

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»

На правах рукописи



Богданов Андрей Дмитриевич

**АЛГОРИТМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ОПТИМАЛЬНОГО
УПРАВЛЕНИЯ НЕОДНОРОДНЫМИ ОБЪЕКТАМИ В
МУЛЬТИОРГАНИЗАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ ОБЩЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ**

Специальность 2.3.4. Управление в организационных системах

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
Щепкин Александр Васильевич
доктор технических наук, профессор

Москва – 2026

ОГЛАВЛЕНИЕ

<u>ВВЕДЕНИЕ.....</u>	<u>4</u>
<u>ГЛАВА I. ПОНЯТИЕ ОБ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ УЧРЕЖДЕНИИ И МУЛЬТИОРГАНИЗАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ ОБЩЕГО ОБРАЗОВАНИЯ.....</u>	<u>11</u>
<u>1.1 УЧРЕЖДЕНИЕ СРЕДНЕГО ОБРАЗОВАНИЯ КАК ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ. ЦЕЛИ, ЗАДАЧИ, ФУНКЦИИ, УСТРОЙСТВО ОТРАСЛИ. РЕТРОСПЕКТИВА.....</u>	<u>11</u>
<u>1.2 ПОНЯТИЕ МУЛЬТИОРГАНИЗАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ОБЩЕГО ОБРАЗОВАНИЯ.....</u>	<u>22</u>
<u>1.3. УПРАВЛЕНИЕ УЧРЕЖДЕНИЕМ ОБЩЕГО ОБРАЗОВАНИЯ. ВЗГЛЯД ПЕДАГОГИЧЕСКИХ И СОЦИАЛЬНЫХ НАУК. ОПТИМАЛЬНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЭФФЕКТИВНОСТИ НЕОДНОРОДНЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ УЧРЕЖДЕНИЙ.....</u>	<u>30</u>
<u>ГЛАВА II. ОБЗОР И РАЗРАБОТКА МЕТОДИЧЕСКОГО ПОДХОДА ДЛЯ АЛГОРИТМИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ ОБЩЕОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ОРГАНИЗАЦИЕЙ В МУЛЬТИОРГАНИЗАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ УЧАСТНИКОВ СИСТЕМЫ.....</u>	<u>42</u>
<u>2.1. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ШКОЛЫ С ПОСТАВЩИКАМИ И ПЕДАГОГИЧЕСКИМ КОЛЛЕКТИВОМ. ВЗГЛЯД МАТЕМАТИЧЕСКИХ НАУК. ПРИМЕНЕНИЕ МОДЕЛЕЙ МЕХАНИЗМОВ УПРАВЛЕНИЯ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ СФЕРЕ. ОПРОС ДИРЕКТОРОВ И ПОКАЗАТЕЛИ ЦЕЛЕВОЙ ФУНКЦИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ.....</u>	<u>42</u>
<u>2.2. МОДЕЛИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ОБЩЕОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ И ПОСТАВЩИКОВ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ В РАМКАХ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ЗАКУПКИ ОТДЕЛЬНОЙ ПРОДУКЦИИ.....</u>	<u>73</u>
<u>2.3. ПРОЦЕСС КОНКУРЕНЦИИ ПОСТАВЩИКОВ ЗА ЗАКУПКУ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ (СЛУЧАЙ ПОЛНОЙ НЕИНФОРМИРОВАННОСТИ).....</u>	<u>80</u>
<u>2.4. ПРОЦЕСС КОНКУРЕНЦИИ ПОСТАВЩИКОВ ЗА ЗАКУПКУ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ (СЛУЧАЙ ЧАСТИЧНОЙ И ПОЛНОЙ ИНФОРМИРОВАННОСТИ).....</u>	<u>93</u>
<u>2.5. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА КОНКУРЕНЦИИ ОБЩЕОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ ЗА БЮДЖЕТНЫЕ СРЕДСТВА И ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ С ВЫШЕСТОЯЩИМИ ОРГАНАМИ.....</u>	<u>97</u>
<u>ГЛАВА III. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФУНКЦИЙ И АЛГОРИТМОВ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ. ОПТИМАЛЬНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ЭФФЕКТИВНОСТИ МНОГОУРОВНЕВОЙ СИСТЕМЫ ОБЩЕГО ОБРАЗОВАНИЯ.....</u>	<u>104</u>
<u>3.1. ФУНКЦИЯ ПОЛЕЗНОСТИ ОБЩЕОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РЕСУРСОВ</u>	<u>104</u>

<u>3.2. ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ ПО КОЛИЧЕСТВЕННОМУ ОБОСНОВАНИЕ ВИДА ФУНКЦИИ ПОЛЕЗНОСТИ И РАССМОТРЕНИЕ ИНЫХ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ФУНКЦИЙ ПОЛЕЗНОСТИ. ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РЕСУРСОВ.</u>	112
<u>3.3. РАССМОТРЕНИЕ ФУНКЦИИ «ДВОЙНОГО» КОББА-ДУГЛАСА НА РЕАЛЬНЫХ ДАННЫХ И ОПТИМАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ РЕСУРСОВ ОБЩЕОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ</u>	127
<u>3.4. ГИПОТЕЗА О НАИБОЛЬШЕМ ВЛИЯНИИ НАУЧНО-ЛАБОРАТОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ЗНАЧЕНИЕ ЦЕЛЕВОЙ ФУНКЦИИ ОБЩЕОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ОРГАНИЗАЦИИ</u>	131
<u>ГЛАВА IV. ОСНОВНЫЕ ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ</u>	136
<u>4.1. ПЕРЕЧЕНЬ ПРАКТИЧЕСКИХ РЕКОМЕНДАЦИЙ ДЛЯ УЧРЕЖДЕНИЙ ОБЩЕГО ОБРАЗОВАНИЯ И ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ</u>	136
<u>4.2. ПРИМЕНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ РАБОТЫ НА ПРИМЕРЕ ФОНДА РАЗВИТИЯ ФИЗТЕХ-ШКОЛ И АНОО «ФИЗТЕХ-ЛИЦЕЙ» ИМ. П.Л. КАПИЦЫ</u>	143
<u>4.3. ПРИМЕНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ РАБОТЫ НА ПРИМЕРЕ ФЕДЕРАЛЬНЫХ ОРГАНОВ ИСПОЛНИТЕЛЬНОЙ ВЛАСТИ</u>	148
<u>4.4. ПРИМЕНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ РАБОТЫ НА ПРИМЕРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ</u>	152
<u>ЗАКЛЮЧЕНИЕ</u>	156
<u>СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ</u>	159
<u>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ</u>	160
<u>СПИСОК РИСУНКОВ</u>	171
<u>СПИСОК ТАБЛИЦ</u>	174
<u>ПРИЛОЖЕНИЕ А</u>	175
<u>ПРИЛОЖЕНИЕ Б</u>	180

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследования. Система общего образования Российской Федерации представляет собой многоуровневую и мультиорганизационную систему, в рамках которой происходит постоянное взаимодействие административных, педагогических, ресурсных и регуляторных агентов. При этом наблюдается высокая степень их неоднородности и недостаточная цифровизуемость, что затрудняет реализацию системного подхода к планированию, ресурсному обеспечению и оценке эффективности образовательных учреждений.

Масштабность системы подтверждается количественными показателями: более 40 тысяч общеобразовательных организаций, порядка 13 миллионов обучающихся, ежегодные бюджетные затраты на образование превышают 1,3 триллиона рублей. Возрастающий объём управленческих задач, необходимость координации между разнородными агентами и внедрение цифровых решений требуют разработки и обоснования формализованных методов и моделей, обеспечивающих оптимальное функционирование подсистем общего образования.

В условиях цифровой трансформации особую значимость приобретает разработка математического обеспечения процессов управления в образовательной сфере. Несмотря на наличие отдельных цифровых решений (например, платформа ЕГЭ, ГИС «Моя школа», «Навигатор дополнительного образования»), отсутствуют единая математическая модель и набор алгоритмов, способные описать, интерпретировать и оптимизировать взаимодействие ключевых субъектов в рамках мультиорганизационной системы общего образования.

В международной научной практике наблюдается активное развитие подходов к формализации процессов управления в социальной сфере, включая моделирование сетевого взаимодействия, а также конкурентного поведения субъектов в условиях ограниченных ресурсов. Однако применение таких подходов в отечественной практике ограничено отсутствием адаптированных моделей и

алгоритмов, учитывающих специфику государственного управления, регламентацию процессов и централизованное финансирование.

В связи с этим возникает потребность разработки математических моделей, описывающих поведение субъектов в системе общего образования, а также алгоритмов управления, основанных на теории управления, теории игр и многоуровневой оптимизации. Такие подходы позволяют повысить прозрачность процессов распределения ресурсов, усилить обоснованность управленческих решений, а также способствуют разработке цифровых инструментов для автоматизации управления образовательными организациями.

С учетом вышеизложенного актуальность диссертационного исследования обусловлена необходимостью дальнейшего развития математических средств, моделей и алгоритмов, направленных на формализацию процессов управления с целью повышения эффективности неоднородной системы общего образования.

