

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «НИЖЕГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ КОЗЬМЫ МИНИНА»



На правах рукописи

Гарина Екатерина Петровна

**ФОРМИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ РАЗРАБОТКИ СЛОЖНОГО
ПРОДУКТА НА ПРЕДПРИЯТИЯХ МАШИНОСТРОЕНИЯ**

**Специальность: 5.2.3 – Региональная и отраслевая экономика
(Экономика промышленности)**

Автореферат

на соискание ученой степени доктора экономических наук

Нижний Новгород – 2024 г.

Диссертация выполнена на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Нижегородский государственный педагогический университет имени Козьмы Минина»

Научный консультант	Кузнецов Виктор Павлович , доктор экономических наук, профессор, зав. кафедрой экономики предприятия, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Нижегородский государственный педагогический университет имени Козьмы Минина»
Официальные оппоненты	Зеленцова Лидия Сергеевна , доктор экономических наук, профессор кафедры управления промышленными организациями, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Государственный университет управления» Тренина Ирина Алексеевна , доктор экономических наук, доцент, зав. кафедрой менеджмента и государственного управления, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева» Юдин Александр Викторович , доктор экономических наук, доцент кафедры индустриального программирования, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «МИРЭА-Российский технологический университет»
Ведущая организация	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский национальный исследовательский технологический университет»

Защита диссертации состоится 05.06.2024 г. в 13.00. на заседании диссертационного совета 24.2.340.10 на базе Национального исследовательского Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского по адресу: 603144, Н. Новгород, пр. Ленина, д 27

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Национального исследовательского Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского и на сайте <https://lib.unn.ru/>

Автореферат разослан «25» марта 2024 года

Ученый секретарь диссертационного совета,
кандидат экономических наук, доцент



Ю.А. Макушева

I. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования. Прикладные исследования и разработка высокотехнологичного продукта, новейших технологий и инноваций, в т.ч.: проектно-конструкторские работы и технико-экономическое сопровождение выступают «точками прорыва», стратегическими результатами, заявленными в Национальной технологической инициативе по модернизации и развитию экономики РФ. Формирование долгосрочных конкурентных преимуществ предприятий высокотехнологичных отраслей промышленности, машиностроения, за счет применения систем разработки (PD-систем) и управления продуктом (PLM-систем), начиная с 1990-2020-х гг. в контексте реализации WCM-подхода (Производство мирового класса) подтверждается релевантными практиками лидеров отрасли (таблица 1).

Таблица 1 – Стратегические направления развития производителей среднего машиностроения (подотрасли) за счет применения современных технологий разработки продукта с конца 1990-х до 2020-х гг. (фрагмент)

Стратегии	Chrysler	Ford	Honda	Toyota	BMW	VW	Rover
Платформа продукта	+						
Сбалансированная матрица		+	+	+	+	+	+
Единый центр развития	+		+	+	+		+
Время, как ключевой фактор	+	+		+	+		
Высокая интеграция поставщиков	+		+	+			+
Выделение основной компетенции			+	+	+		
Альянсы по разработке продуктов		+				+	+
Открытая архитектура продукта	+	+	+	+		+	

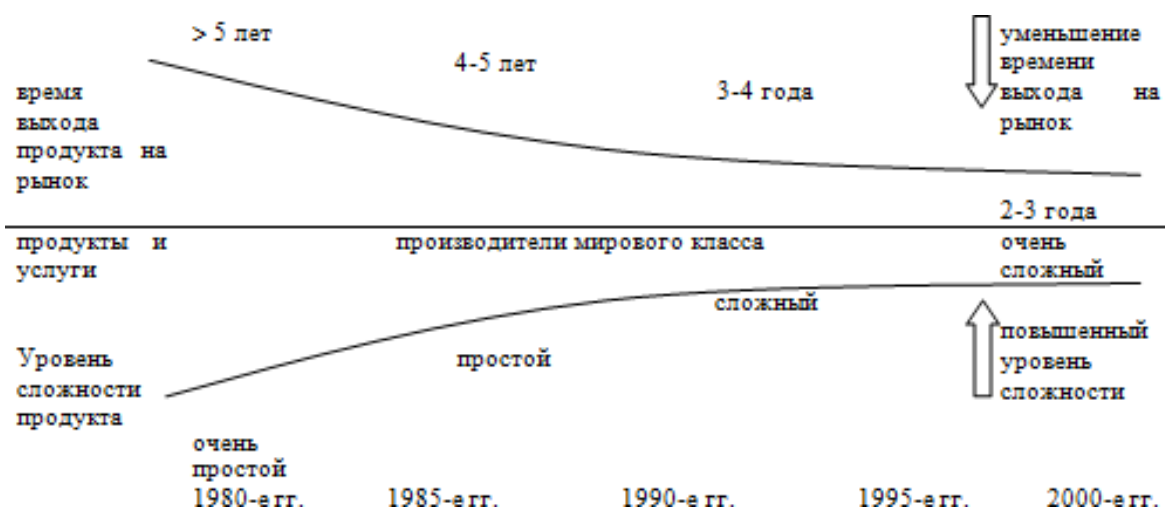
Источник: систематизировано автором по данным ENAPS (база данных лидеров отрасли), по данным официальных сайтов производителей

Обеспечивается:

– сокращение инженерных часов на концептуализацию продукта за счет применения PD-технологий и времени его запуска в производство на ~ 25% посредством точной координации действий «технолог-конструктор»¹, где различия производителей в инженерных часах определяются логистикой, количеством элементов² и платформенной насыщенностью PD-систем, изначальной сложностью продуктов с позиции технологического и экономического инжиниринга. И это – на фоне увеличения разнообразия и уровня сложности продукта в %-ном соотношении с «простого» в 1990-х гг. до «очень сложного» в 2020-хх гг. по машиностроению в целом. Как результат – сокращение времени вывода нового продукта на рынок с 5 лет до диапазона 2-3 года (рисунок 1).

¹ Усредненное время реализации проекта производителями мирового класса составляет 55,7 мес.; среднее значение инженерных часов на проект 2,75 тыс. час., доля уникальных элементов продукта 72 %

² Рост количества используемых элементов (компонентов) более чем в 5 раз, где более половины устанавливаются только на 5% конечных продуктов



Источник: на основе исследований Р. Бергера [86]

Рисунок 1 – Увеличение сложности продукта машиностроения и сокращение времени его коммерциализации

– сокращение стоимости разработки продукта, зависимой от специализации производителя и достигающей диапазона 4,2-13,8 тыс. руб./час у лидеров отрасли и от 27,6 тыс. руб./час и более в Российской Федерации (таблица 2).

Таблица 2 – Стоимость разработки продукта в 2020-х гг. в практике WCM-лидеров отрасли машиностроения

Этап разработки	Стоимость разработки продукта, тыс. руб./час	Суммарная стоимость разработки, тыс. руб.
Концепция продукта	4,2– 9,68	921,97 и выше
Дизайн продукта	4,2–9,68	921,97 и выше
Механический дизайн	4,2–11,52	460,98– 921,97
Индустриальный дизайн	4,2–13,82	460,98 – 921,97
Прототипирование	4,6–11,06	184,39 и выше
Дизайн электроники	10,0–13,82	921,97 и выше
Архитектурный дизайн	3,22 –6,91	10% от общей стоимости продукта

Источник: группа показателей системы ENAPS, аналитические данные³

При том, что каждое удвоение количества вариантов продукта увеличивает затраты на единицу отечественного продукта на ~20-30%, в том числе за счет увеличения стоимости его компонентов в 2020-х гг. с 13,7% до 30,9%.

Изменение элементной насыщенности продукта, рост сложности и стоимости разработки продукта; необходимость формирования единых положений и нормативов разработки продукта в «макросистеме» всей совокупности участников технологической цепочки; необходимость

³ Проектирование продукции, инжиниринг, моделирование, промышленный дизайн, прототипирование: Cad crowd. URL: <https://www.cadcrowd.com/blog/topics/engineering/>

обоснования экономического пространства решений по разработке современного продукта отрасли предопределяет потенциал темы к развитию вопросов:

– совершенствования разработки продукта и возможности использования общих, унифицированных элементов в продукте при сохранении на высоком уровне отличительных особенностей отдельных продуктов, что позволит реализовать эффект экономии от масштаба производства за счет высокого уровня общности между вариантами продукта; уменьшить показатель сложности при сохранении продуктового разнообразия, повысить экономическую эффективность и результативность разработки продукта;

– формирования универсальной системы разработки продукта на основе сочетания ряда концепций (комплексной разработки продукта, управления жизненным циклом продукта, др.) на начальных этапах концептуализации продукта, позволяя сократить количество инженерных часов на его проектирование, изменить уровень сложности продукта, повсеместно определяемый современными технологическим достижениями и производственными парадигмами, что позволит уменьшить стоимость разработки продукта;

– управления сложностью посредством: а) взаимодействия, кооперации производителя и стейкхолдеров, в условиях, когда аутсорсинг⁴ со сравнительно небольшой добавленной стоимостью, офшоринг операции с более высокой добавленной стоимостью инженерных и R&D-работ, показали снижение эффективности своего использования, часто заменяясь инсорсингом операций; б) строгого структурирования архитектуры продукта через: стандартизацию продукта и процессов его разработки. Цель – относительное снижение стоимости разработки продукта;

– формирования и контроля затрат на этапе разработки продукта; управления цепочкой создания стоимости продукта, убывающая доля производителей конечного продукта (англ. OEM-производителя) которая объясняется: современной ролью поставщиков первого, второго и последующих уровней (англ. FTSs/OES/OEM- поставщиков), определяющих большую часть результатов в отношении продукта с позиции создаваемой добавленной стоимости.

Комплексную разработку продукта машиностроения и её экономическую эффективность в исследовании предлагается решать посредством формирования универсальной интегрированной системы разработки продукта, определяя потенциал темы исследования в экономическом ее содержании.

Степень разработанности проблемы. Теоретико-методологическим базисом современных исследований в области разработки продукта являются работы ряда авторов. К зарубежным ведущим исследованиям можно отнести труды Ю. Акао, С. Альджорефани, М. Андреасена, В. Барнетта, Н. Бокена, К. Баккера, Дж. Бауэра, В. Боулдинга, Т. Браунинга, М. Бура, Дж. Вебера,

⁴ по статистике, внешние расходы на аутсорсинг в 2010-2020-е гг. в отрасли составляют ~ 806,19 млрд руб. в год

Б. Вернера, А. Гриффина, К. Кана, К. Кларка, Д. Клаузинга, М. Кристена, Дж. Криштиану, Р. Коллинза, Р. Купера, Р. Логендрана, Дж. Невинса, Х. Такеучи, И. Тонака, С. Пью, С. Уилрайта, Д. Уитни, К. Ульриха, А. Урбани, Т. Фудзимото, А. Фогеле, Дж. Фримана, П. Чекленда, Р. Чейза, С. Эджетта, С. Эппингера, к отечественным – М.Я. Веселовского, О.В. Глебову, Р.С. Голова, С.С. Голубева, А.Д. Бобрышева, Е.В. Джамай, П.А. Дроговоза, Л.С. Зеленцовой, А.Е. Карлика, В.В. Ключкова, Л.В. Кох, Т.О. Толстых, И.Е. Селезневой, А.И. Шинкевича, Е.В. Шкарупеты, А.В. Юдина, полагающих, что разработка продукта не может формироваться «в отрыве» от производственной системы производителя, и выступающих за параллельное проектирование систем продукта и производства. Вместе с тем, в трудах авторов отмечается, что на практике полная интеграция процессов разработки продукта и планирования производственной системы почти не достигается, при этом являясь постоянным источником циклов доработки под потребности конкретного производства, и во многом зависит от допущений и стабильности входных данных, применяемого разнообразия инструментов и методов, увеличивает затраты и риск координации. Это не позволяет систематизировать текущую практику, создать единую формализованную систему или методологию реализации и требует дальнейшего развития подхода в части его практико-ориентированности.

Развитие методических и прикладных основ разработки продукта представлено в трудах таких ученых, как О.В. Грачевой, О.В. Глебовой, В.В. Ключкова, О.Ю. Мельникова, А.И. Шинкевича, С. Ансари, Д. Бен-Арье, В. Бейтца, Х. Вана, Дж. Вомак, И. Гёпферта, А. Гриффина, С. Дженкинса, Т. Истопа, Э. Кадзуми, С. Квонга, Х. Луо, П. Ноэ, Г. Паля, Т. Симпсона, П. Смита, Дж. Танаки, К. Шлиффенбахера, М. Хаммера, Т. Хиллбранда, Х. Хуанга, Ю. Цао, Дж. Чампи, и др., которые предлагают различные управленческие и организационные стратегии сочетания развития производства и систем управления продуктом, и при этом авторами параллельную разработку продуктов и процессов (корпоративных систем) предлагается дополнять процессами логистического обеспечения, управлением операциями, инвестиционным сопровождением и др., преобразуя в комплексное, системное, интегрированное выполнение проекта, дополняя концепциями сложного продукта и систем. Тем не менее, авторы не занимаются вопросами ранней интеграции продуктовых и производственных систем, останавливаясь только на этапе «Дизайн» жизненного цикла продукта, вопросами формирования и контроля затрат, индивидуализацией продукта под запросы потребителя, адаптационным интеграционным взаимодействием стейкхолдеров системы через достижение баланса интересов. В то время как, необходимость именно раннего рассмотрения аспектов комплексной разработки продукта, на этапе «Концептуализации», определяет экономико-технологическую эффективность проектирования продукта и во многом определяет достигаемые конечные результаты.

Сосредоточение внимания на процессе формирования продуктовых и производственных систем как части концепции интегрированного управления и корпоративного развития можно найти в трудах А.М. Батьковского, И.Б. Гусевой, В.П. Кузнецова, Д.Н. Лапаева, Х. Вильдеманна, А. Гупта, Э. Игенбергса, В. Кришнана, К. Лайкера, Дж. Моргана, А. Санчеса, Х. Негеле, С. Прахалада, Э. Фрике, Дж. Хуана, Л. Чжана, Х. Эль Мараги, К. Ульриха, С. Эппингера. Однако в трудах ученых решается как правило отдельная практико-ориентированная задача, и не выделяется акцент на унификацию, стандартизацию системы разработки продукта и ее образующих элементов; их масштабировании, пролонгации достигнутых результатов в последующие проекты. Что определяет необходимость решения задачи разработки единого подхода к формированию системы разработки современного продукта машиностроения, характеризующегося значительной вариативностью и сложностью.

В области экономических исследований анализ и интерпретация результатов развития интеграционных конфигурируемых систем продукта представлен в трудах И.А. Трониной, С.Г. Фалько, В.В. Ключкова, Д. Гейтенби, К. Исии, Д. Клаузинга, М. Мейера, Т. Рэндалла, Д. Робертсона, Дж. Тиссена, К. Ульриха, А. Урбани, Т. Филомена, К. Франца, П. Хиршманна, Г. Шуха, Г. Эриксона, В. Эверсхайма, К. Юнгеля, которые отмечают, что внутренняя сложность и затраты на сложность продукта возникают из-за большого количества его вариантов в отношении производственных процессов и ресурсов. Что говорит о необходимости управления разнообразием вариантов продуктов. А.Д. Бобрышев, М.Я. Веселовский, А.И. Шинкевич, Ф. Вебер, Т. Ёсикава, Дж. Лин, П. Миллер, С. Моралес, Г. Шух отмечают, что рост производственных затрат определяют трудности координации и управления системой из-за увеличения сложности производства и логистики. А.М. Батьковский, Р.С. Голов, Л.А. Костыгова, С. Гроткамп, П. Ратноу, Г. Рейнхарт, Л. Харви, П. Хорват, Ф. Феличе отмечают, что рост организационной и операционной сложности, обусловленной увеличением разнообразия в линейке продуктов, увеличивает средние производственные затраты на продукт, приводит к более высоким коммерческим расходам. Все перечисленное свидетельствует о необходимости акцента внимания разработчиков на экономическое пространство решений при разработке продукта, на вопросы повышения результативности и эффективности деятельности предприятий за счет эффективной комплексной системы разработки продуктов.

