NCЗ																
		TCЗ	505	569	612	505	559	605	505	549	608	505	553	608	505	547	608	
		KГПЯ	78	88	94	79	89	94	78	91	94	78	90	94	78	91	94	
		KTC	32	61	76	35	66	83	44	75	99	40	72	96	45	79	100	
		PO	18	35	44	17	35	46	18	36	48	18	35	47	18	37	49	
	LO	107	128	147	107	123	143	107	120	147	107	122	147	107	119	147		
	3	NCЗ																
		TCЗ	504	568	616	505	559	607	505	547	592	509	551	594	505	545	587	
		KГПЯ	78	88	94	78	89	94	81	91	94	80	90	94	81	91	94	
KTC		32	61	76	36	66	86	43	75	99	41	71	96	45	79	100		
PO		18	35	44	18	35	46	18	36	48	18	35	47	18	37	49		
LO	107	128	146	107	124	144	107	118	137	108	120	139	107	117	136			
5	1	NCЗ																
		TCЗ	505	561	604	505	551	591	505	543	589	505	546	589	505	543	589	
		KГПЯ	79	87	94	81	90	94	81	91	94	81	91	94	81	91	94	
		KTC	33	62	77	37	68	88	44	77	100	42	73	97	46	80	100	
		PO	18	35	45	18	36	46	18	36	48	18	36	47	18	37	49	
	LO	107	124	139	107	120	137	107	117	137	107	118	137	107	117	137		
	2	NCЗ																
		TCЗ	505	560	602	505	549	589	505	543	587	505	545	587	505	542	587	
		KГПЯ	79	89	94	81	90	94	81	91	94	81	91	94	81	91	94	
		KTC	33	62	77	37	68	88	43	76	99	42	72	97	45	80	100	
		PO	18	35	45	18	36	46	18	36	48	18	36	47	18	37	49	
	LO	107	124	138	107	119	136	107	117	136	107	117	136	107	116	136		
	3	NCЗ																
		TCЗ	505	560	602	505	549	589	505	543	587	505	545	587	505	542	587	
		KГПЯ	79	89	94	81	90	94	81	91	94	81	91	94	81	91	94	
KTC		33	62	77	37	68	88	43	76	99	42	72	97	45	80	100		
PO		18	35	45	18	36	46	18	36	48	18	36	47	18	37	49		
LO	107	124	138	107	119	136	107	117	136	107	117	136	107	116	136			
6	1	NCЗ																
		TCЗ	504	569	618	509	557	606	510	550	613	509	551	595	509	550	610	
		KГПЯ	77	88	94	79	89	94	78	90	93	80	90	94	78	90	94	
		KTC	32	61	76	36	67	87	43	76	99	41	72	96	45	80	100	
		PO	18	35	44	18	35	46	17	36	48	18	35	47	17	36	49	
	LO	107	128	148	108	123	144	108	121	150	108	120	139	108	120	147		
	2	NCЗ																
		TCЗ	505	569	615	505	557	604	505	550	608	505	552	608	505	551	608	
		KГПЯ	77	88	94	79	89	94	78	91	94	78	90	94	78	90	94	
		KTC	32	61	76	35	66	84	43	76	99	40	72	96	45	79	100	
		PO	18	35	44	17	35	46	18	36	48	18	36	47	18	36	49	
	LO	107	128	148	107	123	143	107	120	147	107	121	147	107	121	148		
	3	NCЗ																
		TCЗ	504	570	620	509	558	607	509	547	590	509	550	594	509	547	591	
		KГПЯ	77	88	94	78	89	94	81	90	94	80	90	94	81	90	94	
KTC		32	60	76	36	66	86	43	76	99	41	72	96	45	79	100		
PO		18	35	44	18	35	45	18	36	48	18	36	47	17	37	49		
LO	107	128	147	108	123	144	108	119	138	108	120	139	108	119	139			
7	1	NCЗ																
		TCЗ	505	558	599	505	550	589	510	566	623	506	554	594	511	580	672	
		KГПЯ	80	89	94	81	90	94	76	89	93	80	89	94	71	88	93	
		KTC	33	61	76	36	66	86	43	74	94	41	70	92	45	78	100	
		PO	18	35	45	18	36	47	17	35	48	18	35	47	18	35	47	
	LO	107	123	136	107	120	137	108	127	153	108	122	140	109	134	178		
	2	NCЗ																
		TCЗ	505	558	598	505	550	588	512	565	622	505	554	594	510	580	674	
		KГПЯ	80	89	94	81	90	94	77	88	93	80	89	94	71	88	93	
		KTC	32	61	76	36	66	86	43	74	94	41	70	92	45	78	100	
		PO	18	35	45	18	36	47	17	35	47	18	36	47	17	35	47	
	LO	107	123	136	107	120	136	108	127	152	107	122	140	110	134	179		
	3	NCЗ																
		TCЗ	505	558	598	505	550	588	512	565	622	505	554	594	510	579	674	
		KГПЯ	80	89	94	81	90	94	77	88	93	80	89	94	71	88	93	
KTC		32	61	76	36	66	86	43	74	94	41	70	92	45	78	100		
PO		18	35	45	18	36	47	17	35	47	18	36	47	17	35	47		
LO	107	123	136	107	120	136	108	127	152	107	122	140	110	134	179			