Тематическая направленность работы развивает основные разделы научных работ Д.А. Новикова, В.Н. Буркова, В.Г. Балашова, С.В. Ильдеменова, В.А. Ирикова, А.Д. Цвиркуна, Ю.В. Яковца, В.Л. Шагина и других. Тем не менее цельный взгляд на школу как участника мультиорганизационной системы общего образования ранее не был детально рассмотрен. Также предлагаемые инструменты не охватывают всего многообразия встречающихся на практике проблем, и их применение к многоуровневой системе образования является актуальным.

Целью исследования является алгоритмизация процессов оптимального управления неоднородными объектами мультиорганизационной системы общего образования на основе реализации моделей, новых механизмов управления и систем поддержки принятия решений.

Задачи исследования. В рамках реализации цели исследования предусмотрены решения следующих задач:

1. С позиции системной методологии провести анализ теоретических основ управления общеобразовательным учреждением в рамках мультиорганизационной системы.

2. Формализовать функции взаимодействия и определить параметры эффективности неоднородных объектов в мультиорганизационной системе общего образования.

3. Разработать модели взаимодействия участников мультиорганизационной системы общего образования на основе реальных данных, с целью оптимального распределения ресурсов и обеспечения процесса управления.

4. Осуществить алгоритмизацию процесса принятия решений в рамках учреждения общего образования, в том числе с применением информационных технологий.

5. Разработать программные средства поддержки процессов принятия решений руководителями неоднородных образовательных организаций.

Объектом исследования является система организаций общего образования, отличающаяся неоднородностью.

Предметом данного исследования являются математические средства формализованного описания процессов управления неоднородными объектами системы общего образования, включая алгоритмы, модели и механизмы управления.

Методы исследования. Диссертационное исследование базируется на использовании методов теории системного анализа, теории игр, теории активных систем, теории управления организационными системами, теории вероятностей и математической статистики.

Тематика работы соответствует следующим пунктам паспорта специальности 2.3.4. Управление в организационных системах: п.1 — разработка теоретических основ управления в мультиагентных структурах общего образования; п.2 — разработка математических моделей взаимодействий участников системы и критериев эффективности; п.11 — практико-ориентированные технологии, применимые к управлению образовательными учреждениями.

В рамках решения поставленных выше задач получены следующие **результаты работы**, обладающие следующей **научной новизной**:

1. Результаты системного анализа теоретических основ управления общеобразовательным учреждением в рамках мультиорганизационной системы, **отличающиеся** рассмотрением неоднородного объекта как цельного, одновременно взаимодействующего с широким перечнем структурных участников системы.

2. Формализованные функции взаимодействия и параметры эффективности неоднородных объектов в рамках мультиорганизационной системы общего образования, **отличающиеся** рассмотрением ключевых участников системы (образовательные учреждения, поставщики материально-технического обеспечения и образовательных услуг, муниципальные и региональные органы власти, а также иные объекты).

3. Модели взаимодействия объектов мультиорганизационной системы общего образования на основе реальных данных, с целью оптимального распределения ресурсов и управления, **отличающиеся** описанием главных взаимодействий образовательных учреждений с агентами и центрами на разных уровнях, а также рассмотрением случаев полной и частичной информированности поставщиков, конкуренции за бюджет.

4. Средства алгоритмизации процесса принятия решений в учреждении общего образования, в том числе с применением информационных технологий, **отличающиеся** учетом влияния нефинансовых факторов, а также применением алгоритмов градиентного спуска и генетического алгоритма к компьютерному моделированию параметров целевых функций неоднородного объекта.

5. Структура программного комплекса поддержки процессов принятия решений руководителями неоднородных образовательных организаций, **отличающаяся** реализацией механизмов адаптации под уникальные условия функционирования объектов и возможностью встраивания в отраслевые информационные системы.

Теоретическая значимость работы выражается в формировании специальных механизмов управления, например, механизмов «затраты-эффект», оптимизации сети поставок, стимулирования, конкурса, активной экспертизы, информационного управления, и создании их модификаций для сферы образования. Также в данной работе использована модель «двойного» Кобба-Дугласа применительно к функциям полезности, а также применены к моделированию процесса конкуренции поставщиков оборудования модификации моделей Бэрона-Фереджона и Рубинштейна.

Практическая значимость данной работы заключается в возможности реализации теоретических моделей в управленческой практике, в частности, через описание ключевых алгоритмов взаимодействий учреждений общего образования с внешними агентами, определение оптимального распределения ресурсов для максимизации эффективности образовательных организаций и валидацию рекомендаций для принятия управленческих решений участниками системы. Создан инструмент для усовершенствования распределения финансовых ресурсов – программный комплекс, определяющий параметры моделей и функции полезности.

Положения, выносимые на защиту:

1. Модели взаимодействия участников мультиорганизационной системы общего образования на основе реальных данных позволяют определить оптимальное распределение ресурсов для обеспечения максимальной эффективности.

2. Алгоритмизация процессов принятия решений в учреждении общего образования, в том числе с применением информационных технологий, позволяет описать основные взаимодействия с агентами и центрами на разных уровнях, рассмотреть случаи полной и частичной информированности поставщиков, конкуренции образовательных организаций за бюджет и цифровизовать результаты с целью постановки количественных метрик в системе.

3. Программный комплекс поддержки принятия решений руководителями образовательных организаций позволяет оптимально распределять ресурсы управленческому составу неоднородных объектов.

Результаты внедрения. Результаты работы внедрены в рамках улучшения текущих операционных процессов Фонда развития Физтех-школ, а также для повышения эффективности закупочных процедур по оснащению Технопарка АНОО «Физтех-лицей» им. П.Л. Капицы. Помимо этого, результаты работы легли в основу совместного исследования Фонда развития Физтех-школ и НИР «Иннопрактика». Конкурентные модели, представленные в работе, также используются для анализа рынка образования со стороны Национальной технологической инициативы и Министерства высшего образования и науки Российской Федерации.

Результаты работы внедрены и используются на практике, что подтверждается соответствующими актами. В частности, разработанные модели и методы используются в научно-исследовательских и аналитических исследованиях, выполняемых МФТИ, Фондом развития Физтех-школ по проектам:

1. Грант Министерства науки и высшего образования для Молодежных лабораторий «Лаборатория нейротехнологий и человеко-машинного взаимодействия МФТИ» (ЕГИСУ НИОКТР 123020700146-4);
2. Проект «Стратегия развития технологического образования» (соглашение № 70-2021-000336) с Платформой Национальной технологической инициативы (НТИ).

Достоверность и обоснованность результатов диссертационного исследования подтверждается корректным использованием средств теоретического анализа исследуемых процессов, а также результатами сравнительного анализа данных вычислительных и натуральных экспериментов.

Апробация работы. Основные результаты работы докладывались на различных конференциях. К их числу относятся: 64-я Всероссийская научная конференция МФТИ, Москва, 29 ноября - 3 декабря 2021 года; 65-я Всероссийская научная конференция МФТИ, Москва, 3-7 апреля 2023 года; 66-я Всероссийская

научная конференция МФТИ, Москва, 1-6 апреля 2024 года; CSES 2022: II Международный научно-практический форум «Инновационное и устойчивое развитие сложных социально-экономических систем», Москва, 17 февраля 2022 года; MLSD-2022. International Conference Management of large-scale system development (MLSD), Москва, 26-28 декабря 2022 года; XXIX Всероссийская научно-практическая конференция «Практики развития: порождение, становление и удержание субъектности в образовании», Тула, март 2023 года; XVI-Я Всероссийская мультikonференция по проблемам управления (МКПУ-2023), Волгоград, 11-15 сентября 2023 года; XXIX Всероссийская научно-практическая конференция «Практики развития: порождение, становление и удержание субъектности в образовании», Красноярск, 23 апреля 2022 года, а также на научных семинарах лаборатории активных систем (№57) Института проблем управления РАН.

Публикации. Основные результаты по теме диссертации изложены в 11 печатных изданиях, 1 из которых издана в полнотекстовых материалах докладов на конференциях, индексируемых Scopus, 5 статей изданы в полнотекстовых материалах, индексируемых RSCI и ВАК, 2 полнотекстовых материала индексированы только в РИНЦ. Также по теме диссертации опубликовано 3 тезисов конференций, материалы которых индексируются РИНЦ, а также зарегистрирован 1 результат интеллектуальной деятельности (программа для ЭВМ).

Объём и структура работы. Диссертация включает введение, 4 главы основной части, заключение, список сокращений и условных обозначений, список использованной литературы, список рисунков и таблиц, приложения. Полный объём диссертации составляет 194 страницы, включая 46 рисунков и 13 таблиц. Список использованной литературы содержит 92 наименования.

Глава I. Понятие об образовательном учреждении и мультиорганизационной системе общего образования.