Вышеперечисленное обусловило выбор темы, цели, постановку задач и структуру данного исследования.

Научная гипотеза исследования: развитие конкурентоспособного машиностроения в России возможно посредством формирования и развития систем разработки продукта отрасли.

Цель исследования – детерминирование системы разработки сложного продукта и её элементного состава с позиции обоснования экономического

пространства решений для формирования долгосрочных конкурентных преимуществ предприятий отечественного машиностроения в условиях значительного роста стоимости разработки продукта отрасли.

Научные задачи:

1) исследовать существующие тенденции и подходы к разработке современного продукта машиностроения с позиции стоимости и времени разработки

2) оценить релевантные практики управления сложностью продукта и обосновать вывод о необходимости формирования универсальной архитектуры и элементного состава продукта машиностроения на этапе его концептуализации;

3) сформировать комплексную систему разработки продукта с учетом существующих подходов к современной разработке продукта;

4) обосновать сочетание элементов комплексной системы разработки продукта с возможностью их рекомбинации в условиях альтернативности выбора; через целеполагание, точки согласования, параметры стоимости, эффективности, производительности.

5) предложить технологию подбора элементного состава продукта через обоснование экономической эффективности преимуществ альтернативного выбора;

6) сформировать модель многоцелевой системы разработки продукта, основанную на сочетании обязательных и переменных ее элементов;

7) предложить конструктор PD-системы с позиции формирования экономического пространства решений;

8) разработать систему оценки эффективности комплексной системы разработки продукта с градацией метрик (экономических в совокупности с технико-технологическими) на отдельных этапах разработки продукта исходя из сформированных рамочных решений конструктора PD-системы;

9) дополнить методику оценки экономической эффективности сформированной системы разработки продукта с позиции интеграционной сети участников системы и комплексной разработки альтернативных концепций продукта;

10) сравнить формируемую систему разработки продукта в контексте «интегрированная система участников» и «собственная разработка производителя» для подтверждения целесообразности предлагаемого решения.

Объект исследования – продукт машиностроительных предприятий, постоянно изменяющейся сложности и стоимости разработки.

Предметом исследования является многоцелевая комплексная система разработки продукта машиностроения, а также организационно-экономические отношения, обуславливающие процесс совместной разработки продукта и достижения баланса эффективности.

Теоретическая и методологическая база диссертации базируется на исследованиях отечественных, зарубежных ученых по проблемам экономики, совершенствования систем разработки и планирования продукта, производственных процессов и производственных предприятий

машиностроения. Теоретической основой исследования стали философия параллельного проектирования систем продукта (СЕ-подход), комплексная разработка продукта (IPD-концепция), современные подходы к разработке и оценке создания стоимости продукта – модель совершенствования бизнеса (модель EFQM), модель системы разработки продукта (модель ZORN) и другие. Для решения задач исследования использовались общенаучные и эмпирические методы экономического исследования: системный анализ, экономическое наблюдение и эксперимент, балансовый метод, функционально-стоимостной метод и другие.

Информационную базу решения задач исследования образовали труды отечественных, зарубежных ученых в области формирования и развития систем разработки продукта и их экономического обоснования; формирования и развития производственных, корпоративных систем, в т.ч. монографии, диссертации, научные статьи; отчеты Росстата, профильных Министерств, данные аналитиков, материалы экспертного сообщества; плановые показатели стратегий, национальных проектов, программ развития. Подтверждение результатов научного исследования выполнено на основе анализа плановых и отчетных данных производственно-экономической деятельности ООО «АвтоКом», ПАО «ГАЗ», ООО «Луидор», ООО «ЛиАЗ» с апробацией и внедрением результатов; при проведении Министерством промышленности, торговли и предпринимательства Нижегородской области региональной политики; при реализации научно-практической деятельности НРО ВЭО, практической деятельности ЗАО «Институт ресурсосбережения», учебного процесса в НГПУ им. К. Минина.

Нормативно-правовая основа исследования – законодательные и нормативные акты, отражающие деятельность машиностроения в Российской Федерации с позиции регулирования и развития; документы стратегического планирования социально-экономического развития Российской Федерации.

Обоснованность результатов и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, содержащихся в диссертации, обеспечивается применением современных подходов к формированию универсальной интегрированной системы разработки продукта, определяя потенциал темы исследования в экономическом ее содержании; новыми организационно-экономическими подходами к совместной разработке продукта и достижения баланса эффективности, что подтверждается внедрением результатов исследования в деятельность предприятий отечественного машиностроения.

Соответствие паспорту научной специальности: область исследования: 5.2.3. – Региональная и отраслевая экономика Паспорта ВАК, в частности: п.2.1. Теоретико-методологические основы анализа проблем промышленного развития; п.2.2. Вопросы оценки и повышения эффективности хозяйственной деятельности на предприятиях и в отраслях промышленности; п.2.4. Закономерности функционирования и развития отраслей промышленности.

Научная новизна: развитие теоретических положений, разработка методических и практических рекомендаций по формированию многоцелевой

комплексной системы разработки продукта на предприятиях машиностроения, как инструмента управления сложностью продукта и обеспечения современного уровня его конкурентоспособности за счет достижения баланса эффективности.

1. На основе систематизации существующих тенденций и подходов к разработке современного продукта машиностроения, определены детерминанты формирования универсальной архитектуры и элементного состава продукта машиностроения постоянно изменяющейся сложности, что позволило обосновать необходимость развития методологии совместной комплексной разработки продукта. Отличительной особенностью является:

1) замена разработки продукта с частичным аутсорсингом системным поставщикам на совместную комплексную разработку продукта в системе «производитель-стейкхолдеры»; 2) управление возрастающей сложностью продукта через стандартизацию части элементов формируемой системы разработки продукта и их пролонгация в последующие решения; 3) формирование элементного состава продукта на более раннем этапе разработки продукта – на этапе «Концептуализации» (противопоставляя предлагаемому в настоящее время этапу «Дизайн продукта»), что позволит: обеспечить экономическо-технологическую преемственность между производителем и его стейкхолдерами; пролонгацию существующего экономического и технологического задела; достичь целевых затрат по проекту за счет использования фактических данных.

2. Разработан концептуальный подход к формированию и развитию системы разработки продукта и ее системообразующих элементов с позиции универсальной комплексной разработки продукта, отличающийся от традиционного подхода: 1) выделением обязательного и переменного набора элементов при формировании интервала альтернатив конфигурации продукта; 2) управлением сложностью продукта через сформированный интервал альтернатив конфигурации продукта, исходя из выбора поставщика с последующим расчетом показателя «вероятность сочетания альтернатив каждой подсистемы»⁵; 3) экономической и технолого-технической оценкой атрибутов компонентов на ранних этапах, что позволяет сочетать элементные компоненты с использованием фактических данных уже на этапе разработки продукта. Авторский подход также предполагает формирование связей между элементами исходных систем (продуктовых, производственных) посредством систематизации результатов «наилучшего их проектирования», сопоставления через «критические точки», исчисляемого целеполагания и параметры согласования, такие как стоимость систем, эффективность, производительность, что позволяет заинтересованным сторонам планировать объемы и сроки поставки продукта в производство на этапе разработки продукта.

⁵ Обязательной (унифицированной) и переменной частей системы

3. Система разработки продукта разработана в ее элементном содержании и в технологии выбора элементов системы, дополнена использованием расчетного индекса (I_{PD}^1), который считается как отношение индекса важности к сравнительной стоимости отдельной характеристики продукта или его компонента, и, в отличие от существующих практик относительных экспертных оценок, позволяет лицам, принимающим решение, обосновать использование отдельного элемента в системе на основе фактических расчетных данных. Также индекс позволяет: а) учитывать стоимость неодинаковых типов носителей ценностей, б) формировать баланс эффективности каждого шага PD, что обеспечивает системе свойство универсальности, позволяя тиражировать практику в последующие проекты разработки продукта.

4. Предложена модель многоцелевой комплексной системы разработки продукта в условиях альтернативности выбора обязательных и переменных её компонентов. Модель сформирована в виде корреляционной матрицы, учитывает экономические проектные переменные, реализует технологию выбора отдельного элемента системы с использованием расчетного индекса (I_{PD}^1). В отличие от существующих моделей оценки: 1) экономическая переменная оценивается в модели в виде разных типов стоимости и выступает параметром альтернативного выбора, а не результатом процесса разработки продукта; кроме того, 2) градация результатов оценки, дает возможность рекомбинации обязательных (унифицированных) и переменных элементных компонентов; что позволяет выполнять расчетную сравнительную оценку не только технологической, но и экономической эффективности компонентов системы.

5. Разработан конструктор PD-системы, как инструментальное обеспечение технологии оценки стоимости разрабатываемого продукта по центрам затрат исходя из альтернативного выбора его элементов. Авторское отличие в моделировании конструктора системы разработки продукта заключается: а) в привязке подмножества системы к приращению стоимости с учетом роста сложности, б) в рассмотрении групп показателей (экономических, технических, технологических) «в связке» в условиях альтернативности выбора. Использование конструктора позволяет «сдвинуть» возможность оценки стоимости разрабатываемого продукта с этапа «Дизайн» разработки продукта на более ранний этап «Концептуализацию».

6. Предложена система оценки эффективности комплексной интегрированной системы разработки продукта, включающая систему критериев оценки на отдельных этапах разработки продукта: на ранних этапах через выражение «отсроченной полезности»; на средних этапах решения в виде оценки экономических преимуществ от реализации сетевого взаимодействия (производитель + стейкхолдеры); на поздних этапах – в виде комбинации экономических и технических критериев. Новым является: 1) применение аналогового метода по показателям эффективности ТРМ в качестве эквивалента стоимости и включения бенчмаркинга в качестве постоянного бизнес-процесса оценки эффективности разработки продукта; 2) разработка

технологии оценки стоимости разрабатываемого продукта исходя из сформированных рамочных решений конструктора РД-системы через: сопоставление технических, технологических и экономических показателей «в связке» с диапазоном значений посредством сопоставления вводимых в технологию оценки индексов технических и технологических характеристик (I_{RTi}) и индекса затрат (I_{Cost}). Использование системы оценки позволяет: 1) соотнести разные типы стоимости (приращения ценности) принимаемых решений и создать пространство решений для минимизации потерь; 2) выбрать приоритетную элементную конструкцию системы из альтернатив посредством расчета не только показателей ТРМ-эффективности, но и сметной стоимости продукта.

7. Дополнена методика оценки экономической эффективности системы комплексной разработки продукта постоянно изменяющейся сложности за счет учета ресурсов участников и неоднородности объектов по экономическим и технико-технологическим показателям. Новизна в: 1) формировании критериев выбора, не только на уровне технологической, но и на уровне экономической системы с использованием экономических, технических и технологических показателей в натуральном и стоимостном выражении через реализацию отношений; 2) в предложении модели оценки экономической эффективности сформированной системы разработки продукта с позиции достаточности совокупных ресурсов интеграционной сети участников системы и наличия альтернативных концепций продукта. Предлагаемая модель позволяет максимизировать экономический результат в интервале значений при комплексной разработке путем соотнесения эталона с результатами выделенных альтернатив в условиях реализации проектов с высоким уровнем неопределенности и ограниченными данными по продукту.

8. Разработана методика сопоставления категорий «собственная разработка продукта» и «интегрированная разработка продукта совокупностью участников», позволяющая сделать итоговый выбор подхода посредством наложения профилей процессов. Отличие предложенной методики сравнения в операционализации метрик показателей эффективности систем; в использовании авторских показателей «результативность системы», «фокус- индекс элемента системы».

Теоретическая и практическая значимость работы. Теоретическая значимость состоит в развитии содержания категории «комплексная разработка продукта», включая: технологию выбора элементного состава продукта, где альтернативная экономическая эффективность конфигурации продукта определяется на основе сравнительного преимущества; методического подхода к формированию конструктора РД-системы с позиции обоснования экономического пространства решений; систему оценки эффективности комплексной системы разработки продукта с градацией метрик на отдельных этапах разработки продукта, дополняя теоретико-методологическим базисом современных исследований в области разработки продукта с позиции обоснования экономического пространства решений. Практическая значимость

состоит в возможности применения результатов исследования при разработке продукта машиностроительных предприятий с динамичным разнотипным производством, выпускающих изделия постоянно изменяющейся сложности, что подтверждается апробацией и внедрением результатов по теме исследования на ряде предприятий отрасли, способствуя повышению эффективности разработки продукта.

Результаты исследования внедрены в учебный процесс посредством создания научно-методических материалов по дисциплинам «Создание продукта в промышленности», «Экономика промышленного предприятия», «Технико-экономическое обоснование проектной деятельности предприятий», «Конструкторская, технологическая и организационная подготовка производства».

Апробация результатов исследования. Научные и практические результаты диссертационного исследования размещены в открытом доступе (научные статьи, монографии), в докладах на международных и всероссийских научно-практических конференциях.

Публикации. Результаты исследования изложены в 71 научных работах общим объемом 157,8 п.л. (лично автора – 77,1 п.л.), в том числе в 6 монографиях, 19 – в журналах, индексируемых в базе Scopus и Web of Science, 32 – в ведущих рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК при Минобрнауки РФ, 14 – в статьях РИНЦ.

II. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ, ВЫНОСИМЫЕ НА ЗАЩИТУ

1. На основе анализа зарубежного и отечественного опыта лидеров отрасли выявлены тенденции в разработке современного продукта машиностроения, на основе которых определены детерминанты формирования универсальной архитектуры и элементного состава продукта машиностроения на самых ранних этапах разработки продукта.

В настоящее время разработка продукта в машиностроении разнопланова, оригинальна по конструкторскому и технологическому заделу, а потому затратна, длительна и не адаптивна в последующие проекты, что приводит к многочисленным производственным маршрутам, с уникальными инструментами и методиками реализации. Напротив, формализация деятельности, предлагаемая автором, в части формирования универсальной архитектуры и элементного состава продукта на самых ранних этапах его разработки, позволяет сократить количество инженерных часов на его проектирование, уровень сложности продукта, снизить стоимость разработки в контексте следующих составляющих.

1. Общий процесс разработки продукта с частичным аутсорсингом системным поставщикам заменить комплексной разработкой продукта с акцентом на реализацию преимуществ интеграции производителей и поставщиков – участников систем и их исходных базовых условий деятельности (технико-технологическо-экономических), определяющих степень сложности продукта. Решения по разработке продукта (введение

универсальной конструкции систем, интенсивная интеграция стейкхолдеров и др.) определяют возможности для структурирования цепочки создания стоимости, повышают потенциал улучшения производительности, повышения эффективности деятельности, (таблица 3).