В.4 – Эффективность ГПС при разной длительности цикла загрузки рбокары

Время изделий 5,0; 13,2; 3,4; 2,5; 17,0; 7,1; 2,8; 12,5; 6,1; 22,7

Координаты станков: 4,8; 8,8; 13,8; 17,8; 22,8; 26,8; 31,8; 35,8; 40,8; 44,8

Тгпя=960 мин, ПЗ мах=300 шт, Тс=60 с.

Робокара 2/2/40, склад - внешний

	Тц	5			10			20			30			40			50			60		
		Значение			min mod max																	
		Показатель			60/6			60/6			60/6			60/6			60/6			60/6		
1 станок	Нез	120	303	360	120	303	360	120	303	360	120	303	360	120	303	360	120	303	360	120	303	360
	Тез	1074	1257	1314	1074	1257	1314	1075	1258	1315	1075	1258	1315	1075	1258	1315	1076	1259	1316	1076	1259	1316
	Кгпя	73	80	89	73	80	89	73	80	89	73	80	89	73	80	89	73	80	89	72	80	89
	Ктс	3	6	7	5	10	12	9	19	21	13	27	30	17	35	39	21	43	49	25	51	58
	Ро	7	15	16	7	15	16	7	15	16	7	15	16	7	15	16	7	15	16	7	15	16
	Lo	113	133	138	113	133	138	113	133	138	113	133	138	113	133	138	113	133	138	113	133	138
2 станка	Показатель	60/102			60/102			60/102			60/102			60/102			60/102			60/102		
	Нез	180	485	660	180	485	660	180	485	660	180	485	660	180	485	660	180	485	660	180	485	660
	Тез	1045	1196	1282	1045	1196	1282	1046	1197	1283	1046	1197	1283	1047	1198	1284	1048	1200	1285	1048	1249	1399
	Кгпя	74	85	91	74	85	91	74	85	91	74	85	91	74	85	91	74	85	91	68	82	91
	Ктс	5	12	15	8	19	23	14	33	41	20	47	58	26	60	76	32	74	93	38	85	100
	Ро	10	24	31	10	24	31	10	24	31	10	24	31	10	24	31	10	24	31	10	24	28
Lo	110	127	135	110	127	135	110	127	135	110	127	135	110	127	135	110	127	135	110	137	161	
3 станка	Показатель	60/746			60/746			60/746			60/746			60/746			60/746			60/746		
	Нез	180	640	900	180	640	900	180	640	900	180	640	900	180	640	900	180	640	900	180	640	900
	Тез	1015	1174	1259	1015	1174	1259	1016	1175	1260	1017	1176	1261	1018	1228	1399	1019	1360	1675	1020	1521	1956
	Кгпя	76	86	94	76	86	94	76	85	94	76	85	94	68	84	94	57	79	94	49	64	93
	Ктс	7	19	24	10	29	36	17	48	61	24	67	86	30	82	99	36	90	100	42	95	100
	Ро	11	33	43	11	33	43	11	33	43	11	33	43	10	32	39	10	29	33	10	26	28
Lo	106	124	132	107	123	132	107	123	132	107	124	132	107	135	163	107	167	234	108	208	319	
4 станка	Показатель	80/540			80/540			80/540			80/540			80/540			80/540			80/540		
	Нез	240	806	1040	240	806	1040	240	806	1040	240	806	1040	240	806	1040	240	806	1040	240	806	1040
	Тез	1015	1158	1219	1016	1159	1220	1017	1160	1221	1019	1230	1381	1020	1390	1649	1021	1583	1936	1023	1809	2283
	Кгпя	78	86	94	78	86	94	78	86	94	69	84	94	58	77	94	49	71	93	42	64	93
	Ктс	10	26	32	15	38	46	24	62	76	32	82	97	40	92	100	47	97	100	54	99	100
	Ро	14	42	51	14	42	51	14	42	51	14	40	47	13	36	39	13	31	32	13	27	27
Lo	107	121	128	107	121	128	107	122	128	107	137	164	108	176	234	108	229	324	108	302	450	
5 станков	Показатель	100/312			100/312			100/312			100/312			100/312			100/312			100/312		
	Нез	300	854	1200	300	854	1200	300	854	1200	300	854	1200	300	854	1200	300	854	1200	300	854	1200
	Тез	1016	1135	1200	1017	1136	1201	1018	1167	1270	1020	1322	1536	1022	1534	1879	1023	1791	2279	1025	2055	2679
	Кгпя	80	87	94	80	87	94	75	86	94	62	80	94	51	72	93	42	65	93	36	59	93