1.1 Учреждение среднего образования как объект исследования. Цели, задачи, функции, устройство отрасли. Ретроспектива

Образовательная система является одним из самых древних институтов человеческой цивилизации. Объективно необходимость нового научного направления познания образования обусловлена логикой развития современного общества и управления, усилением их взаимосвязей и взаимообусловленности сформированных мультиорганизационных систем [1]. Изначально образование представляло из себя достаточно простую систему передачи информации из поколения в поколение посредством наставничества старших представителей племен над молодежью [2]. Процесс передачи опыта осуществлялся в рамках классического традиционалистского общества и способствовал удовлетворению базовых потребностей выживания человека. В первую очередь, внутри племен передавался опыт охоты, собирательства, сохранения потомства. Внутри данной системы редко менялось количество информации, передаваемой из поколения в поколение, опыт, получаемый тем или иным членом племени, зачастую становился способом стратификации первобытного общества [3].

Взгляд на современную сферу образования как единую систему меняет представление о случайности процессов управления, дает по-другому понять характер и сущность процессов в образовательных системах [4]. Первыми учреждениями, целью которых являлось массовое обучение детей в группах, стали, по данным исследователей [5], школы в шумерской и египетской цивилизациях в период с 3000 до 1500 года до н.э. Интересно, что создание этих образовательных институтов исторически совпадает с созданием письменности и часто целью первых школ была подготовка жреческого сословия и сословия писцов.

Образование не было массовым. Аналогичная ситуация наблюдалась и в иных обществах древности: индийском, китайском, еврейском.

Впервые образование как массовая система возникло в греческом и римском обществах [6]. В городах-государствах Древней Греции большая часть образования была частной, за исключением Спарты. Например, в Афинах в V и IV веках до нашей эры, за исключением двух лет военной подготовки, государство играло небольшую роль в светском образовании. Любой мог открыть школу и определить учебную программу. Родители могли выбрать школу, предлагающую предметы по выбору за ежемесячную плату. Большинство семей, даже бедных, отправляли своих сыновей в школу хотя бы на несколько лет, и если они могли себе это позволить, то примерно с семи до четырнадцати лет обучались гимнастике (включая легкую атлетику, спорт и борьбу), гуманитарным дисциплинам (включая музыку, поэзию, драму и историю) и грамотности [7]. Образование девушек происходило в домашней среде. Самые богатые студенты продолжали свое образование, обучаясь у софистов, у которых они могли изучать такие предметы, как риторика, математика, география, естествознание, политика и логика. Величайшими высшими школами Афин были Лицей (так называемая перипатетическая школа, основанная Аристотелем) и Платоновская академия (основанная Платоном).

Однако, несмотря на кажущуюся стихийность образовательных процессов, уже в античности формировались зачатки управленческих механизмов, не обладавших институционализированной формой, но выполнявших функции координации, стандартизации и контроля. Эти механизмы условно можно обозначить как неинституциональные формы управления образованием. К ним относились: авторитеты-софисты как носители образовательных норм; устоявшиеся формы организации учебного времени (например, ритмика обучения и каникул); а также родительские советы, определявшие репутацию школ.

Этап	Компонент управления	Форма выражения	Агент управления
Древняя Греция	Стандартизация содержания	Устойчивые образовательные нормы (пайдея)	Софисты
	Контроль качества	Репутация и выбор родителей	Семьи обучающихся
Древний Рим	Централизация функций	Назначение префектов	Сенат, государство
	Профессионализация преподавания	Магистры с правом преподавания	Учителя-ораторы

Таблица 1 – Генезис компонентов управления в античном образовании

Таким образом, даже в условиях слабого институционального вмешательства государства, управление образовательной системой осуществлялось через совокупность агентов и процедур, выполнявших управляющие функции в рамках распределённой и децентрализованной модели [8]. Римская система образования усугубила и усилила эту тенденцию, трансформировав частное обучение в модель, ориентированную на подготовку чиновников и ораторов. Здесь возникли прообразы управленческой стратификации: магистры как носители методологических стандартов, и префекты, назначаемые при поддержке политических элит, выполняли функцию контроля качества [9].

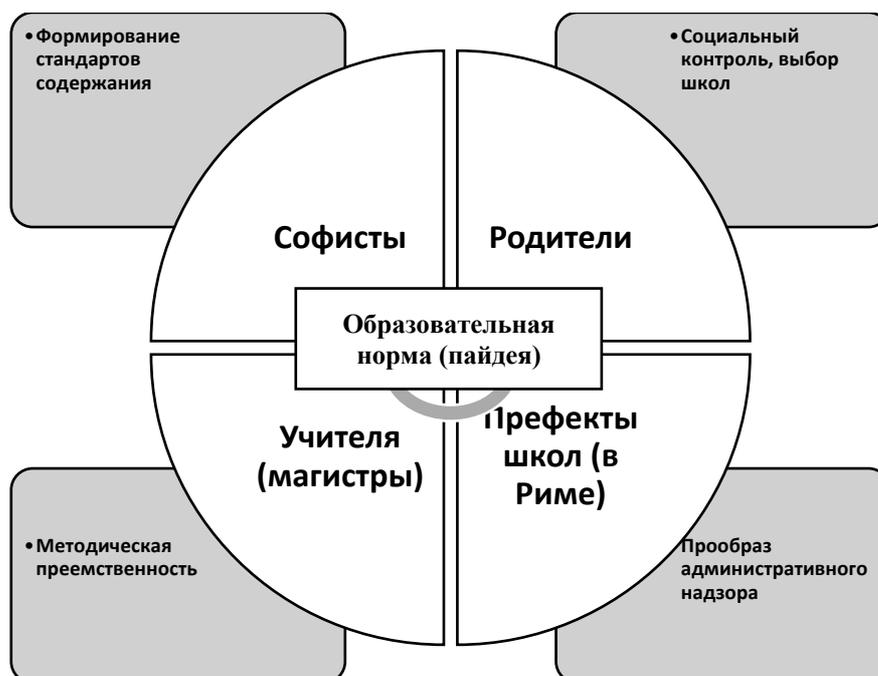


Рисунок 1 – Неинституциональные формы управления в античном образовании

Римская система была схожа с греческой. В расцвет Римской республики, а затем и Римской империи, образовательная система постепенно обрела свою окончательную форму. Были созданы формальные школы, которые обслуживали платных учащихся по возрастным группам.

Однако, несмотря на создание первых систем массового образования, в древних Греции и Риме лишь менее 20% населения были грамотными [10].

В период раннего средневековья монастыри были центрами образования и грамотности на территории Европы, фокусируясь на религиозном обучении и поддерживая искусство письма. До своего официального создания многие средневековые университеты на протяжении сотен лет функционировали как христианские монашеские школы (*Scholae monasticae*), а позднее как школы при соборах и храмах. Первые средневековые учреждения, обычно считающиеся университетами, были созданы в Италии, Франции и Англии в конце XI – XII веках для изучения искусств, права, медицины и теологии [11]. Похожая ситуация была и в исламском мире, где образование также перестало быть массовым и было сфокусировано в медресе и библиотеках. Система массового образования сохранялась в Китае и ее основной целью была подготовка чиновничьего сословия.

Управление империей в раннем китайском государстве зависело от грамотных и образованных чиновников. В 605 году нашей эры, во времена династии Суй, впервые была введена система экзаменов для местных талантов. Система имперских экзаменов, основанная на оценках для отбора чиновников, привела к появлению школ, в которых преподавали китайские классические тексты, и продолжала использоваться в течение 1300 лет, до конца династии Цин (была упразднена только в 1911 году) [12].

Современные системы образования [13] в Европе берут свое начало из школ Высокого Средневековья. В эпоху Просвещения в XVI-XVIII веках, открытие основ научной и логической мысли, ключевых физических и химических законов, развитие математики, астрономии, географии, литературы, расширили число информации, составляющую фундамент обучения. Именно тогда появляются первые системы массового образования с привычными современникам начальным, средним и высшим уровням, активно развивается система научного руководства/менторства, основанная на отношениях «мастер-подмастерье». В Европе начинает возникать государственный контроль сферы образования и просвещения. Так, в 1773 году Польша учредила Комиссию национального образования (польский: Komisja Edukacji Narodowej, литовский: Nacionalinė Edukacinė Komisija). Комиссия функционировала как первое правительственное министерство образования в европейской стране. По всей Европе стали формироваться государственные инициативы по созданию массовых образовательных учреждений для всех классов населения с целью обучения грамотности и подготовки кадров [14].

XIX и XX века стали для сферы образования новым вызовом. Отдельно стоит отметить несколько ключевых трендов. Во-первых, это создание единых государственных стандартов в разных странах и, в целом, централизация образовательных систем в большинстве стран мира. Во-вторых, это секуляризация образования и отделение школ от церкви и религиозных институтов. В-третьих, это действительная массовость образования, когда школы при поддержке государства становились общедоступными. В-четвертых, это тренд на увеличение числа лет

обучения в различных системах образования, а также на связь школ с реальным сектором экономики (наука/производство/сфера услуг) [15].

С середины XX века общества по всему миру претерпели ускоряющиеся темпы изменений в экономике и технологиях. Его влияние на рабочие места и, следовательно, на требования к системе образования, готовящей учащихся к трудовой деятельности, было значительным.