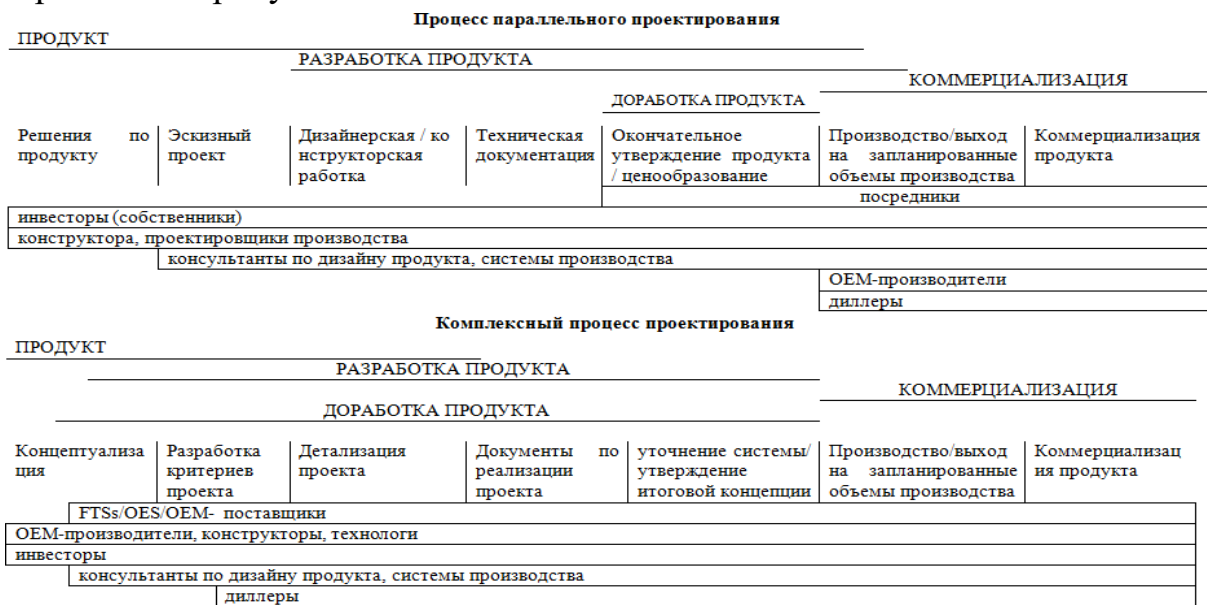
Таблица 3 – Преимущества практики интеграции систем на уровне разработки продуктов (значения показателей лидеров отрасли в 2020–хх гг., в среднем)

Преимущества систем	Преимущества
Сокращение времени на формирование спецификаций	От 5–25 дней до 1–2 дней
Экономия рабочего времени	Инженерные часы сокращены с 5 рабочих недель до 1 - 2 рабочих дней. Время PD-цикла снижено на 1-6 дней
Повышение качества спецификаций	Сокращение ошибок в конфигурациях; повышение качества спецификаций с 60% до 100%
Снижение производственных затрат	Постоянные производственные затраты снижены на 50%, переменные – на 30%. Ошибки сборок снижены до 1-2%
Снижение стоимости конфигурации продукта	Снижение стоимости до 60%

Источник: систематизировано автором по данным сайтов лидеров машиностроения, на основе аналитики Р. Бергера [86]

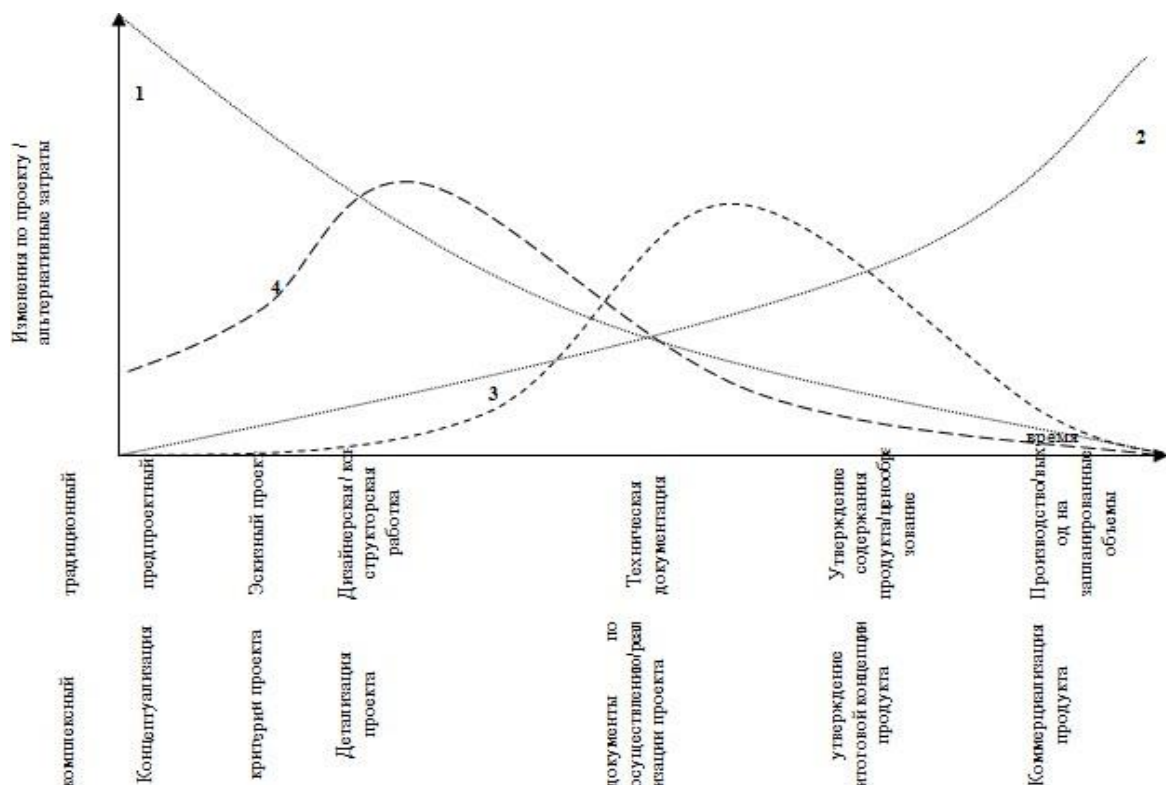
2. Управление возрастающей сложностью продукта через стандартизацию части элементов системы. Возможны: 1) усовершенствования используемых инструментария, моделей, технологий; 2) формирование продуктовой платформы семейства продуктов, что по оценкам экспертов в 2020-х гг. позволило отдельным лидерам отрасли сократить время заказа на 30%, время сборки на 27%, затраты на складирование и сборку на 18-24%.

3. Смещение формирования универсальной архитектуры и элементного состава продукта с этапа «Дизайн» на этап «Концептуализации». Решения отображены на рисунках 2 и 3.



Источник: систематизировано автором на основе сравнения: PD-процесса С. Дженкинса, Дж. Криштиану [117],[182] MSP-процесса (разработка производственных систем) Л. Ларссона [202],[239] SE-метод (параллельное проектирование) Дж. Невинса, Д. Уитни [64],[112],[234] IPD (комплексная разработка продукта) М. Андреасена [74],[107],[161]

Рисунок 2 – Комплексная и параллельная разработка продукта в сравнении



где: 1. Способность влиять на стоимость продукта и его функциональные возможности; 2. Стоимость изменений в продукте; 3. Параллельная разработка продукта; 4. Комплексная разработка продукта. Источник: систематизировано автором через сопоставление SE-метода (параллельное проектирование систем «продукт-производство») [64], [104], [112], IPD (комплексная разработка продукта) [74], [107]

Рисунок 3 – Карта ключевых решений по продукту

Также определяется:

1. Релевантными практиками лидеров машиностроения.

2. Эмпирическими результатами применения отдельных идей в условиях отечественного производства в 2010-2020-х гг. как то: сокращение времени разработки высокотехнологичных продуктов с 10% до 25%; достижение целевых характеристик разрабатываемого продукта за счет роста производительности в 2 раза и сокращение на 30% затрат на выполнение ремонтных работ; снижение себестоимости продукции на 20-30% за счет устранения потерь в производстве; рост выработки на одного рабочего на 10- 30% в зависимости от предприятия; сокращение затрат на рабочую силу на 18- 33%; увеличение скорости работы оборудования на 190%, продуктивности – на 180%. Сохранение выделенной тенденции позволит отечественным производителям повысить показатель успеха проектов – в настоящее время он на уровне 58-59%, обеспечить дополнительный экономический эффект от 600 млрд до 1,2 трлн руб. к 2025 г.

3. Показателями эффективности систем разработки продукта отдельных отечественных производителей, реализующих концепцию продукта (таблица 4).

При раннем объединении проектных практик производителя и его стейкхолдеров при комплексном проектировании продукта совокупные ресурсы участников системы достаточны для разработки альтернативных концепций. Принятие решений ориентировано на технико-технологическо-экономические возможности производителей.

Таблица 4 – Релевантные практики реализации концепции в РФ (фрагмент)

Показатели	Значения
<i>1. Доля отдельных концепций PD-систем</i>	
TQM, 6 Сигм, 20 ключей и др., кол-во предп. /доля в общем числе	25 / 5%
Business system, кол-во предприятий/доля в общем числе	25 / 5%
Lean system, кол-во предприятий/доля в общем числе	143 / 28,6%
Product system, кол-во предприятий/доля в общем числе	282 / 56,4%
Production system, кол-во предприятий/доля в общем числе	78 / 31%
<i>2. Затраты производителей на внедрение и развитие PD-систем</i>	
ПАО ГАЗ, затраты – процент от выручки	2%
ООО «Луидор», доля в сумме затрат	0,2%
ООО «ЛиАЗ», доля в сумме затрат	0,2
ООО «АвтоКом», доля в сумме затрат	0,1
<i>3. Выгоды от внедрения и развития корпоративных систем</i>	
снижение себестоимости / экономия	на 30% / 11,5 млн руб.
сокращение незавершенного производства / доп.доход	на 50% / 130 млн руб.
высвобождение рабочей силы, снижение ФОТ	на 25% / 1,3 млн руб.
в ПАО ГАЗ: сокращение расходов / экономия	на 30% / 65 млн руб.

Источник: систематизировано по данным: ООО «АвтоКом», ПАО «ГАЗ», ООО «Луидор», ООО «ЛиАЗ»

2. Концептуальный подход к формированию системы разработки продукта

Концептуальный подход автора развивает научные направления по формированию системы разработки продукта с позиции реализации походов к совместной разработке продукта (DIP), управления затратами в условиях кооперации (ICM), при формировании совместных компетенции, анализа альтернативной эффективности (CEA-анализа) (рисунок 4).

Система разработки продукта	
1. Предмет трансформации – операнд–продукт	– сложный продукт, включая унифицированную и переменную подсистему
2.1. Сеть бизнес-процессов:	
Процессы первого уровня – система продукта	– элементы: а) отношения – функциональные, физические характеристики; б) элементы, модули, платформы, др. компоненты, их декомпозиция; в) реализуемая архитектура; г) варианты – технические / технологические / экономические д) решения – общность, фактические данные, пролонгация результата
Процессы второго уровня – производственные системы	
Процессы третьего уровня – поддерживающие, обеспечивающие	
2.2. Организационная архитектура	– матрица кросс-функциональных элементов
2.3. Интеграционная сеть участников системы	– внутрикорпоративная, межкорпоративная, междисциплинарная, с привлечением ODM-; OEM-; OES-(FTSs); CEM; R&D-участников
3. Инструментарий	– технологии, методы, методики, используемые при разработке продукта, формировании системы
4. Оценка результатов	– разработки; инжиниринг и дизайн; управление продуктом; альтернативная эффективность
5. Управление изменениями в проекте	

Источник: разработано автором на основе ZORN- модели Х. Негеле (модель системы разработки продукта) [233], [155], [180], практик совместной разработки продукта К. Бичльмайера (DIP-подход) [89], [173]

Рисунок 4 – Архитектура системы разработки продукта

По замыслу автора, создание системы разработки продукта возможно посредством: 1) формирования продукта, как набора функциональных компонентов, и предопределяющих состав системы разработки продукта: $FC = \{FC_1, FC_2, \dots, FC_n\}$. Функциональный компонент FC_i может быть реализован одним или несколькими элементными компонентами $EC_i = \{EC_{i1}, EC_{i2}, \dots, EC_{im(i)}\}$, где $m(i)$ – число элементных компонентов, выстроенных в определенном порядке (j – порядковое число экземпляра элемента функционального компонента), EC_{ij} ($1 \leq i \leq n, 1 \leq j \leq m(i)$). Исходя из чего процесс разработки продукта основывается на сопоставлении требований заказчика с целевым набором функциональных компонентов продукта, элементные компоненты EC_i которых на ранних этапах учитывают различия атрибутов компонентов экземпляра, предоставляемых разными поставщиками, а в дальнейшем определяют конфигурацию семейства продуктов. Совокупность поставщиков ($S_{ij:k}$) элементных компонентов отображается как k -й поставщик j -го компонента экземпляра EC_{ij} функциональной составляющей FC_i : S_{ijk} ($1 \leq i \leq n, 1 \leq j \leq m(i), 1 \leq k \leq s(i,j)$). Эффективность сформированной системы определяется возможностью выбора поставщика на основе сравнительного преимущества из интервала альтернатив конфигурации продукта (рисунок 5).

Принципы решения		Функции						
		1	2	...	j	...	m	...
1	F_1	S_{11}	S_{12}	...	S_{1j}	...	S_{1m}	
2	F_1	S_{21}	S_{22}	...	S_{2j}	...	S_{2m}	
...	
i	F_i	S_{i1}	S_{i2}	...	S_{ij}	...	S_{im}	
...	
n	F_n	S_{n1}	S_{n2}	...	S_{nj}	...	S_{nm}	

Комбинация 1 $S_{11} + S_{21} + S_{i2} + \dots + S_{n1}$

Комбинация 2 $S_{21} + S_{2j} + S_{im} + \dots + S_{n2}$

Источник: составлено на основе многокритериального отбора поставщиков для платформенных продуктов Ю. Цао [103]

Рисунок 5 – Комбинация компонентов экземпляра продукта из существующего подмножества вариантов

2) функциональный компонент продукта содержит набор обязательных (унифицированных) компонентов и дополнительный (переменный) набор компонентов, исходя из чего, формируемая система включает две подсистемы: переменную и унифицированную, что подразумевает возможность рекомбинации элементных компонентов:

$$FC_i = \{EC_{ij(v)}, EC_{ij(d)}\} \approx L, \quad (1)$$

где: $EC_{ij(v)}$ – переменные элементы (подсистема) продукта, которые, в т.ч. определяют уровень сложности продукта; $EC_{ij(d)}$ – унифицированные элементы системы, повторно используемые в следующих модификациях продукта; L – ограничения системы $\{L_1, \dots, L_n\}$.

3) Общность обязательных элементов продуктов при этом обеспечивается:

а) через систематизацию релевантных практик лидеров отрасли, технологическими возможностями производителя, стейкхолдеров (таблица 5);

Таблица 5 – Показатели по PD-проектам лидеров отрасли в 2010-2020-х гг.

Показатели лидеров	В среднем	Япония	США	Европа
Общее количество (проектов)	29	12	6	11
Года реализации	2000-2017	2001-2015	2004-2017	2000-2017
Инженерные часы на проект, в среднем (тыс. час.)	2,75	1,155	3,478	3,636
Время проекта, реализация (месяцы)	56,69	46,59	62,87	63,79
Количество моделей продукта, в среднем (в проекте)	2,06	2,3	1,7	2,2
Доля повторных модулей (%)	10,23	7,6	9,2	13,9
Оригинальные элементы продукта (%)	76	87	65	76

Источник: систематизировано автором по данным ENAPS (база данных лидеров отрасли)

б) посредством выделения критических «точек успеха», «точек согласования» решений через альтернативный выбор (рисунок 6).