	Ктс	14	33	41	20	46	59	31	73	90	40	88	100	49	94	100	58	99	100	66	100	100
	Ро	18	49	60	18	49	60	17	47	59	17	41	47	16	36	38	16	31	32	15	27	27
Lo	107	119	126	107	119	126	107	126	144	108	163	212	108	220	311	108	301	458	109	392	632	
6 станков	Показатель	120/312			120/312			120/312			120/312			120/312			120/312			120/312		
	Нез	360	1024	1440	360	1024	1440	360	1024	1440	360	1024	1440	360	1024	1440	360	1024	1440	360	1024	1440
	Тез	1016	1135	1200	1017	1137	1201	1019	1264	1438	1021	1502	1826	1023	1808	2306	1025	2129	2786	1031	2437	3266
	Кгпя	80	87	94	80	87	94	66	82	94	52	73	93	41	65	93	34	58	93	29	52	93
	Ктс	18	44	54	25	60	75	37	84	99	48	93	100	58	99	100	68	100	100	76	100	100
	Ро	21	58	72	21	58	72	20	52	61	20	44	47	19	37	38	18	31	31	18	26	26
Lo	107	119	126	107	119	126	107	149	188	108	211	294	108	306	469	109	418	684	110	563	940	
7 станков	Показатель	120/659			120/659			120/659			120/659			120/659			120/659			120/659		
	Нез	480	1114	1560	480	1114	1560	480	1114	1560	480	1114	1560	480	1114	1560	480	1114	1560	480	1114	1560
	Тез	1034	1129	1188	1034	1151	1243	1036	1358	1643	1038	1656	2118	1039	1987	2598	1041	2288	3083	1118	2637	3603
	Кгпя	80	87	93	77	87	93	58	79	92	45	69	92	37	60	92	31	54	92	26	47	86
	Ктс	24	51	67	32	70	88	49	88	100	64	96	100	74	100	100	83	100	100	90	100	100
	Ро	28	64	79	28	62	78	27	52	61	25	43	46	24	37	37	22	30	30	21	26	26
Lo	109	120	125	109	124	137	109	173	239	109	258	399	110	365	600	110	510	847	127	715	1158	
8 станков	Показатель	150/162			150/162			150/162			150/162			150/162			150/162			150/162		
	Нез	600	1180	1650	600	1180	1650	600	1180	1650	600	1180	1650	600	1180	1650	600	1180	1650	600	1180	1650
	Тез	1035	1110	1168	1036	1166	1254	1060	1395	1664	1130	1689	2215	1215	2027	2765	1364	2402	3315	1516	2765	3865
	Кгпя	82	89	92	76	86	92	57	76	90	43	67	85	35	58	79	29	50	70	25	44	63
	Ктс	34	58	74	43	73	92	58	89	100	70	97	100	81	100	100	89	100	100	97	100	100
	Ро	34	64	85	33	61	79	30	51	59	28	43	45	26	36	36	24	30	30	22	26	26
Lo	110	117	123	110	130	147	111	186	249	127	277	441	150	397	688	188	563	988	232	745	1344	
9 станков	Показатель	150/209			150/209			150/209			150/209			150/209			150/209			150/209		
	Нез	600	1254	1650	600	1254	1650	600	1254	1650	600	1254	1650	600	1254	1650	600	1254	1650	600	1254	1650
	Тез	1028	1159	1211	1035	1224	1388	1050	1484	1817	1069	1799	2277	1191	2187	2827	1334	2585	3377	1486	3006	3927
	Кгпя	79	88	93	69	84	92	52	74	91	42	64	90	34	54	80	28	47	71	24	41	64
	Ктс	37	66	81	48	79	92	65	93	99	78	99	100	89	100	100	97	100	100	100	100	100
	Ро	35	67	85	34	62	76	32	51	57	29	42	44	27	35	35	25	29	29	24	25	25
Lo	109	123	137	110	144	180	110	212	309	114	316	482	146	461	740	183	654	1056	227	868	1428	
10 станков	Показатель	150/308			150/308			150/308			150/308			150/308			150/308			150/308		
	Нез	600	1342	1800	600	1342	1800	600	1342	1800	600	1342	1800	600	1342	1800	600	1342	1800	600	1342	1800
	Тез	1020	1159	1278	1024	1273	1477	1026	1563	1996	1041	1944	2550	1157	2383	3150	1311	2817	3750	1470	3250	4351
	Кгпя	75	87	94																		