Отдельно стоит отметить особенности развития образовательной системы России [13], которая существовала в рамках международных трендов, но сделала два ключевых прорыва: в XVIII веке, в связи с резким переходом от Средневековья к эпохе Просвещения и реформами общеевропейского образца, и при советской власти в 20-40е годы XX века, когда сильная административная государственная вертикаль и стандартизация смогли сделать советскую систему образования одной из самых доступных в мире. Мотивацию такого быстрого расширения начального образования можно в значительной степени объяснить заинтересованностью властей в обеспечении того, чтобы у каждого были навыки, необходимые для содействия индустриализации государства и целям международного превосходства, в том числе в научной сфере [16].

С момента создания Министерства народного просвещения в России в 1802 году, можно говорить о становлении первых инклюзивных и централизованных элементов управления образованием. Этап централизованного контроля стал важным шагом в генезисе управления образовательными процессами как мультиорганизационной системы, в которой роль государства становилась доминирующей. Таким образом, начала формироваться система административного контроля, которая постепенно развивалась в более сложные и многогранные структуры. Министерство стало первым «управляющим агентом» в мультиорганизационной системе российского образования, осуществляя надзор и стандартизацию образовательных процессов, а также обеспечивая контроль за квалификацией педагогов. Школы были закрытыми для крепостных, и образование крестьянства стало открытым лишь после отмены крепостничества в 1861 году и создания земств и земских школ. Этот момент можно рассматривать как создание

новых компонентов управления, на которых уже начинают строиться элементы территориального деления образовательной системы. Отдельным важным вопросом российской образовательной мысли того времени была борьба между «славянофилами» (И. В. Киреевский, А. С. Хомяков, С. П. Шевырев), которые видели ключевой в образовательной системе воспитательную функцию с фокусом на религиозность, нравственность и любовь к ближнему, и «западниками», которые фокусировались на знаниевой компоненте и на индивидуализации образования (А. И. Герцен, В. Г. Белинский, Н. В. Станкевич). Эта борьба между различными образовательными философиями может рассматриваться как конкуренция для формирующихся компонентов управления: теоретических норм и управленческих стратегий, которые будут влиять на последующие изменения в российской образовательной системе.

Изменения, начавшиеся в народном образовании после 1917 г. происходили на основе следующих векторов развития советской власти: массовое искоренение безграмотности, в том числе среди взрослого населения (ликбезы), создание единой центральной системы управления образованием (переход от системы земств и автономности образовательных систем при университетах), декреты о свободе совести и отделение церкви от государства. Важную роль в становлении единой системы образования сыграл А.В. Луначарский, революционер, ставший первым народным комиссаром (министром) просвещения СССР. Его деятельность связана с установлением централизованного контроля и распределением образовательных ресурсов на основе государственной идеологии, что являлось важным элементом системы управления, обеспечивающим жесткую административную вертикаль в сфере образования. Создается система предметного образования с обязательной системой экзаменов.

После Гражданской войны была проведена значительная работа по ликвидации неграмотности, борьбе с беспризорностью, достигшей огромных размеров. Это был важный этап не только в контексте социальной политики, но и в построении мультиорганизационной системы управления образованием, где задействованы разные уровни и компоненты власти, включая местные органы и

национальные структуры. И только в 1984 г. публикуются документы по школьной реформе. Ее основными направлениями и задачами были следующие: обучение детей с шестилетнего возраста; повышение уровня всеобщего среднего образования с введением ряда новых учебных предметов (информатика и другие); всеобщее профессиональное образование; улучшение подготовки и материального положения учителей и других педагогических работников и так далее.

Представленный анализ позволяет рассматривать историческое развитие образования не только как процесс формирования педагогических практик, но и как становление управляемой системы с распределённой мультиагентной структурой, где функции планирования, координации, контроля и обратной связи выполнялись различными социальными субъектами, зачастую в неформализованной форме. Этот подход открывает возможность моделирования современного образования как мультиорганизационной информационной системы, укоренённой в исторической логике развития управленческих компонентов. В 1986 г. принимается решение о перестройке высшего и среднего специального образования. Реформа высшего образования и создание новых механизмов управления учебными заведениями в контексте перестройки стали попыткой адаптировать образовательную систему к меняющимся политическим и социальным условиям, расширяя число участников и агентов, а также разнообразие управления. Контуры мультиорганизационной системы управления общим образованием формируются как сложная сеть взаимодействующих агентов, каждый из которых выполняет специфические функции в процессе регулирования, организации и сопровождения образовательной деятельности. Центральное место в этой системе занимают социальные агенты, среди которых ключевыми выступают обучающиеся, родители и более широкие сообщества, транслирующие ценностные ориентиры и социальные ожидания. Эти агенты образуют первичную ячейку потребления и запроса на образовательную услугу, формируя предпосылки для создания управленческих механизмов.

На протяжении исторического развития образования как социальной системы наблюдается устойчивое формирование и институционализация

различных форм управления. Изначально управление носило характер неформализованных практик — семейное обучение, церковный надзор, гильдейские школы. Эти формы представляют собой доинституциональные практики координации и контроля, где функции управления распределялись стихийно. В дальнейшем начинается оформление устойчивых структур управления — религиозных школ, светских школ под патронажем городов и первых государственных надзорных органов. Возникают идеологические агенты управления, выполняющие роль носителей ценностей, нормативных установок и механизмов репродукции культурных стандартов. В разные исторические периоды эту функцию исполняли церковь, государственные идеологические структуры (в особенности в советский период), а также современные экспертные и общественные организации.

Параллельно формируется слой административных агентов, ответственных за организационно-правовое обеспечение процесса образования. На ранних этапах эту функцию выполняли земства, уездные училищные советы, городские думы, позднее — министерства народного просвещения и их структурные подразделения. В советский период формируется вертикально интегрированная система управления, охватывающая все уровни — от центральных комиссариатов до районных отделов народного образования. Эта иерархия дополняется образовательными агентами, ответственными за методическое сопровождение, кадровое обеспечение и стандартизацию образовательного процесса. Среди них — методические кабинеты, институты повышения квалификации, научно-исследовательские учреждения.

Вспомогательные агенты, такие как медицинские, социальные и психологические службы, появляются как ответ на усложнение образовательной среды. Их функция заключается в обеспечении устойчивости системы, минимизации социальных рисков и поддержке образовательного процесса с позиции благополучия обучающегося. Таким образом, управление общим образованием выходит за пределы исключительно педагогических и

административных процедур, формируя подсистему агентов с разнообразными функциями и уровнями воздействия.

Современный этап развития характеризуется децентрализацией и усложнением связей между агентами, переходом от иерархических моделей к сетевым. Возникают элементы горизонтального взаимодействия: школьные управляющие советы, независимая оценка качества, цифровые инструменты мониторинга, сетевые образовательные сообщества. Институциональные формы управления становятся гибкими, а информационные технологии усиливают координационные возможности между агентами. Тем самым, общее образование трансформируется в динамичную мультиорганизационную систему, где управление осуществляется на пересечении административных, идеологических, социальных, образовательных и вспомогательных траекторий. К положительным сдвигам относится появление документов, определяющих концепцию развития образования и школы: Закон РФ «Об образовании» (1992) и Конституция Российской Федерации (декабрь 1993). Важно отметить, что в этот период появляются элементы демократизации управления, с усилением роли местных органов и образовательных учреждений в принятии решений. Появление концептуальных законов стало этапом перехода от централизованного государственного управления к более децентрализованной и автономной системе образования. Обозначились тенденции демократизации и гуманизации школы. Появляются альтернативные школы разных форм собственности.



Рисунок 2 – Эволюция мультиорганизационной системы управления общим образованием в СССР (1917–1991)¹

¹ Примечание: Цветовая кодировка: красный — идеологические агенты, синий — административные, зеленый — образовательные и методические, серый — вспомогательные (медицинские, социальные)

Представленный анализ демонстрирует, как с развитием российского образования происходит не только совершенствование образовательных практик, но и эволюция управленческих структур, начиная от централизованных административных единиц до более гибкой и многогранной системы, включающей различные формы управления и агентов. С 1990-х гг. российская система образования сталкивается с целым рядом задач управления. К их числу относятся:

- ускорение темпов развития общества;
- переход к информационному обществу;
- возрастание глобальных проблем;
- возрастание роли человеческого капитала;
- растущая коммерциализация российского образования;
- недостаток рабочей силы и несоответствие системы подготовки требованиям рынка;
- необходимость усиления инженерно-технической подготовки с целью обеспечения технологического роста и суверенитета страны;
- необходимость усиления ценностного и патриотически ориентированного воспитания;
- рост спроса на кадры, обладающие высоким уровнем эмоционального интеллекта и «мягких» навыков.