Источник: систематизация выполнена на основе методики разработки открытых продуктов Р. Киршнера [193], производственных систем Г. Шука [279]

Рисунок 6 – Систематизация релевантных практик формирования систем

Вероятность нахождения пары альтернатив в пределах архитектуры системы X_i и X_j – $p_F(X_i, X_j)$ определяется выражением:

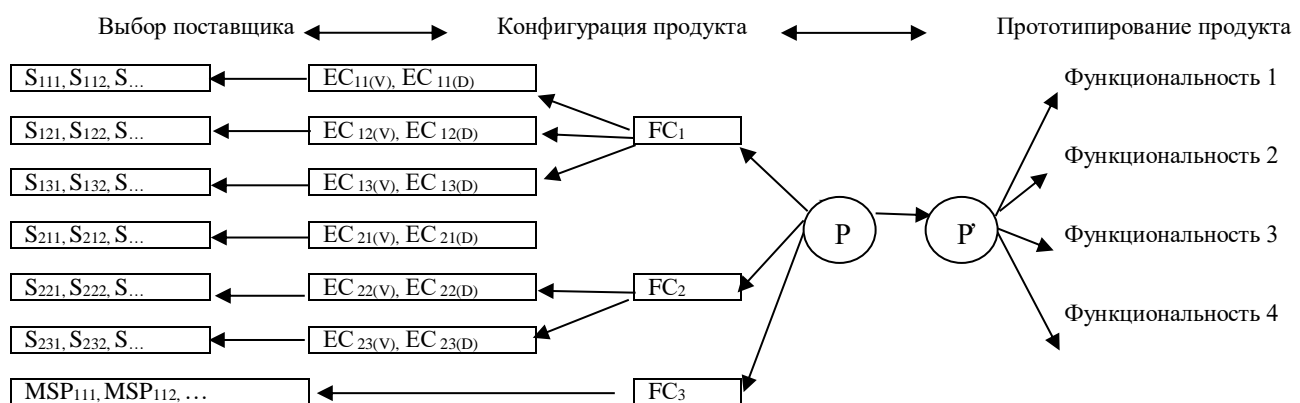
$$p_F(X_i, X_j) = 1 - (1-p)^{X_i, X_j}, \quad (2)$$

где p – вероятность сочетания альтернатив каждой подсистемы, начиная градацию с «удовлетворительной» совместной работы.

Вероятность нахождения пар альтернатив в пределах архитектуры системы определяет как уровень сравнительной сложности разработки и функционирования системы, так и сложности продукта.

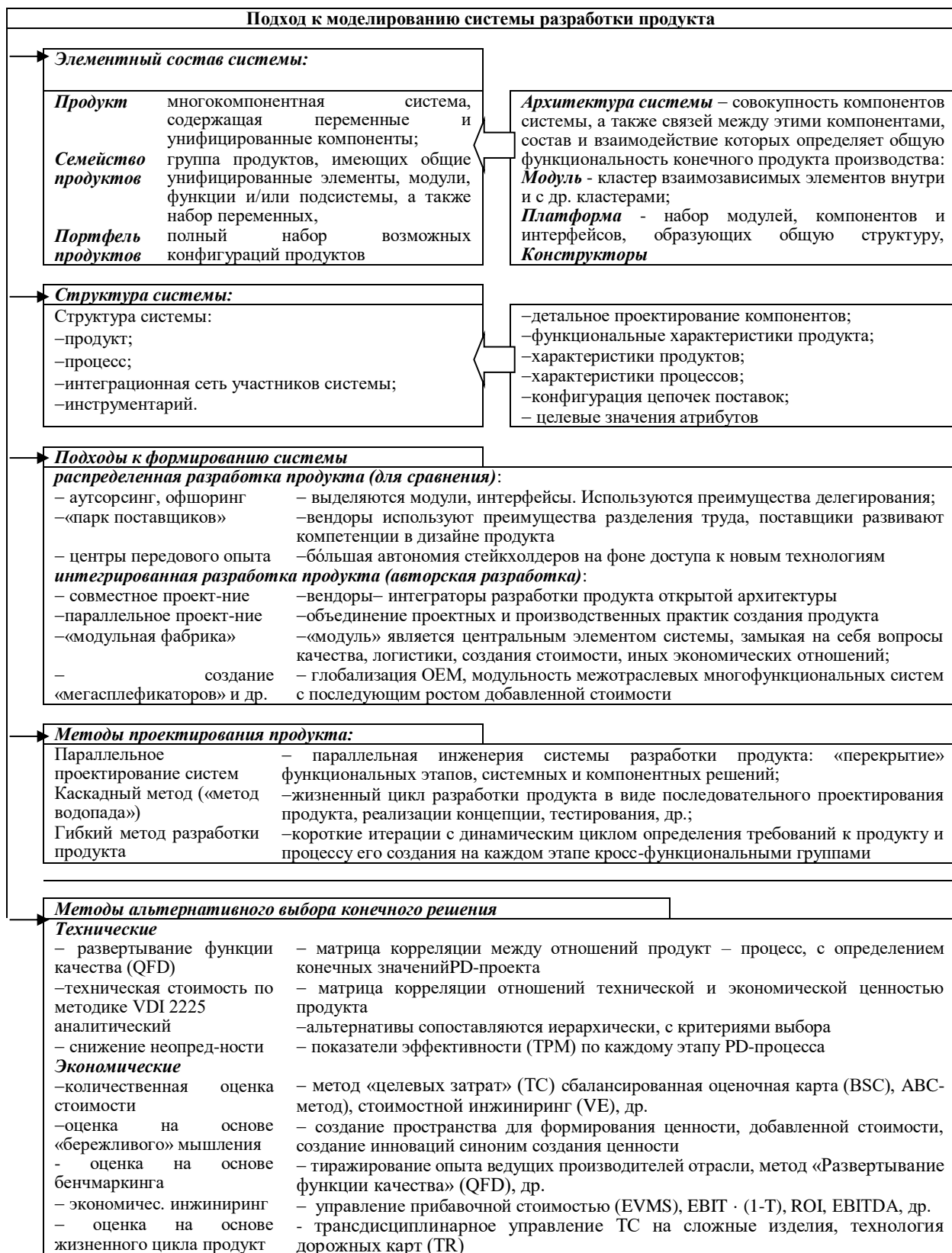
3. Технология выбора элемента системы разработки продукта, где альтернативная экономическая эффективность конфигурации продукта и поставщика определяется на основе фактического сравнительного преимущества.

По замыслу автора, формируемая система (рисунок 7), предполагает: 1) выбор поставщика (S_{ijk}) на основе сравнительного преимущества уже на этапе концептуализации продукта (рисунок 8), т.е. «перенос» стейкхолдеров производителя с фазы PD-разработки «Дизайн» на начальный уровень – в фазу «Концептуализации»; 2) альтернативность выбора между новыми элементами и существующим заделом производителя, включая: а) конструктивные единицы – объекты: детали, узлы, модули, стандартные конструкции, платформы и т.д.; б) взаимосвязи, соединяющие конструктивные элементы; в) условия формирования и реализации продукта как системы; 3) достижение баланса технических, технологических и экономических решений на всех этапах разработки продукта. Традиционно выбор конечного элемента PD-системы из существующих альтернатив основан на использовании: 1) шкалы Лайкерта, формирующей интервальные данные, позволяющие исследователям обосновать использование среднего арифметического в качестве меры; 2) индексного метода; 3) корреляционной матрицы релевантности.



Источник: разработана на основе методики отбора поставщиков для платформенных продуктов Ю. Цао [103]

Рисунок 8 – Технология формирования системы разработки продукта через усиление роли поставщика



Источник: разработано автором на основе ZORN- модели Х.Негеле [233], моделей систем разработки продукта М. Гонсалес и др.[155], [180], практик совместной разработки продукта К. Бичльмайера (DIP-подход) [89],[173]

Рисунок 7 – Элементный состав системы разработки продукта

Авторское решение дополняет экономическим обоснованием относительную экспертную оценку: выбор элемента системы разработки продукта основывать на использовании «индекса выбора» (I_{PD}^i), который определяется как частное между индексом важности (% I) и относительной стоимостью (% C) функции, характеристики, компонента (таблица 6).

$$I_{PD}^i = \% I / \% C, \quad (3)$$

где %C – отношение стоимости отдельного элемента ($EC_{ij(V)}$, $EC_{ij(D)}$, FC_i , ...) к сумме затрат всех элементов продукта; % I – относительная важность отдельного элемента (производительность, функциональность) по отношению к другим элементам.

Таблица 6 – Градация вариантов решения (фрагмент)

Элемент системы	Решение 1			Решение 2			Результат
	% I	% C	I_{PD}^i	% I	% C	I_{PD}^i	
$EC_{11(V)}$	73,45	81,61	0,90	78,91	85,77	0,92	2
$EC_{12(V)}$	76,39	80,41	0,95	86,88	88,65	0,98	2
$EC_{13(V)}$	81,79	87,95	0,93	85,97	94,47	0,91	1
...							
$EC_{21(D)}$	82,91	93,15	0,89	75,12	81,65	0,92	2
$EC_{22(D)}$	91,04	99,81	0,91	92,11	97,98	0,94	2
...							
Индекс	Результат						
$IV = 1$	Оптимальный выбор, ценность элемента максимальна						
$0,9 < IV < 1$	Нормативное значение стоимости. Возможна вариация элемента						
$IV < 0,9$	Элемент критичен. Обязательно альтернативное решение, в т.ч. по стоимости						

Источник: система оценки ENAPS (данные бенчмаркинга); [98],[123],[159], практики запуска идеи по разработке продукта и его управления

Предложенный индекс позволяет: а) включать стоимость разных типов носителей ценностей как параметра альтернативного выбора, а не фактора, возникающего в результате процесса разработки продукта, б) формировать баланс эффективности (вход = затраты или усилия, выход = доход, продукт, др. результат) каждого шага, что обеспечивает системе свойство универсальности, позволяя тиражировать практику в последующие проекты разработки продукта.

4. Модель формирования многоцелевой системы разработки продукта в условиях альтернативности выбора и возможности рекомбинации обязательных и переменных элементных компонентов системы.

Выбор элементов PD-системы обусловлен проектными переменными:

1. Себестоимость продукта – проектное решение как соотношение:

$$Totalcost_{P_{i,j}} = \sum \varepsilon_{ijk} (EC_{ij(V)}, EC_{ij(D)}, \approx L_{ij(V)(D)}, v_{i,j}) \cdot Cost_{ijk} + \sum \varepsilon_{ijk} \neq 1 (EC_{ij(V)}, EC_{ij(D)}, \approx L_{ij(V)(D)}, v_{i,j}) Cost_a \approx (1+\alpha), \quad (4)$$

где, $Totalcost_{P_{i,j}}$ – суммарная стоимость конфигурируемого продукта исходя из совокупности решений по $i, j, n, m(i), s(i,j)$, $EC_{ij(V)}$, $EC_{ij(D)}$; ε_{ijk} – переменная решения, соответствующая компоненту EC_{ij} с позиции его поставки S_{ijk} ($1 \leq k \leq s(i, j)$): если $\varepsilon_{ijk} = 1$, компонент EC_{ij} участвует в конфигурации; если $\varepsilon_{ijk} = 0$, компонент EC_{ij} не участвует в конфигурации, и соответствующий k -й поставщик S_{ijk} не выбран. Для функциональных элементов FC_i выбираются экземпляры компонентов EC_{ij} с $\varepsilon_{ijk} = 1$. $Cost_{ijk}$ – цена, предоставляемая k -м поставщиком j -го экземпляра компонента i -го функционального набора, $\sum Cost_{ijk}$ – диапазон

цен; $Cost_a$ – средняя стоимость соединения IM_{ij} в FC_i , α – средняя норма прибыли производителя. Условием реализации: $Totalcost_{P_{i,j}} (1+\alpha) \leq Cost_{max}$, где $Cost_{max}$ – плавающий диапазон цены потребителя.

2. Функциональность продукта – область PD-системы – функция, рассматривается как переменная, а результатом является продукт в соотношении:

$$P_{i,j} = \sum F M_i = \sum E C_{ij(V)}, E C_{ij(D)}, \approx L_{ij(V)(D)}, V_{i,j}, \quad (5)$$

где: $v_{i,j}$ – нормализованные значения элементов: отраслевого стандарта (при наличии), проектов лидеров отрасли (эталон через бенчмаркинг).

3. Производительность – проектное решение по продукту через соотношение:

$$P_{P_{i,j}} = \sum \varepsilon_{ijk} (E C_{ij(V)}, E C_{ij(D)}, \approx L_{ij(V)(D)}, V_{i,j}) P_{ijk,d} \omega_{ijk}, \quad (6)$$

где ε_{ijk} – переменная решения, соответствующая компоненту $E C_{ij}$ с позиции его характеристик $(V), (D)$; $P_{ijk,d}$ – производительность k -го поставщика j -го компонента i -го функционального набора $\{E C_{ij(V)}, E C_{ij(D)}\}$ и интервал оценки релевантности d -го исполнения (пр., срок поставки); ω_{ijk} – весовой коэффициент набора характеристик с позиции функциональности.

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Модель формирования многоцелевой системы разработки продукта}^6: \\ s(i,j) \\ \sum_{k=1}^{m(i)} \varepsilon_{ijk} = 1, \quad i=1,2, \dots, n; \quad j=1,2, \dots, m(i) \\ \sum_{j=1}^{m(i)} \sum_{k=1}^{s(i,j)} \varepsilon_{ijk} = 1, \quad \text{если } FC_i \text{ является переменным компонентом;} \\ \sum_{j=1}^{m(i)} \sum_{k=1}^{s(i,j)} \varepsilon_{ijk} < 1, \quad \text{если } FC_i \text{ является унифицированным компонентом;} \\ i=1,2, \dots, n \end{array} \right. \quad (7)$$

Например: конфигурация включает «m» – унифицированные и «n» – переменные элементы; стоимость единицы продукта $C_i = [372 \ 736]$ тыс. руб., продолжительность сборки $T_i = [1,4; 1,9]$. Данные по поставкам в таблице 7.

Таблица 7 – Конфигурация продукта с позиции альтернативного выбора (пример)

№	Имя модуля	Номер экземпляра	Наименование поставщика	Срок поставки (дн.)	Цена (тыс. руб.)	ω_{ijk}
1	Модуль «m»	M ₁₁	S ₁₁₁	[39,41]	[14 268, 15 465]	0,2565
			S ₁₁₂	[38,42]	[13 808, 14 729]	0,2471
		M ₁₂	S ₁₂₁	[38,40]	[13 348, 14 268]	0,2552
			S ₁₂₂	[36,39]	[15 649, 16 385]	0,1463
			S ₁₂₃	[36,38]	[13 624, 14 544]	0,0759
		M ₁₃	S ₁₃₁	[39,41]	[16 570, 17 490]	0,1213
S ₁₃₂	[38,41]		[17 306, 18 227]	0,1325		
....					
10	Модуль «n»	M ₁₀₁	S ₈₁₁	[1,2]	[7 364, 8 284]	0,0652
			S ₈₁₂	[2,3]	[7 180, 8 377]	0,0787

Систематизировано автором с использованием данных п/п, матриц интервального сравнения при принятии многокритериальных решений (на основе методики К. Бичльмайер [89], Л. Стирн, П. Грошель [287])

⁶ На основе современных представлений об интегрируемости систем

При анализе производительности поставщиков элементов продукта определяются характеристики $\varepsilon_{ijk}\{1,2,\dots\}$; формируется корреляционная матрица «поставщик-производительность» исходя из набора функциональных FC_i и элементных компонентов $\{EC_{i1}, EC_{i2}, \dots, EC_{im(i)}\}$ и их характеристик (таб.8).

Таблица 8 – Матрица релевантности поставщиков (S_{ij}) и проектных переменных OEM-производителя (производительности, функциональности)

Производительность Поставщик	Решение 1			Производственный процесс			
	Цена (тыс. руб.)	P_{ij}	$P_{ri,j}$	P_1	P_2	P_3	P_4
S_{111}	[14 268, 15 465]	$\varepsilon_{ijk}=1, FC_{1(V)}$	[39,41]	[5,9]	[6,9]	[7,8]	[8,1]
S_{112}	[13 808, 14 729]	$\varepsilon_{ijk}<1, FC_{1(D)}$	[38,42]	[5,8]	[7,9]	[8,8]	[8,9]
...							