1.2 Понятие мультиорганизационной системы общего образования

Представление любой сложной системы в виде комплекса взаимодействующих элементов всегда является моделью. Поэтому рассмотрим **модель** организационной системы. Организационная система (ОС) определяется перечислением [48]:

состава организационной системы (участников – людей, их групп и коллективов, входящих в организационную систему, то есть ее **элементов**);

структуры организационной системы (совокупности информационных, управляющих, технологических и других связей между участниками);

ограничений и норм деятельности участников организационной системы, отражающих, в том числе институциональные, плановые, технологические и другие ограничения (условия) и нормы их индивидуальной и совместной деятельности;

целей и предпочтений участников организационной системы;

информированности – той информации о существенных параметрах, которой обладают участники организационной системы на момент принятия ими решений;

порядка функционирования – последовательности получения информации и выбора действий участниками системы.

В обобщенном виде систему общего среднего образования можно описать как мультиорганизационную систему, состоящую из большого числа акторов: региональных и федеральных министерств, муниципальных органов власти, школ, педагогического коллектива, детей, родителей, поставщиков. Ниже представлено два способа описания общего образования как организационной системы. Один из этих способов представляет авторскую разработку, второй опирается на методологию СПРУКАР, активно используемую в теории управления организационными системами. Далее и везде по тексту организационная система общего образования описывается как мультиорганизационная, что подчеркивает большое число ее акторов/участников.

Обобщенную схему взаимодействия агентов в российской централизованной системе образования можно увидеть на рисунке 3. Исторически данная модель восходит к советскому периоду, когда система образования формировалась как централизованная и планомерно управляемая. Однако в современных условиях наблюдается тенденция к включению рыночных механизмов, росту автономии образовательных учреждений, а также усложнению каналов информационного и ресурсного обмена. Возникает потребность в формировании сквозных цифровых решений, способных интегрировать оба контура в единую аналитическую систему, что позволит повысить эффективность управления как образовательными результатами, так и материальным обеспечением отрасли.



Рисунок 3 – Схема взаимодействия участников общеобразовательного процесса

Современная система общего образования в Российской Федерации функционирует как сложная многоуровневая иерархически организованная структура, включающая в себя взаимодействие множества субъектов, распределённых по вертикали государственного управления и горизонтали рыночных отношений. Ее институциональная специфика заключается в одновременном существовании двух взаимосвязанных контуров: контуров образовательного и материально-технического обеспечения.

Первый контур представляет собой систему управления образовательными результатами, в которую включены общеобразовательные организации как конечные реализаторы образовательных программ, а также органы управления образованием различного уровня — от муниципальных департаментов до федерального министерства. На данном уровне осуществляется координация, нормативно-методическое сопровождение и контроль реализации образовательных стандартов. Школа в этой системе выполняет роль агента, обладающего информацией о потребностях учеников и педагогов, которая транслируется вверх по иерархии. Эта информация подвергается агрегации и

используется для корректировки программно-методического и содержательного наполнения образования, а также для отчетности и формирования стратегии в области образовательной политики.

Второй контур, функционирующий параллельно, относится к рынку материально-технического обеспечения образовательного процесса. Он охватывает взаимодействие между учреждениями образования, органами управления, промышленными предприятиями и профильными центрами при федеральных министерствах. Здесь реализуется система встречного движения информации и ресурсов: снизу вверх транслируются потребности в оборудовании, цифровых решениях и иных материальных ресурсах, а сверху вниз — поставки, сформированные на основе агрегированных данных и централизованных закупок. В качестве регуляторов выступают центры, действующие при Минпромторге и Минпросвещения, обеспечивающие консолидацию спроса, нормативное регулирование, сбор статистических данных и обратную связь. Таким образом, складывается распределённая система координации, ориентированная на обеспечение устойчивости и адаптивности образовательной инфраструктуры.

Особенностью данной модели является институциональное разделение функций управления образовательным содержанием и функций обеспечения инфраструктуры, каждая из которых организована по собственным логикам и каналам взаимодействия, но при этом остаётся взаимосвязанной через школу как точку интеграции. Такая организация позволяет учитывать как образовательные, так и ресурсные потребности, обеспечивая более полное соответствие между заявляемыми задачами и материальными возможностями их реализации.

Основополагающим элементом системы общего среднего образования является школа (учреждение общего образования). Именно этот актер является ключевым реализатором образовательного процесса на местах и от него зависит эффективность всей системы образования. Анализ теоретических инструментов рассматривает школу как целостный объект, одновременно взаимодействующий с множеством агентов на разных уровнях мультиорганизационной системы. Мультиорганизационная система включает в себя:

- Уровень управления (муниципальные департаменты, региональные и федеральные органы власти);
- Уровень исполнения (администрация, педагогический коллектив);
- Уровень поставщиков (компании, обеспечивающие материально-техническое оснащение, ИТ-ресурсы).

Такой подход позволяет учесть влияние внешних нормативов, бюджетных ограничений, требований к образовательным результатам и рыночных условий поставок, что формирует комплексное представление об общеобразовательном учреждении как элементе сложной сети. Помимо этого, методический подход заключается в описании системы общего среднего образования с точки зрения математических моделей, в частности, механизмов управления.

Исторический генезис системы управления общим образованием в России демонстрирует устойчивую тенденцию к институциональному усложнению, сопровождаемому постепенной дифференциацией функций, расширением субъектного состава и внедрением координационных механизмов, позволяющих интегрировать образовательную, административную и материально-техническую сферы. От дореволюционной парадигмы духовно-нравственного наставничества, через советскую модель централизованного планирования и идеологически унифицированного образования, до современной структуры, совмещающей принципы публично-государственного управления с элементами рыночной логики, прослеживается эволюция целей, задач, функций и организационного устройства отрасли.

Цели государственного управления образованием на различных этапах трансформировались от воспитания идеологически ориентированного гражданина к обеспечению конкурентоспособности человеческого капитала в условиях глобальной экономики. На смену задаче воспроизводства нормативной модели поведения пришла задача формирования компетентностного потенциала, способного адаптироваться к быстро меняющейся социальной и технологической среде. В соответствии с этим изменялись и задачи отрасли: от обеспечения всеобщей грамотности и трудовой подготовки — к развитию критического

мышления, цифровой грамотности, междисциплинарной гибкости и социальной ответственности обучающихся.

Функции органов управления образованием стали включать не только нормативно-правовое регулирование и методическое сопровождение, но также стратегическое планирование, реализацию национальных проектов, участие в распределении финансовых ресурсов, мониторинг качества образования, внедрение цифровых платформ, организацию внешнего оценивания результатов обучения и сопровождение программ профессионального роста педагогических кадров. В результате усложнилась и внутренняя структура самой отрасли: наряду с учреждениями общего и дополнительного образования появились региональные институты развития образования, ресурсные центры, цифровые платформы, производственные и логистические контуры обеспечения образовательного процесса.

Таким образом, общее образование предстало как мультиорганизационная система, в которой взаимодействуют образовательные учреждения, органы исполнительной власти, промышленные партнёры, поставщики цифровых решений, общественные институты и родительская общественность. Каждая из сторон обладает собственными интересами, ресурсами и зонами ответственности, формируя распределённую сеть управления, где школа становится одновременно субъектом, объектом и посредником координации.

Именно в таком контексте целесообразно обратиться к описанию системы общего образования с позиций мультиорганизационного подхода, позволяющего учитывать разнообразие действующих субъектов и сложности их взаимодействия. Для формализации и типологизации подобных взаимодействий может быть использован метод СПРУКАР, предложенный в отечественной научной и прикладной управленческой практике. Упрощая и используя метод СПРУКАР можно получить следующее описание мультиорганизационной системы общего образования при взаимодействии со всеми ключевыми агентами.

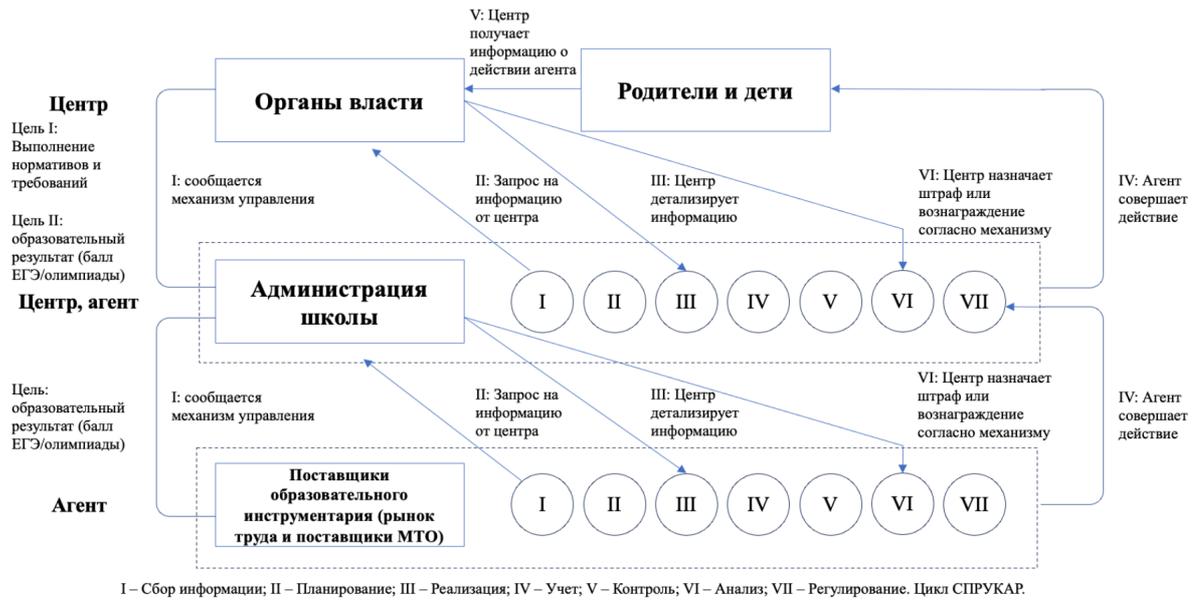


Рисунок 4 – Схема взаимодействия всех участников мультиорганизационной системы общего образования (метод СПРУКАР)