Источник: систематизировано автором с использованием данных п/п, матрицы релевантности Т. Гертнера [148]

При невозможности расчетной сравнительной оценки, выбор элементов системы осуществляется с использованием отношений доминирования Парето.

Следующим этапом составляется конструктор PD-системы.

5. Конструктор PD-системы, как инструментальное обеспечение экономического, технического и технологического пространства решений исходя из альтернативного подмножества элементов.

Цель формирования конструктора PD-системы – обоснование групп стоимостных решений по продукту на ранней стадии разработки продукта, в условиях ограниченности данных. При моделировании конструктора используем MDM-подход (многодоменную матрицу), который позволяет:

1) соотнести и оценить элементные компоненты системы, их целевую и сметную стоимость: $\sum EC_{ij(V)}, EC_{ij(D)} (\approx L_{ij(V)}(D), v_{i,j})$ – таблица 9.

Таблица 9 – Пример реализации модели оценки элемента продукта с детализацией

Структура	Характеристика элемента с детализацией		Целевая стоимость (тыс.руб.) (1)	Сметная стоимость (тыс.руб.) (2)	Разница (2) – (1)	Относит экономия,%	
Унифицированная подсистема продукта $EC_{ij(D)}$	Сумма элементных компонентов		81,36	99,50	18,14	22,29	
	Базовые элементы	Фиксированные общие элементы	7,05	13,15	5,963	68	
		Элемент 1	оригинальный	9,57	14,06	4,49	32
	стандартный		8,06	11,65	3,59	31	
	Добавленные элементы	Общие элементы		9,04	16,34	7,30	45
		Элемент 2	оригинальный	20,01	21,09	1,08	5
стандартный	18,31		19,82	1,51	8		
Переменная подсистема продукта $EC_{ij(V)}$	Традиционные	Общие традиционные элементы	54,79	70,59	15,80	22	
		Элемент 3	альтернатива 1	23,02	38,75	15,73	41
			альтернатива 2	54,79	76,47	21,68	28
	Улучшенные	Общие улучшенные		99,19	105,12	5,93	6
		Оригинальные улучшенные		53,41	89,94	36,53	41
	Новые	Элемент 4	оригинальный	13,54	15,27	1,73	11
стандартный			10,18	11,91	1,73	15	

* Предполагается альтернативность выбора между новыми элементами и существующим заделом

Источник: модель основывается на стандартах ANSI/EIA (процессы проектирования систем) [79], DNVGL DNV-

По замыслу конструктор PD-системы выступает как инструментальное обеспечение технологии оценки стоимости разрабатываемого продукта исходя из альтернативного выбора. Авторский подход предлагает модель стоимостной оценки разработки продукта в структуре интегрированной PD-системы, в условиях комплексной разработки:

$$C_{PD} = UDP + \sum ODP_n + IPE, \quad (8)$$

где: расчет целевой стоимости разработки продукта (PD-стоимость), включает расчет базовой (UDP) и альтернативной (OPD_n) стоимости продукта, а также стоимости разработки продукта в системе, с позиции сочетания унифицированной и переменной подсистем продукта (IPE);

2) оценить стоимость отдельного варианта решения с позиции «компонент-функция» (таблица 10). Авторская методология оценки стоимости решения по продукту: 1) представляет процедуру для оценки стоимости функциональных структур; 2) оценивает целевую стоимости отдельных функций продукта (FCA). Данным решением модель оценки стоимости последовательно дополняется, позволяя определить этапы внедрения методологии оценки стоимости разработки продукта, с использованием предложенного инструментария:

$$C_{PD} = UDP + \sum ODP_n + IPE + FCA \quad (9)$$

где: FCA расчет целевой стоимости отдельных функций продукта.

Таблица 10 – Матрица оценки стоимости варианта решения (фрагмент)

Влияние элемента решения, его комбинация i (строка) на элемент затрат j (столбец). Шкала оценок: от 0 до 10			Затраты на разработку $cost_{F_i,j}$	Инвестиционные затраты $ki, tcost_{i,j}$	Затраты на производство, $Cost_a$	Стоимость отдельной функции, $Totalcost_{F_i,j}$	Вклад в функциональные затраты $Cost_{F_{FM}} [\%]$
№	i -ая функция	Элемент решения или комбинация					
1	Обеспечение FC_i , в т.ч.:	Модуль	2	0	1	2	0,89
1.1	Первый шаг	Декомпозиция нескольких элементов	4	2	3	9	...
1.2	Второй шаг	Реализация первой цели	3	1	4	8	...
1.3	Третий шаг	Элемент решения	1	0	2	3	0,87
1.4	Четвертый шаг	Реализация второй цели (производственного шага)					
						
10	Обеспечение контроля реализации решения	Оценка решения, комбинации	4	1	4	7	1,99
Стоимость			15 465 тыс. руб.				
Весовой коэффициент			$\Sigma\Sigma$				

Источник: разработана автором на основе количественной оценки влияния разработки продукта на стоимость и время М. Боера, Р. Логендрана [91], методики Л. Стирн, П. Грошель [287]

Расчет целевой стоимости отдельных функций продукта включает: Шаг 1 – Декомпозицию продукта на – унифицированные элементы системы $ES_{ij} (D)$ и

переменные элементы $EC_{ij}^{(v)}$. Определение стоимости функционального компонента продукта FC_i на основе компонентного сочетания; Шаг 2 – Расчет «трансформационных затрат», образующихся при сочетании $EC_{ij}^{(D)}$, $EC_{ij}^{(v)}$ при формировании альтернатив функциональной структуры продукта; Шаг 3 – Генерация альтернатив конструкций продукта, реализующих отдельную функцию, формирование совместных компетенций через «инженерный анализ целевой стоимости» (AV , EV , где AV – редизайн, EV – разработка нового продукта) продукта, вида деятельности, результат; Шаг 4 – Расчет стоимости разработки продукта с использованием метода единицы производственных усилий (ABC -метод); Шаг 5 – Расчет стоимости разработки продукта на уровне проектирования системы «продукт-производство». Данными решениями модель оценки стоимости дополняется:

$$C_{PD} = UDP + \sum OPD_n + IPE + FCA + AV (EV) + ABC_n + PDP \quad (10)$$

где: AV / EV – редизайн / разработка нового продукта; ABC_n – стоимость разработки продукта с использованием метода единицы производственных усилий; PDP – стоимости разработки продукта на уровне проектирования системы «продукт-производство».

3) выбор решения по PD-системе (таблица 11).

Таблица 11 – Оценка вариантов решения исходя из экон. целесообразности

Варианты	Требование	1. Технические показатели (RTi)			....	2. Технологические показатели (RTii)			3. Показатели стоимости (RCost _{PD}) (тыс.руб.)			Всего	Величина выполнения требования, %	
		Требование «а»	Требование «б»	Требование «в»		Обеспечение функциональности элемента	Обратная связь	Максимальное время работы	Сравнительные затраты	Сравнительные выгоды	Относительная эффективность			
Варианты решения	№	1	2	3		27	28	29		178	178	183		
Вариант 1	1	2	2	2		2	2	2		2	2	2	54	96
Вариант 2	2	2	2	2		2	2	2		2	2	2	156	100
Вариант 3	3	2	2	2		2	2	0		2	2	2	60	98
Вариант 4	4	2	2	2		2	2	1		1	2	2	80	87

* Шкала оценок: от 0 до 2. Стандарт оценки: 0 = i не удовлетворяет j ; 1 = i частично удовлетворяет j ; 2 = i соответствует j , где i – решение, j – затраты; технические параметры (RTi) – величины, определяющие характеристики и функции продукта; показатели стоимости продукта (RC_{PD}) – сумма n -затрат, относящихся к жизненному циклу продукта, где технические (PR_{rt}), технологические и стоимостные (PR_{rc}) требования выражены относительными весами.

Источник: разработана автором на основе метода управления процессами разработки продукта, ориентированного на результат П. Ноэля [235], методологии развития производства К. Шетца [270]

В соответствии с выдвинутой идеей подход к моделированию конструктора включает: 1. Формирование цепочки стоимости разработки продукта исходя из сочетания «профилей стоимости»; 2. Формирование цепочки стоимости разработки продукта в привязке к продукту; 3. Формирование цепочки стоимости исходя из альтернативного подмножества; 4. Формирование цепочки стоимости разработки продукта с использованием экономического инжиниринга.

Модель оценки стоимости через формирование конструктора позволяет «сдвинуть» возможность оценки стоимости разрабатываемого продукта с этапа «Дизайн» на более ранний PD-этап – на этап «Концептуализации».

6. Система оценки эффективности интегрированной системы разработки продукта в сочетании технико-экономических показателей.

Оценка эффективности через сочетание сформированной ценности и снижение стоимостных и временных потерь, по замыслу автора, выполняется:

1. На ранних этапах, усилиями по улучшению процесса – «отсроченной полезностью», пространством для формирования добавленной стоимости (12).

Таблица 12 – Практические методы бережливых практик (фрагмент)

1. Персонал	
1.1. Состав команды	1.2. Рабочая среда и мотивация
Соотнести ресурсы с целями	Способствовать прозрачности проекта
Разработка архитектуры PD-системы	Разработать систему KPI
Разработка систем процессов	Разработки системы стимулирования
Управленческая интеграция научных направл.	Разработка системы и визуализация контроля
2. Процесс	
2.1. Требования и определение стоимости	Интеграция процессов, планирование, постоянное улучшение
Система требований к ценности потребля	
Ценность результатов деятельности	2.4. Сокращение «ненужной» работы
2.2. Обеспечение устойчивого потока	Исключение «ненужных» одобрений
Фокус на обеспечение непрерывного потока	Информация в едином формате
3. Методы и технологии	
3.1. Методы и инструменты	3.3. Проблемы дизайна
Стандартизация методов и инструментов	Способствовать осознанию стоимости
Адаптация методов и инструментов для персонала и процессов	Повторное использование базовых частей, конструкций, решений
3.2. Запасы и ресурсы	Дизайн, позволяющий модифицировать
Эффективное управление запасами	Создание семейства продуктов
Единая база данных для стейкхолдеров	Поддержка эффективной интеграции
Единый формат для передачи информации	Мониторинг производства и сборки

Источник: объединение практик в этапах реализации LPD, представленных в подходах: ценностная стратегия в SE, Lean принципы для инноваций, Lean PD-поток, бережливый логистический подход, основанная на множестве структура для разработки продукта (на основе трудов А. Шинкевича, Ф. Галимулиной [59], Р. Купера, С. Эджетта [115], М. Кусумано, К. Нобеока [118])

2. На средних этапах – через расчет стоимости разрабатываемого продукта и выбор его эффективной структуры продукта, вкл.: 1) исследование предпосылок к формированию целевой стоимости: Шаг 1: изучение: характеристик продукта; потребности в затратах по фазам PLM-цикла, включая оценку: а) прямых затрат на исследования, разработку, производство и изготовление продукта; б) требования к стоимости использования. Шаг 2: систематизация технических параметров (RT_i) и набора n-затрат определяющих функции продукта, градация которых выражается относительными весами (PR_{rt}) и (PR_{rc}). Шаг 3: определение характеристик продукта, вкл.: ET_i – технические характеристики, выраженные числом и единицей измерения; EC_k – стоимость, рассчитанную: а) в абсолютном выражении (ECA_k); б) в относительном

выражении (ECR_k) – в процентах от целевой стоимости PLC продукта; с использованием бенчмаркинга, опыта реализованных PD-проектов. То есть определение технических и стоимостных характеристик продукта. 2) выбор функциональной структуры продукта исходя из его технико- стоимостных характеристик: Шаг 4: формирование решений посредством расчета: а) индекса технических характеристик продукта (I_{RTi}); б) индекса затрат (I_{Cost}). Индекс I_{RTi} – произведение ET_i – параметров на их соответствующий вес (PR_{rt}), где структура, имеющая наивысшее значение I_{RTi} обеспечивает лучшие характеристики по сравнению с другими:

$$I_{RTi} = \sum(ET_i \cdot PR_{rti}) \quad (11)$$

Индекс I_{Cost} – произведение EC_i – затрат и ECR_i –весов, где структура, имеющая наивысшее значение I_{Cost} имеет наименьшую стоимость по сравнению с другими:

$$I_{Cost} = \sum(EC_i \cdot ECR_i) \quad (12)$$

Шаг 5: выбор функциональной структуры по стоимостным критериям. 3) выбор приоритетной элементной конструкции из альтернатив. Шаг 6: альтернативные варианты продукта, как-то: материальная составляющая, производственные процессы, степень чистоты обработки, др. Шаг 7: оценка стоимости альтернативных вариантов – исходя из: стоимости процессов; стоимости продукта; стоимости PLM. Шаг 8: разработка матрицы решений, вкл. оценочную стоимость альтернативных вариантов (R_{CostPD}) и определение индекса затрат (I_{Cost}) каждой структуры. Шаг 9: выбор альтернативы продукта с учетом сметной стоимости продукта (таблица 13).

Таблица 13 – Матрица выбора функциональной структуры продукта (пример)

Технические требования к стоимости и спецификация продукта		Функциональные структуры продукта (\sum_{FCI})		
		Структура 1	Структура 2	Структура 3
Технические характеристики	PRrt	Оценка конструкций на соответствие *		
RT ₁	PRrt1	10	1	2
RT ₂	PRrt2	5	5	1
...				
RT _m	PRrtm	5	10	5
Индекс технических характеристик (I_{RTi})		280,5	174,5	352,5
Затраты, тыс.руб.	ECRk	Оценка конструкций относительно спецификации стоимости		
EC ₁	0,40	5,6	5,6	8,9
EC ₂	0,25	13,2	25,9	25,6
....				
EC _n	0,10	10,8	11,5	10,9
Индекс затрат (I_{Cost})		123,5	237,5	245,5
Отношения между I_{RTi} и I_{Cost}		280,5/123,5 = 2,27	174,5/237,5 = 0,73	352,5/245,5 = 1,43

* Шкала оценок: от 1 до 10. Стандарт оценки: 1 = i низкая производительность; 5 = i частично удовлетворяет требованиям; 10 = i полностью соответствует заданной производительности.

Источник: разработана автором на основе модели для оценки производственных затрат и производительности систем Т. Лин [208], подходу к разработке эффективных продуктов М. Мартина [215], методов управления затратами, используемых при разработке новых продуктов С. Моралес [226]

3. На поздних этапах – в виде комбинации экономических и технических метрик системы (таблица 14) и их сопоставления с эквивалентами.

Таблица 14 – Градация вариантов решения (фрагмент)

Элемент системы	Решение 1			Решение 2			Выбор решения
	Индекс технических характеристик (I _{Ti})	Индекс затрат (I _{Cost})	N _{Оптимум}	Индекс технических характеристик (I _{Ti})	Индекс затрат (I _{Cost})	N _{Оптимум}	
ЕС _{11(V)}	280,5	123,5	ENAPS	174,5	237,5	ENAPS	1
ЕС _{11(D)}	...	...	...	...	...	...	...
...							
Индекс	Результат						
N _{факт} (I _{Ti}) ≥ N _{Оптимум}	система сравнительно эффективна при сочетании TPM-, Cost- показателей, обладает потенциалом масштабируемости						
N _{факт} (I _{Ti}) ≤ N _{Оптимум}	система не соответствует эквивалентам показателей эффективности в системе сопоставления «TPM – Cost»						

Источник: система оценки ENAPS (данные бенчмаркинга); модель планирования стоимости и графика проекта разработки Т. Браунинга, С. Эппингера [98], калькуляции затрат на основе деятельности З. Дегрейва [123], цикла разработки продукта А. Гриффина [159], практики запуска идеи по разработке продукта и его управления

Допускается совокупное использование: 1) сбалансированной оценочной карты (BSC), 2) оценочной карты инновационности продуктов (PIM), на основе шкалы Лайкерта; 3) ключевых показателей эффективности KPI (таблица 15).

Таблица 15 – Показатели системы оценки эффективности интегрированной системы разработки продукта в сочетании технико-экономических показателей (фрагмент)

Показатель	Определение	Ед. изм.	Значения ENAPS в 2020-х гг.	Показатели отечественных производителей
Качество продукта				
Ректификация/ коррекция дефектов	доля продуктов, требующих устранения обнаруженных несоответствий	процент	Toyota ~ 20%; Rover~ 30%	ЛиАЗ ~ 23%, ГАЗ~ 25%
.....				
Время разработки продукта /системы				
От концепции до утвержденного дизайна продукта	истекшее время от начала проекта до фиксированного дизайна продукта	месяцев	Toyota ~7 мес.; Rover~12мес.	ЛиАЗ ~24-28 мес. ГАЗ~24-48 мес.
От концепции до производства	время от начала проекта до начала производства	месяцев	Toyota ~ 30 мес.; Rover ~35 мес.	ГАЗ~24-28 мес., Луидор ~12мес.
....				
Эксплуатационные характеристики производства				
Фактические часы работы	промежуточных операциях и окончательной сборке	часов в неделю	Nissan = 11 час.; Rover = 15час.	ЛиАЗ = 14 час., ГАЗ = 16 час.
Количество сборочных деталей/единиц	общее количество компонентов, необходимых для сборки ТС	количество деталей	Fiat ~ 1650; Land Rover ~ 3000	ЛиАЗ ~ 2150, ГАЗ~ 2350
....				
Производительность разработки продукта /системы, на ед.:				
Сумма инженерных часов	человеко-часы, затраченные на разработку нового продукта	млн чел.- часов	Япония = 1,9 млн; Rover ~ 3 млн.	АвтоКом, ГАЗ, Луидор, ЛиАЗ ~ 4,8 млн.
Количество прототипов	количество опытных образцов в одном проекте	количество	Audi = 40; Rover = 200+	АвтоКом, ГАЗ, Луидор, ЛиАЗ ~40-50+
...				
Экономический инжиниринг				
Общая стоимость разработки	общая стоимость ресурсов	тыс.руб.	Ctyvller = 31 666 Rover = 155 232	АвтоКом, ГАЗ, Луидор, ЛиАЗ >320 000
Стоимость разработки в расчете на единицу продукта	соотношение общих расходов на развитие к объему годовой программы производства	тыс.руб. на единицу	Audi = 6 904 Rover = 11 046	АвтоКом, ГАЗ, Луидор, ЛиАЗ – в зависимости от модельного ряда
....				

Источник: систематизировано автором по данным: ООО «АвтоКом», ПАО «ГАЗ», ООО «Луидор», ООО «ЛиАЗ», по данным качественных и количественных исследований: подхода к оценке эффективности разработки продукта К. Кларка [108], подходу к разработке эффективных продуктов М. Мартина [215], методов управления

затратами, используемых при разработке новых продуктов С. Моралес [226], а также методов бережливых практик, сбалансированной оценочной карты (BSC), оценочной карты управления инновационными продуктами (PIM), «технической стоимости»; показателей эффективности (TRM)

Эквивалентом стоимости может быть снижение неопределенности в показателях TRM-эффективности, определяемых посредством эмпирики, методом распределения Парето и др.

7. Методика оценки экономической эффективности системы комплексной разработки продукта, учитывающая ресурсы участников и неоднородность объектов сравнения по техническим, технологическим и экономическим показателям.

В методике оценки экономической эффективности системы:

– критериями выбора на уровне экономической системы выступают: потенциальный доход (TR), стоимость разработки альтернатив (с), продолжительность цикла PLM, отношение c / TR . Для машиностроения нормализованные значения разработки продуктов лидерами отрасли (c_n / TR) составляют диапазон от 0,001 до 0,01;

– на уровне технологической системы оцениваются: эффекты от выстроенных взаимосвязей, отношений между элементами системы ($v_{1i,j}$) (в т.ч. С –ограничения), снижение технологической неопределенности каждой подсистемы в проекте разработки продукта (p_i и p_j) и суммарно; вероятность сочетания альтернатив каждой подсистемы (N_i и N_j); эффективность системы (X_i, X_j).

Экономический результат интегрированной комплексной разработки продукта ($E [P_D / TR]$) определяется выражением:

$$E [P_D / TR] = \sum_{X_i \approx X_{ni}}^{N_i} p(x_i=X_i) \cdot \sum_{X_j \approx X_{nj}}^{N_j} p(x_j=X_j) - (L \approx c_{ni,j} \cdot (N_i + N_j) / TR), \quad (13)$$

где $p(x_i=X_i)$ и $p(x_j=X_j)$ – числовое выражение эффективности работы архитектуры системы разработки продукта в пределах разработанных альтернатив N_i и N_j в подсистемах i и j ; p_i и p_j – вероятности успеха каждой альтернативы подсистем i и j ; $c_{ni,j}$ – нормализованные значения стоимости разработки продукта (бенчмаркинг); x_{ni}, x_{nj} – нормализованные значения функциональности соответствующей подсистемы продукта (бенчмаркинг).

Сравнительная экономическая эффективность системы разработки продукта определяется через реализацию отношений:

$$1) k_{CE} = c_i/E_i \text{ и } 2) k_{EC} = E_i/c_i, \quad (14)$$

где: c_i – стоимость альтернативы i , в рублевом эквиваленте; E_i – эффективность альтернативы i в физических единицах, в т.ч. – в числовом выражении успеха (эффективности) работы архитектуры системы разработки продукта в отдельном исчислении в пределах сумм разработанных альтернатив N_i и N_j в подсистемах i и j ; p_i и p_j .

Соотношение 1 представляет стоимость на единицу эффективности (например, млн рублей / функциональность), исходя из чего, PD-проекты можно ранжировать по соотношению CE от самого низкого до самого высокого – самый эффективный проект имеет самый низкий коэффициент k_{CE} .

Соотношение 2 представляет собой эффективность (функциональность) на единицу стоимости, исходя из чего, решения располагаются в порядке от высокого до низкого коэффициента $K_{ЕС}$, реализуя задачу минимизации затрат (таблица 16).

Таблица 16 – Отношение c_n / TR для отдельных проектов отрасли и сравнительный анализ эмпирических данных в рамках апробации модели

Показатели	Проект 1	Проект 2	Проект 3	Проект 4
TR, млн руб.	130	680	2400	10 200
c_n / TR	0,125	0,125	0,21	0,39
Апробация модели в части соотношений $K_{СЕ} = C_i/E_i$				
c_i , млн руб.	10,0	10,0	10,0	10,0
E_i	5,0	10	15,0	8,0
$K_{СЕ} = c_i/E_i$, млн руб.* (лучший проект 3)	2,0	1,0	0,67	1,25
$K_{ЕС} = E_i/c_i$	5,0	1,0	1,50	0,80
Апробация модели в части соотношений $K_{ЕС} = E_i/C_i$				
c_i , млн руб.	5	10	15	12
E_i	10	10	10	10
$K_{СЕ} = c_i/E_i$, млн руб.** (лучший проект 1)	0,5	1	1,5	1,2
$K_{ЕС} = E_i/c_i$	2	1	0,66	0,83

Источник: адаптировано из К. Ульрих, С. Эппингер [305], расчеты автора по данным ООО «АвтоКом», ПАО «ГАЗ», ООО «Луидор», ООО «ЛиАЗ»

Максимизация значения экономического результата в интервале значений N_i и N_j при комплексной разработке ($E [P_D / TR] \rightarrow \max$) определяется путем соотнесения эталона с результатами выделенных альтернатив параллельной разработки продукта.

Анализ эмпирических данных по проектам в рамках апробации модели позволяет определить:

1) сравнительную эффективность разработки нескольких вариантов продуктов – эффективность высока для проектов с относительно низким отношением c_n / TR ($\min=0,001$), которая соответственно уменьшается по мере увеличения отношения (таблица 17);

Таблица 17 – Эмпирические данные для отдельных проектов в соотношении с вероятностью сочетания (p) альтернатив подсистем (N_i и N_j) (фрагмент)

N_i и N_j ($c/TR=0,01$)	Вероятность (успех) сочетания (p) альтернатив подсистем (N_i и N_j), %									
	5	15	25	35	45	55	65	75	85	95
N_i ($p_i = p_j = 10\%$)	30	27	25	23	21	21	21	21	21	19
N_i ($p_i = p_j = 50\%$)	16	12	10	8	8	6	6	5	5	5
N_i ($p_i = p_j = 80\%$)	10	7	5	5	4	4	4	3	3	3
$N_i(p_i=10\%;p_j=80\%)$	30	27	25	24	22	22	21	20	20	19

Источник: систематизация выполнена на основе методики разработки продуктов в условиях неопределенности В. Кришнана [199],

2) достижение ожидаемых экономических показателей при комплексной

разработке продукта сохраняется в проектах с высоким уровнем неопределенности, при разработке сложного высокотехнологичного продукта. Потенциал комплексной разработки альтернатив реализуется: а) для решений с высокими значениями экономического результата c_n / TR ($\max=0,01$) при высокой вероятности доработки (например, при $p=90\% - 95\%$), сохраняясь постоянным для проектов со сложной архитектурой (низкие значения доработки: $p=5\% - 10\%$); б) для сложных, новых продуктов (таблица 18).

Таблица 18 – Эмпирические данные по риску комплексной разработки нескольких вариантов концепции (риск₁) и развития одной концепции (риск₀) при рассмотрении ряда значений c_n / TR (фрагмент)

риск ₁ и риск ₀	Вероятность доработки (p) альтернатив Ni и Nj архитектуры, %									
	5	15	25	35	45	55	65	75	85	95
$c/TR=0,01$										
риск ₁ ($p_i = p_j = 10\%$)	3,3	2,25	2	2,1	2	2	2	2,1	2,1	2,2
риск ₁ ($p_i = p_j = 80\%$)	0,2	0,1	0,1	0,1	0	0,1	0,05	0,05	0,05	0
.....										
$c/TR=0,001$										
риск ₁ ($p_i = p_j = 10\%$)	-	35	28	25	24	24	24	23	24	25
риск ₁ ($p_i = p_j = 80\%$)	4	2	2	1	3	2	1	2	2	3

Источник: систематизация выполнена на основе методики разработки продуктов в условиях неопределенности В. Кришнана [199]

Анализ эмпирических данных по проектам комплексной разработки PD-системы, позволяющей разработать несколько вариантов концепций продукта в связи с возможностью привлечения дополнительных ресурсов её участников, показывает, что решение выступает инструментом снижения неопределенности.

8. Методика сопоставления категорий «собственная разработка продукта» и «разработка продукта совокупностью участников», позволяющая сделать итоговый выбор.

Сотрудничество производителя со стейкхолдерами при разработке продукта оценивается неоднозначно, но в то же время, в ряде подотраслей машиностроения широко практикуется. Исходя из чего, разработка продукта совокупностью участников (интегрированная разработка) представляет собой потенциальный фактор успеха, вероятность которого может быть оценена посредством сравнения профилей процессов: «собственная разработка», «интегрированная разработка» с использованием показателей:

$$\text{Результативность системы (R)} = (\text{Уровень реализации PD-конструкции} / \text{Уровень значимости этапа конструкции}) \cdot 100\% \quad (15)$$

Этапы PD-конструкции ранжируются: от 1 до 5, где рост значения отражает рост значимости этапа для процесса разработки в целом.

Рейтинг этапов PD-конструкции соотносится с соответствующим рейтингом результативности реализации этапа процесса, формируя фокус-индекс (FI) (уровень) PD-конструкции.

$$\text{Фокус-индекс элемента систем (FI)} = (\text{Рейтинг степени важности элемента системы} / \text{Рейтинг степени результативности конструкции}) \cdot 100\%,$$

(16)

где $FI = 1$ – норма; $FI < 1$ – недостаточность усилий; $FI > 1$ – избыточность усилий этапа, что снижает его добавленную стоимость.

Методика сопоставления включает:

1. Расчет результативности использования системы создания продукта:

Таблица 19 – Эффективность реализации PD-системы в рамках систематизации функциональных компетенций

	Этап PD-проекта *	Уровень значимости этапа (а), %	Уровень реализации этапа (б), %	Результативность ($R = б/а$) х 100, %
1	Разработка концепции	67,12	43,28	64,48
2	Дизайн продукта	82,74	59,82	72,29
3	Техническое воплощение системы	79,18	56,19	70,96
4	Детальное проектирование	83,16	59,17	71,15
5	Коммерциализация	85,25	67,8	79,54

Источник: составлена автором на основе модели планирования стоимости и графика проекта разработки Т Браунинга, С. Эппингера [98], ключевых компетенций моделирования разработки продукта Т Браунинга, Э. Фрике [99], подхода к оценке эффективности разработки продукта К. Кларка [108]

2. Расчет результативности использования PD-конструкции системы в целом представлен в таблице 20:

Таблица 20 – Результативности использования PD-конструкции системы

Ранжирование	Этап PD-конструкции	Уровень значимости этапа (а), %	Уровень реализации этапа (б), %	Результативность ($R = б/а$) х 100, %
1	Эффективность инвестиций в НИОКР	78,91	62,31	78,96
2	Удовлетворение ожиданий клиентов	86,88	60,12	69,19
3	Перспектива стратегического управления	85,97	58,13	67,61
4	Управление процессами качества	75,12	48,14	64,08
5	Разработка и внедр. технологий	92,11	58,13	36,11
6	Разработка и внедр. инноваций	89,96	51,12	26,83
7	Управление знаниями	79,89	48,18	60,31

Источник: составлена автором на основе практик запуска идеи по разработке продукта и его управления Р. Купера, С. Эджетта [116], моделей Т. Браунинга, С. Эппингера [98], Э. Фрике [99], подхода К. Кларка [108]

3. Расчет фокус-индекса элемента системы создания продукта:

Таблица 21 – Фокус-уровень PD-системы

№	Конструкции PD-процесса	Уровень значимости и этапа, %	Ранжирование (а)	Результативность, %	R - Рейтинг (б)	Фокус-индекс (а/б)
1	Разработка концепции	73,45	5	64,48	5	1,0
2	Дизайн продукта	76,39	4	72,29	2	2,0
3	Техническое воплощение системы	81,79	3	70,96	4	0,75

4	Детальное проектирование продукта, системы	82,91	2	71,15	3	0,66
5	Коммерциализация	91,04	1	79,54	1	1,0

Источник: составлена автором на основе практик запуска идеи по разработке продукта и его управления Р. Купера, С. Эджетта [116], моделей Т. Браунинга, С. Эппингера [98], Э. Фрике [99], подхода К. Кларка [108]

4. Расчет фокус-индекса использования PD-конструкции в целом:

Таблица 22 – Расчет фокус-индекса использования PD-конструкции в целом

№	PD-процесса управление	Уровень значимости этапа, %	Ранжирование (а)	Результативность, %	R - Рейтинг (б)	Фокус-индекс (а/б)
1	Эффективность инвестиций в НИОКР	78,91	6	78,96	1	6,00
2	Удовлетворение ожиданий клиентов	86,90	3	69,19	2	1,5
3	Стратегическая перспектива управления	84,90	4	67,61	3	1,33
4	Управление процессами качества	81,21	5	64,08	4	1,25
5	Разработка и внедр. технологий	89,42	1	36,11	6	0,16
6	Разработка и внедр. инноваций	87,89	2	26,83	7	0,28
7	Управление знаниями	78,56	7	60,31	5	1,4

Источник: составлена автором на основе методики количественной оценки влияния разработки продукта на стоимость М. Боера [91], практик запуска идеи по разработке продукта и его управления Р. Купера, С. Эджетта [116], моделей Т. Браунинга, С. Эппингера [98], Э. Фрике [99], подхода К. Кларка [108]

Методика сопоставления позволяет установить PD-элементы, с избыточной, либо неэффективной интегрированной разработкой продукта, что дает возможность в случае неэффективности заменить интегрированную разработку продукта на частичный аутсорсинг системным поставщикам.