Метод СПРУКАР представляет собой аналитическую модель описания функционирования сложных организационно-технических систем, в основе которой лежит выделение ключевых компонентов: Субъектов управления, Процессов, Ресурсов, Условий, Критериев эффективности, Акторов и Результатов. Первоначально разработанный в инженерной сфере для анализа производственно-технологических систем, данный метод нашёл применение и в гуманитарных науках, включая педагогику и социологию, благодаря своей универсальности и способности структурировать многокомпонентные взаимодействия.

Применение метода СПРУКАР к описанию мультиорганизационной системы общего образования позволяет выявить системные связи между участниками образовательного процесса, логистическими и административными потоками, нормативными ограничениями, ресурсными возможностями и ожидаемыми результатами. Упрощённая схема, построенная на основе указанного метода, демонстрирует конфигурацию взаимодействий между школами, органами управления, поставщиками ресурсов, регуляторами, родительской и профессиональной общественностью. В представленной модели общеобразовательное учреждение выступает как центральное звено,

аккумулирующее запросы, транслирующее информацию, реализующее образовательные программы и оценивающее эффективность применяемых решений в условиях меняющейся внешней среды.

Таким образом, использование метода СПРУКАР позволяет не только отразить институциональное устройство современной образовательной отрасли, но и задать аналитическую рамку для последующего изучения специфики управления школой. В центре такого анализа — рассмотрение школы как агента, находящегося во множестве отношений с другими акторами системы. Эти отношения характеризуются как формальной подчинённостью, так и горизонтальными связями, что делает управление школой не только предметом административной рациональности, но и пространством социальной и профессиональной коммуникации.

Переход к проблематике управления школой требует осмысления специфики её функционирования в условиях многоагентной среды. Социальные и педагогические науки на протяжении последних десятилетий предлагают различные подходы к анализу школы как управляемого института. При этом акцент постепенно смещается от иерархических моделей к сетевым, от вертикали подчинения — к распределению ответственности, от контроля — к фасилитации и сопровождению. Управление школой рассматривается не как исключительно административная практика, а как сложный процесс взаимодействия между профессиональными, родительскими, ученическими и внешними акторами. С позиций мультиорганизационного подхода школа представляется не столько объектом воздействия, сколько самостоятельным актором, способным к адаптивному поведению, стратегическому выбору и институциональному саморазвитию.

В контексте дальнейшего изложения предстоит рассмотреть, каким образом школа функционирует как агент в многоуровневой системе управления, какие механизмы и каналы используются для принятия решений, и как педагогическая и социологическая оптика позволяет описать специфику управления в условиях сетевой сложности и институциональной фрагментации.

1.3. Управление учреждением общего образования. Взгляд педагогических и социальных наук. Оптимальные показатели эффективности неоднородных образовательных учреждений.

В российской и мировой науке анализ сферы общего образования чаще всего происходит с помощью инструментов, которые предоставляют гуманитарные науки. Это связано, в первую очередь, с тем, что данная сфера человеческой жизни сложно цифровизируема. Сложно понять, что является повышением образованности человека, готовности его к жизни, что такое соответствие выпускников кадровому рынку труда, уровень удовлетворенности участников образовательного процесса. Все эти термины часто лежат в плоскости психологии, педагогики, социологии.

Современное управление системой общего образования характеризуется отходом от традиционной иерархической модели и переходом к мультиорганизационной (многосубъектной) структуре, где различные участники образовательных отношений выполняют активные управленческие функции. В таком контексте школа функционирует как открытая социальная система, в которой взаимодействие агентов — учителей, учащихся, родителей, администрации, органов власти и иных заинтересованных сторон — определяет эффективность функционирования всей системы. Концептуальное осмысление этой многосубъектности осуществляется в рамках как социологической, так и педагогической наук. Социологические подходы акцентируют внимание на распределении власти, ресурсов, ролей и символического капитала между различными участниками образовательного процесса.

А.А. Деркач рассматривает образовательную организацию как социокультурную систему, где «каждый участник обладает определённой долей влияния, что формирует горизонтальные и вертикальные связи внутри структуры управления» [17]. Это дополнительно подчеркивает, что общее образование является отдельной системой.

В.Я. Ляудис подчёркивает, что «образовательный процесс носит общественный характер, и управление им невозможно без учёта взаимодействия

интересов всех субъектов – учеников, родителей, педагогов и администрации» [18]. С.А. Беличева говорит о необходимости рассматривать «школу как среду социальной мобилизации», где «решения принимаются не централизованно, а на основе взаимодействия различных субъектов» [19].

Социологический анализ также включает в себя использование понятий агентности (по А. Гидденсу) и акторно-сетевой теории (Б. Латур), применительно к образованию. Так, согласно Гидденсу, агенты образовательной системы обладают рефлексивной способностью воздействовать на структуру: «структура воспроизводится действиями агентов, но в то же время ограничивает их» [20].

Важный вопрос, которого необходимо коснуться – это вопрос, в чем непосредственно измеряется эффективность школы. Согласно Федеральному закону РФ об образовании №273 [21], образование – единый целенаправленный процесс воспитания и обучения, являющийся общественно значимым благом и осуществляемый в интересах человека, семьи, общества и государства, а также совокупность приобретаемых знаний, умений, навыков, ценностных установок, опыта деятельности и компетенций определенных объема и сложности в целях интеллектуального, духовно-нравственного, творческого, физического и (или) профессионального развития человека, удовлетворения его образовательных потребностей и интересов.

Исходя из данной формулировки, образовательный процесс имеет две ключевых функции: обучения (и всего, что связано со знаниями, умениями, навыками, компетенциями) и воспитания (связанного с ценностными и духовно-нравственными установками). Эффективность обучения может быть измерена, как:

- средние результаты выпускных экзаменов учащихся в 9 или 11 классе;
- победы в олимпиадах и конкурсах;
- степень покрытия дополнительным образованием (кружки);
- подтверждения квалификации со стороны рынка (участие в профстажировках, участие в работе компаний и организаций реального сектора экономики);
- количество проектных работ учащихся;

- оценки учащихся;
- и другое.

Педагогическая наука всё чаще переосмысливает управление как кооперативную деятельность, основанную на принципах субъектности и диалога. Н.В. Борытко подчёркивает, что современное управление школой должно «исходить из признания субъектности всех участников образовательного процесса», включая учеников, родителей, педагогов и партнёров школы [22]. Е.Н. Шиян вводит понятие «коллективного управления», при котором «управленческие решения вырабатываются через согласование позиций всех субъектов образовательного пространства» [23]. Т.И. Шамова формулирует принцип субсидиарности в управлении: «образовательная организация — это не объект управления, а сложный субъект, состоящий из других субъектов, между которыми должна быть обеспечена делегированная управленческая активность» [24].

Эффективность воспитательного процесса оценить гораздо сложнее. Однако, значительная часть рейтингов использует следующие показатели [25]:

- уровень участия и побед в социальных активностях, спортивных соревнованиях;
- отсутствие правонарушений;
- отношение к инклюзивному образованию;
- и другое.

Важно отметить, что значительная часть рейтингов регионов использует в качестве основного веса результаты экзаменов, внутренних диагностик и олимпиад [26, 27, 28, 29].

Практически все исследователи при исследовании эффективности работы школы фокусируются на различных факторах, которые на нее могут повлиять. Приведем несколько примеров. В рамках педагогики мультиорганизационность трактуется через идеи партисипативного управления и сетевого подхода к образованию. Майкл Фуллан, исследуя реформы образования, подчёркивает необходимость вовлечения всех участников в управление: «реальные изменения

возможны только тогда, когда реформы исходят не сверху, а являются результатом коллективной работы учителей, школьных лидеров, родителей и учащихся» [30]. Он развивает идею профессиональных обучающихся сообществ, в которых учителя действуют как агенты изменений. Е. Wenger и J. Lave, разработавшие концепцию сообществ практики, подчёркивают, что управление обучением возможно лишь при активном участии всех членов сообщества, а обучение — это социальный процесс, формируемый в межличностных взаимодействиях [31]. Кен Робинсон также критикует централизованные, директивные модели управления образованием и настаивает на важности индивидуализации и сотрудничества: «образовательные системы должны проектироваться снизу вверх, с опорой на местный контекст и субъектов, непосредственно вовлечённых в образовательную практику» [32].