III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Важнейшим условием реализации комплексной разработки продукта выступает повышение её эффективности; результативное управление сложностью, стоимостью и временем разработки продукта. Однако, практика применения современных подходов к разработке продукта машиностроения выявляет ряд недостатков: значительное превышение целевых затрат на разработку продукта, отсутствие полной интеграции участников, ограниченность ресурсного и финансового обеспечения, невозможность разработки альтернативных концепций продукта, что определяет сравнительно низкий процент конечной реализации PD – 58-59%. В исследовании предлагается решение выявленных недостатков через использование сравнительно новой стратегической альтернативы: формирование трансформационных, гибких, адаптивных, интегрированных систем разработки продукта, ориентированных не только на технико-технологические-экономические возможности производителей, но и их стейкхолдеров. Реализация решения позволит отечественным производителям повысить показатель успеха проектов до 70-72%, обеспечить дополнительный экономический эффект от 600 млрд руб. до 1,2 трлн руб. к 2025

Г.

2. Авторская система разработки продукта основывается на совместной разработке продукта (DIP), управлении затратами в условиях кооперации (ICM), управлении затратами при формировании совместных компетенции, анализе альтернативной эффективности (CEA-анализе) и др. По замыслу:

1) продукт состоит из набора функциональных компонентов, в свою очередь формируемых несколькими элементными компонентами на основе определения их сравнительного преимущества из интервала альтернатив конфигурации продукта; 2) функциональные компоненты представлены набором обязательных и дополнительных (переменных) элементных компонентов, сочетание и рекомбинация которых определяет вариантный ряд продукта; 3) общность обязательных элементов обеспечивается: а) через систематизацию релевантных практик, технологических возможностей производителя и его стейкхолдеров; б) посредством выделения критических «точек успеха», «точек согласования»; в) через параметры согласований: стоимость, производительность, эффективность. 4) вероятность нахождения пар альтернатив в пределах архитектуры системы определяет, как уровень сравнительной сложности разработки системы, так и сложности функционирования системы. Реализация решения нацелена на достижение отечественными производителями средних значений показателей PD-проектов лидеров машиностроения, как-то: оригинальных элементов продукта ~76%, доли повторных модулей ~ 10%, времени реализации проекта ~2-3 года; а также на сокращение стоимости часа на разработку продукта с 27,6 тыс. руб./час до 14-20 тыс. руб./час.

3. По замыслу автора, технология выбора элемента формируемой системы, предполагает: 1) выбор поставщика уже на этапе концептуализации продукта; 2) частичное использование существующего задела производителя; 3) достижение баланса технических, технологических и экономических решений на всех этапах разработки продукта. В качестве экономических методов альтернативного выбора конечного решения предлагается: количественная оценка стоимости – метод «целевых затрат» (ТС) сбалансированная оценочная карта (BSC), ABC-метод, стоимостной инжиниринг (VE), др.; оценка на основе «бережливого» мышления – создание пространства для формирования ценности, добавленной стоимости; бенчмаркинг – тиражирование опыта ведущих производителей отрасли; экономический инжиниринг – управление прибавочной стоимостью (EVMS), EBIT, ROI, EBITDA, др.; оценка на основе PLC – управление затратами на сложные продукты, технология дорожных карт (TR). Выбор конечного элемента PD-системы дополнить использованием «индекса выбора» (I^i), который позволяет: а) включать стоимость разных типов носителей ценностей как параметра альтернативного выбора, а не фактора, возникающего в результате процесса разработки продукта, б) формировать баланс эффективности (вход = затраты или усилия, выход = доход, продукт, др. результат) каждого шага, что обеспечивает системе свойство универсальности, позволяя тиражировать практику в последующие проекты разработки продукта. Реализация решения нацелена на снижение стоимости разработки продукта отечественными производителями до средних по отрасли, на повышение

производительности проектных решений по продукту с соотношении один к двум.

4. Модель системы разработки продукта предполагает альтернативность выбора, обеспечиваемого интеграцией её участников и нацелена на: а) градацию переменных и унифицированных функциональных компонентов (зависимость ε_{ijk} и FC_i); б) выбор элементов PD-системы на основе трех расчётных переменных: себестоимости и функциональности разрабатываемого продукта и достигаемой производительности OEM-производителя. Реализация модели позволяет сформировать корреляционную матрицу «поставщик-производительность» исходя из набора функциональных FC_i и элементных компонентов и их характеристик, определяя состав конструктора PD-системы.

5. Конструктор PD-системы выступает как инструментальное обеспечение оценки стоимости разрабатываемого продукта, на ранней стадии разработки исходя из альтернативного выбора решений. При моделировании конструктора: 1) соотносятся и оцениваются элементные компоненты системы: $\Sigma EC_{ij(V)}$, $EC_{ij(D)}$ ($\approx L_{ij(V),(D)}$, $v_{i,j}$), включая расчет базовой (UPD) стоимости, альтернативной (OPD_n) стоимости продукта, стоимости разработки продукта в системе, с позиции сочетания унифицированной и переменной подсистем продукта (IPE); 2) оцениваются стоимость отдельного варианта решения с позиции «компонент-функция», стоимости отдельных функций продукта (FCA), включая расчет AV / EV \square редизайна / разработки нового продукта; ABC \square стоимости разработки продукта; PDP – стоимости разработки продукта на уровне проектирования системы «продукт-производство». 3) осуществляется выбор решения по PD-системе. В соответствии с выдвинутой идеей:

- цепочка стоимости разработки продукта дополняется: 1. сочетанием «профилей стоимости»; 2. оценкой стоимости разработки продукта в привязке к продукту; 3. оценкой альтернативного подмножества решений; 4. технико-экономическим обоснованием итогового выбора;

- модель оценки стоимости через формирование конструктора «сдвигает» оценку стоимости разрабатываемого продукта с этапа «Дизайн» на более ранний PD-этап – на этап «Концептуализации».

Реализация решения позволит сократить затраты на разработку продукта при удвоении вариативности на $\sim 10\%$,

6. Оценка эффективности интегрированной системы разработки продукта через сочетание сформированной ценности и снижение стоимостных и временных потерь, по замыслу автора, выполняется:

- на ранних этапах, усилиями по улучшению процесса – «отсроченной полезностью», пространством для формирования добавленной стоимости, представленным в подходах: ценностная стратегия в SE, Lean и др.

- на средних этапах – через расчет стоимости разрабатываемого продукта и выбор его эффективной структуры, вкл.: 1) исследование предпосылок к формированию целевой стоимости: потребности в затратах по фазам PLM-цикла, систематизацию технических параметров (RT_i) и набора n -затрат определяющих функции продукта, градация которых выражается в абсолютном

и в относительном выражении, с использованием нормативов (бенчмаркинг, реализованные PD-проекты); 2) выбор функциональной структуры продукта исходя из его технико-стоимостных характеристик, расчет индекса технических характеристик продукта (I_{RTI}) и индекса затрат (I_{Cost}); 3) выбор приоритетной элементной конструкции из альтернатив через оценку стоимости PD-процессов; стоимости продукта; стоимости PLM, вкл. оценочную стоимость альтернативных вариантов (R_{CostPD}) и определение индекса затрат (I_{Cost}) каждой структуры.

– на поздних этапах (адаптивность, масштабируемость PD-систем) – в виде комбинации экономических и технических метрик. Оценка выполняется посредством градации результатов: если $N_{факт} \geq N_{оптимум}$, то система «соответствует»; если $N_{факт} \leq N_{оптимум}$, то система «не соответствует». Пороговые значения ТРМ могут определяться посредством эмпирики, методом Парето и др.

Реализация решения позволит отечественным производителям снизить суммарную стоимость разработки единицы продукта до средних значений: 30-60 млн руб./ед.

7. Методика оценки экономической эффективности системы комплексной разработки продукта, учитывающая неоднородность объектов сравнения по техническим, технологическим и экономическим показателям основывается на градации критериев выбора. Критериями экономической подсистемы выступают: потенциальный доход (TR), стоимость разработки альтернатив (с); критериями выбора на уровне технологической системы – эффекты от выстроенных взаимосвязей между элементами системы ($v_{i,j}$), технологическая неопределенность (p_i и p_j) и вероятность сочетания альтернатив каждой подсистемы (N_i и N_j); технологическая эффективность системы (X_i, X_j). Модель методики позволяет определить: сравнительную эффективность разработки нескольких вариантов сложных, высокотехнологичных продуктов с высоким уровнем неопределенности.

Анализ эмпирических данных по разработке нескольких вариантов концепций продукта, обусловленных возможностью привлечения дополнительных ресурсов её участников, показывает, что а) решение по их интеграции выступает инструментом снижения уровня неопределенности, характерно высокого при разработке сложного высокотехнологичного продукта; б) потенциал комплексной разработки альтернатив реализуется: для решений с высокими значениями экономического результата c_n / TR ($\max=0,01$) при высокой вероятности доработки (90% – 95%) и сохраняется постоянным для проектов со сложной архитектурой (5% – 10% доработки). Реализация решения также позволит отечественным производителям повысить кратно долю продуктов, внедренных в производство; за счет снижения показателя риска из-за комплексной разработки нескольких альтернативных вариантов концепции.

8. Методика сопоставления категорий «собственная разработка продукта» и «разработка продукта совокупностью участников», позволяющая сделать итоговый выбор, основана на сравнении профилей процессов: «собственная

разработка», «интегрированная разработка» с использованием показателей: результативность системы (R), фокус-индекс элемента систем (FI). Включает: 1. Расчет результативности использования интегрированной разработки продукта; 2. Расчет результативности использования объединенной PD-конструкции системы; 3. Расчет фокус-индекса элемента системы создания продукта и 4. Расчет фокус-индекса использования PD-конструкции в целом. Методика сопоставления позволяет установить PD-элементы, с избыточной, либо неэффективной интегрированной разработкой продукта, что дает возможность её замены на частичный аутсорсинг системным поставщикам, тем самым повышая конкурентоспособность продукта.

9. Совокупное пространство решений по совместной разработке продукта машиностроения позволяет: сократить время вывода нового продукта на рынок с 5 лет на ~ 25%; снизить стоимость разработки продукта, зависимой от специализации производителя до 4,2-13,8 тыс. руб./час (с 27,6 тыс. руб./час); повысить на ~ 15% долю продуктов, внедренных в производство; за счет стандартизации системы разработки продукта и обеспечения возможности пролонгации существующего задела в последующие проекты, сократить затраты на единицу разрабатываемого продукта на ~20-30%, а соответственно, повысить конкурентоспособность продукта и эффективность хозяйственной деятельности производителя посредством экономии затрат.

IV. СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК при Минобрнауки Российской Федерации

1. Гарина Е.П. Методы и критерии оценки эффективности экономических систем / Е.П. Гарина, Н.А. Безрукова, Е.Н. Назарова, С.Ф. Ясынова // Финансовый бизнес. 2023. 12(246). С.110-115
2. Гарина Е.П. Управление разработкой и внедрением нового продукта / Е.П. Гарина, А.П. Гарин, Н.А. Безрукова, Я.В. Бацына, Л.Г. Серова // Московский экономический журнал. 2023. Т.8. № 1. С. 65
3. Гарина Е.П. Повышение точности расчета затрат при управлении стоимости проекта / Е.П. Гарина, А.П. Гарин, Я.В. Бацына // Московский экономический журнал. 2021. №12. С. 65
4. Гарина Е.П. Управление несоответствием и корректирующие действия на производстве в рамках управления качеством продукта / Е.П. Гарина, А.П. Гарин, Я.В. Бацына, Т.В. Паленова // Вестник Алтайской академии экономики и права. 2021. № 3-1. С. 13-18
5. Гарина Е.П. Предпосылки решения задачи организации распределенной разработки продукта в условиях формирования производственных сетей / Е.П. Гарина // Международный научно-исследовательский журнал. 2020. №12-3 (102). С. 11-16
6. Гарина Е.П. Трансформации подхода к развитию производства через создание и развитие продукта отрасли / Е.П. Гарина, А.П. Гарин // Московский экономический журнал. 2020. № 11. С. 50
7. Гарина Е.П. Формирование стратегии устойчивого развития предприятия машиностроения на основе развития политики реализации промышленной продукции / В.П. Кузнецов, Е.П. Гарина // Экономические и гуманитарные науки. 2019. №1 (324). С.102-109
8. Гарина Е.П. Формирование детерминант социально-экономического развития систем / Е.П. Гарина, Н.А. Белоусова, Н.А. Жаринова, Р.В. Гусев // Экономические отношения.

2019. Т.9. № 2. С.1307-1320

9. Гарина Е.П. Повышение конкурентоспособности отечественного производства через реализацию концепций управления комплексным развитием продукта / А.А. Паршина, Е.В. Шпилевская, Е.П. Гарина // Гуманитарные и социально-экономические науки. 2018. №3 (100). С.113-118

10. Гарина Е.П. Повышение эффективности организации технологических потоков в рамках комплексного применения инструментария производственной системы / Е.П. Гарина, Е.В. Романовская // Финансовые исследования. 2017. №2 (55). С.125-133

11. Гарина Е.П. Повышение эффективности производства продукта в условиях гибкого производства путем рационализации производственных и технологических процессов / Е.П. Гарина, Е.В. Романовская, А.А. Севрюкова // Вестник Ростовского государственного экономического университета (РИНХ). 2017. №1 (57). С.60-68

12. Гарина Е.П. Комплексное развитие продукта в условиях его параллельного проектирования и производства / Е.П. Гарина, Н.С. Андрияшина // Экономика в промышленности. 2017. № 2. С. 98-106

13. Гарина Е.П. Проектирование условий эффективной организации технологического процесса производительного обслуживания оборудования на предприятиях отрасли / Е.П. Гарина // Вестник НГИЭИ. 2017. №1 (68). С.9 1-101

14. Гарина Е.П. Исследование и обобщение проектных практик разработки продукта в теории устойчивого развития производства / Е.П. Гарина, А.П. Гарин, А.Д. Ефремова // Гуманитарные и социально-экономические науки. 2016. № 1 (86). С. 111-114

15. Гарина Е.П. Кластеризация решений по развитию промышленного производства через проектирование и производство сложного продукта / Е.П. Гарина, А.П. Гарин, Н.А. Безрукова, А.А. Севрюкова // Экономика и предпринимательство. 2016. № 11-3 (76). С. 737-740

16. Гарина Е.П. Проектирование и производство сложного продукта путем интеграции систем создания продукта, производственных систем и процессов предприятия / Е.П. Гарина, А.П. Гарин, Н.А. Заглумина // Научное обозрение. 2016. № 13. С. 285-289

17. Гарина Е.П. Изучение альтернативных стратегий и методического инструментария развития сложных систем в контексте создаваемого продукта / Е.П. Гарина, Е.П. Козлова, А.А. Севрюкова // Азимут научных исследований: экономика и управление. 2016. Т. 5. №2 (15). С. 58-62