В работе [33] ученых Chiang Mai University из Таиланда выделяются несколько аспектов эффективности образовательного процесса и роста академических результатов, опираясь на опыт высшего образования. Исследователи, в первую очередь, фокусируются на внутренних характеристиках учащихся, таких, как наличие у них жизненной цели, поддержка сверстников и друзей, удовлетворенность процессом обучения, вовлеченность в образовательный процесс. При этом на вовлеченность в образовательный процесс по мнению ученых влияют положительно все остальные факторы. Исследование более 800 учащихся вузов и школ показало, что вовлеченность в образовательный процесс является одним из ключевых факторов (но не единственным), влияющих на академические результаты, а наличие жизненной цели, поддержка сверстников и друзей, удовлетворение процессом обучения положительно влияет на вовлеченность. Междисциплинарный анализ свидетельствует, что в современных условиях школа представляет собой полицентрическую систему, в которой решения не спускаются сверху, а формируются в результате взаимодействия множества агентов с разной степенью полномочий. Как подчёркивает Г.М. Коджаспирова, «школа — это пространство совместного проживания и взаимодействия субъектов, где управление приобретает черты диалога, а не приказа» [34].

Отдельно стоит коснуться влияния педагогического состава на образовательные результаты. Школьный учитель является основой процесса обучения. Учитель должен обладать достаточной квалификацией, его работа должна быть оплачена, а условия труда должны удовлетворять требованиям реализации образовательного процесса.

Пьер Бурдьё рассматривает школу как арену борьбы за ресурсы и символическую власть. Согласно его теории, «образовательная система функционирует как поле, в котором различные агенты – государство, учителя, родители, учащиеся – борются за легитимность, статус и признание» [35]. Он выделяет несколько видов капитала (культурный, социальный, символический), которые неравномерно распределены между субъектами, что влияет на управление и доступ к образовательным благам. Джеймс Коулман, один из основоположников теории социального капитала в образовании, утверждал: «социальные сети и взаимное доверие между участниками образовательного процесса являются ресурсом, улучшающим управление школой и способствующим образовательным результатам» [36]. Так вопрос влияния финансирования школьных педагогов, их зарплат на образовательный процесс остро ставится многими исследователями. К их числу можно отнести работу «Does Money matter in education» [37] и работу об исследовании влияния финансирования учителей на результаты «How and why money matters: An analysis of Alabama schools» [38]. Действительно, уровень зарплат педагогов и их финансового поощрения влияет на результаты. Но не менее важна и их квалификация.

Различные исследования также показывают влияние повышения квалификации учителей на образовательные результаты учеников. Так, исследование ученых Университетов Олбани, Стенфорда и Виргинии [39] выявило значительные различия между программами подготовки учителей и средней эффективности учителей, которых поставляет система переподготовки в школы Нью-Йорка. Было обнаружено, что некоторые программы выпускают учителей, которые оказывают значительно большее влияние на успеваемость учащихся, чем другие. В частности, программы подготовки учителей, которые больше

фокусируются на работе в классе, и предметные курсы, позволяют учителям быть более эффективными. В обзоре [40] ученых стран Персидского залива, посвященного развитию STEM-образования (Science, Technology, Engineering, Maths), подчеркивалась необходимость более длительных и целенаправленных программ повышения квалификации учителей, пересмотра и реструктуризации программ STEM и включения этапов инженерного проектирования в учебные планы по естественным наукам. В целом, все данные работы фокусируются на качестве переподготовки педагогов.

Не менее важно и содержание образовательных материалов и программ. Как написано выше, именно вовлеченность в образовательный процесс является одним самых значимых факторов в достижении академических результатов [33].

Важным вопросом является и так называемая «материальная среда», которая включает в себя материальные средства обучения, инфраструктуру, окружающий дизайн помещений, оснащение компьютерной и цифровой техникой, а также иными типами техники. Внешняя среда не менее важна, чем содержание образования или качество педагогов, или отношений внутри группы учеников.

Так, финские исследователи К. Наккараинен, Л. Лирпонен и другие в своей работе 2000 года [41] исследовали факторы, которые могли бы повлиять на уровень влияния современных компьютерных и цифровых технологий и отношение учащихся к цифровым технологиям. Уже в 2000 году наблюдался достаточно сильный уровень квалификации учащихся в цифровых технологиях, а также влияние использования компьютерных технологий на вовлеченность в учебный процесс и академические результаты. Исследователи приходят к выводу о важности использования цифровых технологий в учебном процессе.

Похожие выводы о влиянии оборудования, материальной базы получили исследователи из Университета Абуджи (Нигерия) и Федерального технологического университета Нигерии [42], только касательно лабораторного оснащения. Посредством анализа статистических данных, их регрессионного анализа, исследование выявило значительную разницу в успеваемости учащихся-биологов, посещавших надлежащим образом оборудованные лаборатории, по

сравнению с теми, кто посещал недостаточно оборудованные лаборатории. Влияние, которое оказывали оснащенные лаборатории на успеваемость по биологии, не зависит от пола учеников.

Бруно Латур в рамках акторно-сетевой теории (ANT) предлагает рассматривать участников образовательного процесса как «актеров», чьи действия не сводятся к социальным ролям, а формируются в процессе непрерывного сетевого взаимодействия. В ANT под субъектами понимаются не только люди (учителя, ученики), но и институты, документы, технологии, которые в совокупности формируют ландшафт управления [43].

Исаия Берлин, рассуждая о либеральных ценностях, подчёркивал значимость плюрализма и признания множества взглядов и интересов как основы для демократического управления, включая сферу образования [44]. Эти идеи находят отражение в современных подходах к партисипативному и инклюзивному управлению.

Таким образом, в зарубежных исследованиях мультиорганизационность управления системой общего образования осмысливается как: сетевое взаимодействие между разнородными субъектами (ученики, педагоги, родители, органы управления, сообщества); децентрализация управления и усиление субъектности низовых акторов; институционализация доверия и социального капитала как управленческого ресурса; создание обучающихся сообществ и профессиональных сетей для устойчивых образовательных реформ. Эти идеи тесно перекликаются с современными российскими разработками в области педагогики и социологии образования, позволяя рассматривать школу как открытое и динамическое социальное образование, управление которым возможно только при активном участии множества акторов.

В социологии и педагогике сложилось устойчивое представление о системе общего образования как мультиорганизационной системе, где управление основывается на взаимодействии различных субъектов, каждый из которых вносит вклад в принятие решений и реализацию образовательной политики. Понимание этой многосубъектности позволяет перейти к осмыслению инструментов и

моделей управления школой, опирающихся на координацию интересов, партисипативные практики и диалоговую культуру. В следующем разделе будет рассмотрено, какие подходы и инструменты педагогических и социальных наук позволяют обеспечить эффективное управление школой как сложной социальной системой.

Таблица 2 – Иерархическая структура управления в общеобразовательной организации

Уровень	Тип механизма	Функциональная зона	Ключевой инструмент	Цель	Ответственный актор
Стратегический	Планирование	Финансы/целеполагание	КРІ, ФГОС, нацпроекты	Устойчивое функционирование СОС	Федеральные органы
Тактический	Организация	Закупки/персонал	Механизм "затраты-эффект", отбор	Оптимальное распределение ресурсов	Директоры, поставщики
Операционный	Стимулирование	Педагогический коллектив	Функция вознаграждений и штрафов	Рост качества обучения	Завуч, HR-службы
Инфраструктурный	Снабжение/ИТ	МТО, ЦИС	ГИС "Моя школа", анализ данных	Оценка состояния оборудования и ремонтов	Технические завхозы, IT-отделы

Для систематизации подходов к управлению общеобразовательной организацией (ОО) в условиях мультиорганизационной системы предлагается классификация механизмов по типам и уровням управленческого воздействия. Приведённая таблица обобщает подходы, которые рассматриваются далее в форме сложных декомпозиций и математических моделей. Каждый из указанных механизмов декомпозируется в отдельных разделах, где рассматриваются математические модели, функции полезности, оценка результатов и цифровые механизмы управленческого воздействия.

Для обеспечения связности управленческих механизмов необходимо не только их табличное описание, но и представление в виде логически взаимосвязанных блоков. Декомпозиции отражают структуру передачи информации, потоков ресурсов, принятия решений и циклов обратной связи.