18. Гарина Е.П. Формирование инструментария стратегического менеджмента промышленных предприятий через управление сложностью продукта / Е.П. Гарина, И.И. Айплатова, Е.В. Емелина // Азимут научных исследований: экономика и управление. 2016. Т. 5. №4 (17). С. 104-108

19. Гарина Е.П. Изучение подходов к определению высокотехнологичного продукта в производстве / Е.П. Гарина, Е.В. Шпилевская, Н.С. Андрияшина // Вестник Мининского университета. 2016. № 1-1 (13). С. 3

20. Гарина Е.П. Система создания продукта в теории устойчивого развития производства / В.П. Кузнецов, Е.П. Гарина, Е.В. Романовская // Вестник РАЕН. 2015. Т.15. № 6. С.41-45

21. Гарина Е.П. Изучение методического инструментария оценки эффективности процесса разработки новой продукции в промышленности / Е.П. Гарина, Е.В. Романовская, Н.С. Андрияшина // Научное обозрение. 2015. № 10-1. С. 396-400

22. Гарина Е.П. Классические модели разработки промышленного продукта в IPD-концепции / Е.П. Гарина, А.П. Гарин, А.А. Севрюкова // Научное обозрение. 2015. № 21. С. 214-217

23. Гарина Е.П. Исследование классических моделей и процессов разработки новых промышленных продуктов, применяемых в отечественном производстве / Е.П. Гарина // Экономические и гуманитарные науки. 2015. № 10 (285). С. 89-96

24. Гарина Е.П. Модулизация технологии создания продукта в промышленности / Е.П. Гарина, В.П. Кузнецов // Экономические и гуманитарные науки. 2015. № 3 (278). С. 84-97

25. Гарина Е.П. Формирование классической теории NPD-процессов и ее развитие / Е.П. Гарина, В.П. Кузнецов // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Экономика и управление. 2015. №1 (25). С. 17-25
26. Гарина Е.П. Создание продукта в промышленности (на примере автомобилестроения) / Е.П. Гарина // Экономика и управление: проблемы, решения. 2014. №10. С. 83-93
27. Гарина Е.П. Изучение вопросов, связанных с методологией создания продукта в промышленности / Е.П. Гарина // Вестник НГИЭИ. 2014. №5 (36). С. 22-28
28. Гарина Е.П. Бизнес-решения по вопросу создания продукта в промышленности / Гарина Е.П. // Вестник Мининского университета. 2014. №1 (5). С. 2
29. Гарина Е.П. CALS-система как условие внедрения современных технологий в отечественную производственную практику в рамках тиражирования лучших мировых практик в данной области / Е.П. Гарина, М.В. Лысенкова // Вестник Мининского университета. 2014. № 4 (8). С. 5
30. Гарина Е.П. Изучение решений по развитию продукта в промышленности / В.П. Кузнецов, Е.П. Гарина // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. 2013. № 3-3. С. 134-141
31. Гарина Е.П. Тенденции и перспективы развития отечественного автомобилестроения на основе внедрения PLM-стратегии / Е.П. Гарина, А.П. Гарин // Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение. 2013. №2 (34). С. 26-32
32. Гарина Е.П. Ускорение процесса разработки новой продукции на промышленных предприятиях через развитие ландшафта бизнес-процессов нового поколения / Е.П. Гарина, А.П. Гарин // Вестник Чувашского университета. 2013. № 1. С. 242-246

Статьи в журналах, индексируемых в базах Scopus и Web of Science

1. Value creation in the process of product development within the framework of the network interaction of system participants / Е.П. Гарина, А.П. Гарин, В.П. Кузнецов, Н.С. Андрияшина, Е.П. Козлова // Lecture Notes in Networks and Systems. Imitation Market Modeling in Digital Economy: Game Theoretic Approaches. Conference proceedings. 2022. pp. 399-407
2. Accounting and calculation support for reducing losses of material resources not used in the production process / И.Е. Мизиковский, В.П. Кузнецов, Е.П. Гарина, Н.С. Андрияшина, Е.В. Романовская // Lecture Notes in Networks and Systems. Imitation Market Modeling in Digital Economy: Game Theoretic Approaches. Conference proceedings. 2022. pp. 632-639
3. Design of intelligent enterprise systems focused on economic efficiency / Е.П. Гарина, А.П. Гарин, В.П. Кузнецов, Ж.В. Смирнова, М.В. Артемьева // Business 4.0 as a Subject of the Digital Economy. Cham. 2022. pp. 737-740
4. Innovative calculating of products in industry enterprises / И.Е. Мизиковский, Е.П. Поликарпова, В.П. Кузнецов, Е.П. Гарина, Е.В. Романовская // Environmental Footprints and Eco-Design of Products and Processes. 2022. pp. 449-455
5. Advanced development cost planning technologies for development work by industry enterprises / И.Е. Мизиковский, Е.П. Гарина, А.П. Гарин, Н.С. Андрияшина, Е.В. Романовская // Business 4.0 as a Subject of the Digital Economy. Cham, 2022. pp. 23-27
6. The Product Development System Category: Components and Modeling Approaches / Е.П. Гарина, Е.В. Романовская, Н.С. Андрияшина, Я.С. Поташник, А.П. Гарин // 2021 Studies in Systems, Decision and Control 314. pp. 465-471
7. Methodology for Creating a Product Development System Based on Complexity Management Strategy / Е.П. Гарина, Е.В. Романовская, Н.С. Андрияшина, В.П. Кузнецов, С.Д. Цимбалов // 2021 Studies in Systems, Decision and Control 314. pp. 1661-1669
8. Conceptual Approaches to Formation of Machine Building Product Development Systems / Е.П. Гарина, Е.В. Романовская, Н.С. Андрияшина, В.П. Кузнецов, С.Д. Цимбалов // 2021 Studies in Systems, Decision and Control 314. pp. 107-115
9. Formation of the production system elements in the enterprise of the industry through the integration of production systems and product creation systems / Е.П. Гарина, В.П. Кузнецов, Е.В.

Романовская, С.Н. Кузнецова, Д.А. Корнилов // Growth Poles of the Global Economy: Emergence, Changes and Future Perspectives, «Lecture Notes in Networks and Systems» Plekhan-ov Russian University of Economics. Luxembourg, 2020. pp. 441-451

10. Increase of the Efficiency of the Industrial Enterprise Management System by the Example of Separate Projects of Contract Production / Е.П. Гарина, В.П. Кузнецов, Е.В. Романовская, Н.С. Андрияшина, Е.Ю. Трифилова // Lecture Notes in Networks and Systems. 2020. pp. 453-462

11. Improvement of cost allocation processes for maintenance and operation of industrial enterprise equipment /И.Е. Мизиковский, Е.П. Козлова, Е.П. Гарина, А.П. Гарин, С.Н. Кузнецова//Growth Poles of the Global Economy: Emergence. Luxembourg, 2020. pp. 775-784

12. Modeling of approaches of product development and production processes: Existing problems and proposed solutions / Е.П. Гарина, А.П. Гарин, С.Д. Цымбалов, Е.В. Романовская, Н.С. Андрияшина // Studies in Computational Intelligence. 2019. V. 826. pp. 1115-1127

13. Comparison of approaches to development of industrial production in the context of the development of a complex product / Е.П. Гарина, А.П. Гарин, В.П. Кузнецов, Е.Г. Попкова, Я.С. Поташник // Advances in Intelligent Systems and Computing. 2018. V. 622. pp. 422-431

14. Organizational design and rationalization of production systems of a machine-building enterprise (by the example of the contract assembly workshop) / В.П. Кузнецов, Е.П. Гарина, Е.В. Романовская, С.Н. Кузнецова, Н.С. Андрияшина // Espacios. 2018. V. 39 (1). p. 25

15. Research and generalization of design practice of industrial product development (by the example of domestic automotive industry) / Е.П. Гарина, В.П. Кузнецов, Е.В. Романовская, Н.С. Андрияшина, А.Д. Ефремова // Quality – Access to Success. 2018. 19 (S2). pp. 135-140

16. Formation of the production system elements and R&D product development processes in the early stages of the project / Е.П. Гарина, В.П. Кузнецов, Д.Н. Лапаев, Е.В. Романовская, С.Н. Яшин // Journal of Applied Economic Sciences. 2017. 12 (2). pp. 538-542

17. Forming of conditions for development of innovative activity of enterprises in high-tech industries of economy: A case of industrial parks / Е.П. Гарина, С.Н. Кузнецова, Е.В. Романовская, А.П. Гарин, Е.В. Козлова, Д.В. Суходоев // International Journal of Entrepreneurship. 2017. 21 (3). No 5

18. Increasing productivity of complex product of mechanic engineering using modern quality management methods / Е.П. Гарина, С.Н. Кузнецова, А.П. Гарин, Е.В. Романовская, Н.С. Андрияшина, Л.Ф. Суходоева // Academy of Strategic Management Journal. 2017. 16 (4)

19. Methodological solutions for the production of a new product / В.П. Кузнецов, Е.П. Гарина, Н.С. Андрияшина, Е.П. Козлова, С.Н. Яшин // Managing Service, Education and Knowledge Management in the Knowledge Economic Era - Proceedings of the Annual International Conference in Knowledge, Service, Tourism and Hospitality, SERVE 2016. 2017. pp. 59-64

Монографии

1. Гарина Е.П. Инструменты развития предприятий и организаций / В.А. Полянская, Е.В. Романовская, М.В. Артемьева, Е.П. Гарина и др. Н. Новгород: НГПУ им. К. Минина, 2023. 126 с.

2. Гарина Е.П. Формирование необходимых условий развития промышленных предприятий / Е.П. Гарина, В.П. Кузнецов. Н.Новгород: Изд-во НГПУ им. К. Минина, 2022. 118 с.

3. Гарина Е.П. Формирование механизма устойчивого развития промышленных предприятий на основе технологической трансформации / Е.П. Козлова, Е.П. Гарина. Н. Новгород: Изд-во НГПУ им. К. Минина, 2021. 142 с.

4. Structuring the information base on production losses in the conditions of effective production management (Структурирование информационной базы производственных потерь в условиях эффективного управления производством) / В.П. Кузнецов, Е.П. Гарина, Е.В. Романовская, Н.С. Андрияшина, И.Е. Мизиковский. Глава в книге: The Leading Practice of Decision Making in Modern Business Systems: Innovative Technologies and Perspectives of Optimization. Bingley, West Yorkshire, 2019. С. 169-176

5. Гарина Е.П. Инновационная составляющая формирования конкурентных преимуществ в производственных системах в условиях смены технологических укладов / О.А. Шипшова, Ф.А. Мухаметшина, Л.Г. Кириллова, В.Н. Хвалева, И.И. Нуртдинов, Е.П. Гарина, В.П. Кузнецов, и др. Москва: Изд-во «КноРус», 2017. 142 с.

6. Гарина Е.П. Разработка сложного высокотехнологичного продукта в промышленности. 2 изд-е / Е.П. Гарина, В.П. Кузнецов. Москва: Изд-во «Русайнс», 2017. 148 с.

Статьи в журналах, сборниках, материалах конференций и другие публикации

1. Гарина Е.П. Модель системы управления затратами разработки высокотехнологичного промышленного продукта / Е.П. Гарина, Е.В. Коньшкіна // Сборник трудов XXI Международной научно-практической конференции преподавателей вузов, ученых, специалистов, аспирантов, студентов «Промышленное развитие России: проблемы, перспективы». Н. Новгород: НГПУ им. К. Минина, 2023. С. 21-25

2. Гарина Е.П. Оценка стоимости разработки продукта / Е.П. Гарина, Ю.В. Романовский // Сборник трудов II Всероссийской научно-практической конференции «Актуальные проблемы социально-экономической статистики и цифровизации экономических расчетов». Н. Новгород: ННГУ им. Н.И. Лобачевского, 2023. С. 488-492

3. Гарина Е.П. Модель оценки стоимости системы разработки продукта / Е.П. Гарина // Сборник материалов XVII Всероссийской молодежной научно-инновационной школы «Математика и математическое моделирование». Саров: РФЯЦ-ВНИИЭФ, 2023. С. 80-82.

4. Гарина Е.П. Оценка освоенной стоимости проекта / Е.П. Гарина // Сборник трудов IV Всероссийской научно-практической конференции «Актуальные проблемы экономики и бухгалтерского учета». Н. Новгород: ННГУ им. Н.И. Лобачевского, 2022. С. 173-178

5. Гарина Е.П. Экономика и организация производства в промышленности // И.А. Аржанова, Н.А. Бакулина, Е.П. Гарина // Сборник трудов VI Международной студенческой научно-практической конференции преподавателей, ученых, специалистов, аспирантов, студентов «Экономическое развитие России: тенденции, перспективы». Н. Новгород: НГПУ им. К. Минина, 2020. С. 35-39

6. Гарина Е.П. Возможности повышения конкурентоспособности промышленного предприятия за счет поступательного увеличения прибыли / Е.П. Гарина, Н.А. Бакулина // Сборник материалов Международной научно-практической конференции ученых, специалистов, преподавателей вузов, аспирантов, студентов «Актуальные вопросы экономики, менеджмента и инноваций». Н. Новгород: НГТУ им. Р.Е. Алексеева, 2018. С. 50-54

7. Гарина Е.П. Мониторинг сбыта основной продукции предприятия машиностроения / Д.В. Васин, Е.П. Гарина // Сборник материалов V Международной научно-практической конференции ученых, специалистов, преподавателей вузов, аспирантов, студентов «Экономическая безопасность России: проблемы и перспективы». Н. Новгород: НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2017. С. 207-212

8. Гарина Е.П. Развитие теории управления процессами в машиностроении / И.И. Айплатова, Е.П. Гарина // Сборник материалов III Всероссийской научно-практической конференции «Социальные и технические сервисы: проблемы и пути развития». Н. Новгород: НГПУ им. К. Минина. 2017. С. 288-291

9. Гарина Е.П. Оценка эффективности функционирования предприятия на основе интенсификации использования его производственного потенциала / Е.П. Гарина, А.Д. Ефремова // Сборник материалов Международной научно-практической конференции ученых, специалистов, преподавателей вузов, аспирантов, студентов «Актуальные вопросы экономики, менеджмента и инноваций». Н. Новгород: НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2016. С. 112-115

10. Гарина Е.П. Формирование модели сложного продукта в промышленности / Е.П. Гарина // Сборник материалов X Всероссийской молодежной научно-инновационной школы «Математика и математическое моделирование». Саров: РФЯЦ-ВНИИЭФ, 2016. С. 198-200

11. Гарина Е.П. Сравнительная оценка эффективности реализации организационно-управленческих стратегий развития промышленных предприятий в условиях

импортозамещения / Е.П. Гарина, А.А. Севрюкова // Сборник материалов III Международной научно-практической конференции «Экономическая безопасность России: проблемы и перспективы». Н. Новгород: НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2015. С. 241-244

12. Гарина Е.П. Обеспечение эффективного управления производством через формирование системы планов предприятия / Ж.В. Пономарева, Е.П. Гарина // Сборник материалов II Всероссийской научно-практической конференции «Социальные и технические сервисы: проблемы и пути развития». Н. Новгород: НГПУ им. К. Минина. 2015. С. 365-367

13. Гарина Е.П. Теория управления NPD-процессами в машиностроении / Е.П. Гарина // Сборник материалов XIII Международной научно-практической конференции «Промышленное развитие России: проблемы, перспективы». Н. Новгород: НГПУ им. К. Минина. 2015. С. 23-27

14. Гарина Е.П. Метод моделирования матричной структуры производства в RD-проектах / Е.П. Гарина, Е.С. Ванькова // Сборник материалов XII Международной научно-практической конференции «Промышленное развитие России: проблемы, перспективы». Н. Новгород: НГПУ им. К. Минина. 2014. С. 30-37