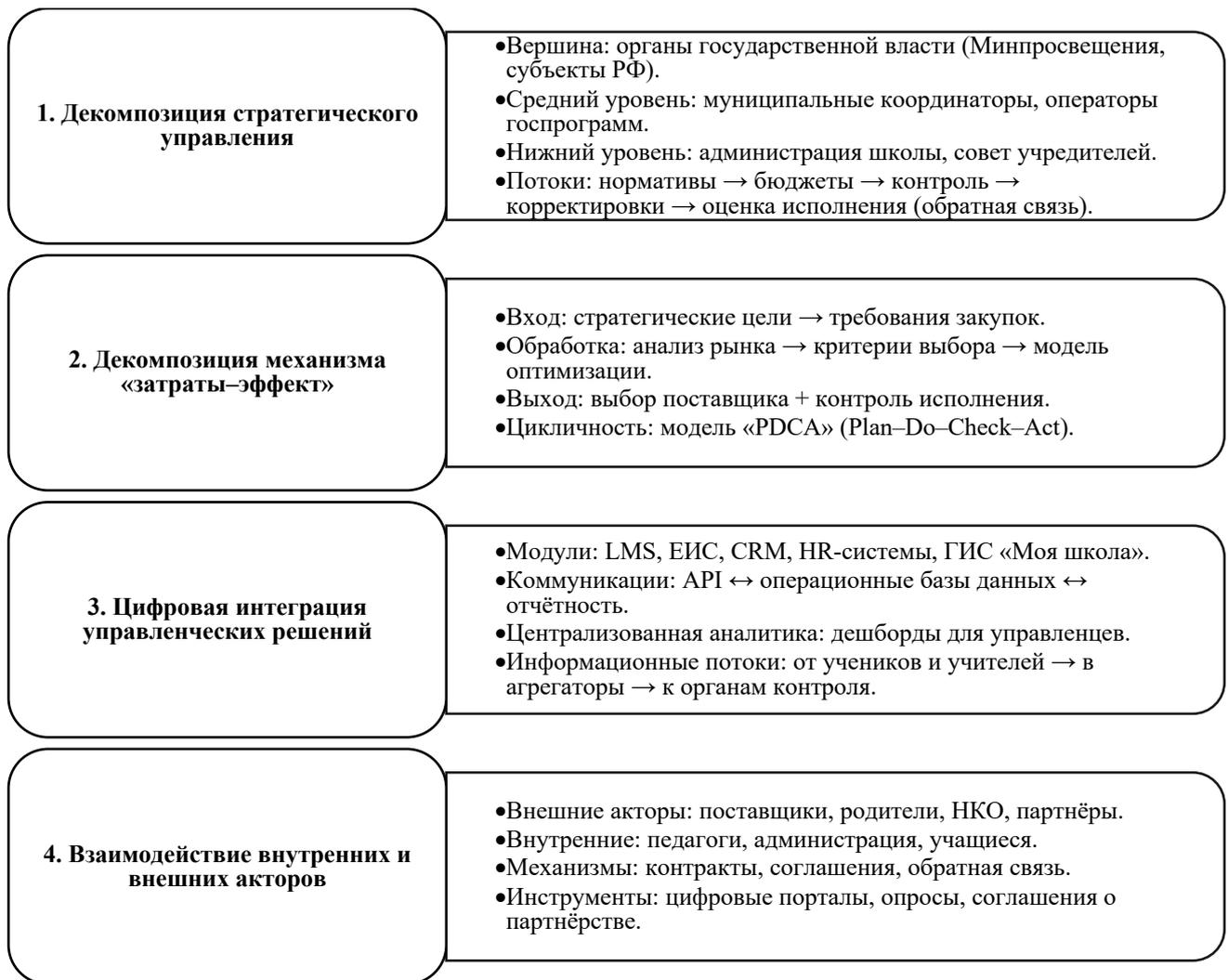


Рисунок 5 – Декомпозиция основных процессов

Для моделирования процессов управления школой в условиях мультиорганизационной среды необходимо учитывать не только классификацию механизмов, но и динамику взаимодействия акторов, направлений деятельности и информационных потоков. Представленные схемы декомпозиции позволяют сформировать целостное представление о логике процессов, поддерживаемых цифровыми и институциональными средствами. Они дополняют табличные модели, обеспечивая переход от концептуальной структуры к алгоритмическому исполнению.

Таким образом, проведённый анализ научной литературы позволяет утверждать, что в социологии образования, педагогике и теории управления постепенно формируется целостное представление о системе общего образования как мультиорганизационной управляемой системе, включающей широкий спектр

субъектов — от педагогических коллективов и родительского сообщества до органов государственной и муниципальной власти, а также внешних партнёров (поставщиков ресурсов, разработчиков цифровых решений и др.). Однако в большинстве существующих подходов акцент сделан либо на локальных уровнях взаимодействия (внутришкольное управление, педагогическое соавторство, индивидуализация образовательных траекторий), либо на внешней среде (образовательная политика, регулятивные воздействия), без выработки целостной модели, описывающей одновременное участие всех акторов в управлении.

Сравнительный анализ терминологии и методологии в международной практике

Для дальнейшего продолжения рассмотрения мультиорганизационной системы общего образования необходимо подвести итог, провести краткий сравнительный анализ терминологии российского и международного опыта в моделировании образования в школе. Ниже представлена сравнительная таблица модельных и методических подходов, рассмотренных в рамках данной работы.

Таблица 3 – Сравнение терминологии работы и международных исследований

Тип методологии	Метод	Примеры работ (ссылка на список литературы)	Терминология в международных исследованиях	Базовая терминология в работе (теория управления, теория активных систем)
Социально-гуманитарные методы	Психологические и педагогические	34	Организационно-деятельностный компонент, личность, психологическое воздействия, эго, альтер-эго, эмоциональное состояние, воспитательная функция	Организационная (мультиорганизационная) система, центр, агент, управление, связи, механизм управления
	Социальные	30, 31, 32, 46	Сообщество, администрация, педагогическое сообщество, партнеры, субъекты, межличностные взаимодействия	
	Политэкономическое	36, 37, 40	Социальный капитал, экономическое влияние, эффективность рынка труда	
	Философские	35, 44	(Различается)	
Математические и цифровые методы	Статистические и эконометрические	33, 38, 39, 41	Гипотеза, статзначимость, выборка, альфа, объяснительная способность, статистическая модель, факторы	
	Иные модельные	42	(Различается)	
	Сетевая теория	20, 43	Система, акторы, сетевое взаимодействие, рефлексия, воздействие	

На основании представленной таблицы можно сделать следующие выводы: Международные исследования в социально-гуманитарном блоке оперируют терминологией, сфокусированной на содержательной сущности образовательного процесса и его участников: «личность», «эмоциональное состояние», «сообщество», «социальный капитал». Это отражает гуманистический и описательно-аналитический подход. Присутствует разный концептуальный взгляд на систему образования. В международных работах школа часто рассматривается как социокультурная среда или сообщество, где ключевыми являются межличностные отношения, воспитание и социальные связи. В рамках данной работы система общего образования трактуется как мультиорганизационная система – сложный управляемый объект с иерархией, распределёнными целями и необходимостью согласования интересов между различными организационными единицами (министерство, регион, школа, класс). Представленные методологии не исключают, а дополняют друг друга. Социально-гуманитарные методы выявляют содержательные факторы и качественные связи (почему учитель или ученик ведут себя тем или иным образом). Математические методы (статистика, сетевая теория) позволяют формализовать эти выявленные зависимости, построить расчётные модели, оценить эффективность различных управленческих решений («механизмов управления») и перейти от описания к проектированию.

Подход на основе теории управления и теории активных систем, используемый в работе, применяет более формализованную и абстрактную терминологию: «центр», «агент», «механизм управления», «организационная система». Данная методология заполняет нишу между высокоуровневой социальной теорией и прикладной статистикой. Она предоставляет аппарат для анализа и проектирования конкретных управленческих процедур (финансирования, стимулирования, отчётности) в условиях, когда участники системы («агенты») имеют свои интересы и могут действовать не в полном соответствии с директивой «центра». Термины «связи» и «механизм управления» в контексте данной работы подразумевают не просто коммуникацию, а целенаправленное институциональное и экономическое взаимодействие

(нормативы, гранты, контрольные показатели), что напрямую соотносится с задачами государственного инвестирования и повышения эффективности.

Теория управления и теория активных систем также, как будет показано далее в работе, обладают не только сильной описательной, но и предсказательной силой.

В рамках данной главы дан обзор на объект исследования (учреждение общего образования). Также определено понятие мультиорганизационной системы общего образования, включающей в себя школу, ее составляющие части и окружение. Детально описан взгляд социальных и гуманитарных наук на общее образование как систему. Таким образом, с позиции системной методологии проведен анализ теоретических основ управления общеобразовательным учреждением в рамках мультиорганизационной системы, отличающийся рассмотрением неоднородного объекта как цельного, одновременно взаимодействующего с широким перечнем участников системы, а также в адаптации ранее известных моделей к системе общего образования.

Глава II. Обзор и разработка методического подхода для алгоритмизации управления общеобразовательной организацией в мультиорганизационной системе. Математическое моделирование взаимодействий участников системы.

2.1. Взаимодействие школы с поставщиками и педагогическим коллективом. Взгляд математических наук. Применение моделей механизмов управления в образовательной сфере. Опрос директоров и показатели целевой функции образовательной организации.

В данной главе и далее все исследования проводятся в рамках предпосылок об относительной стабильности политико-экономической ситуации и нормативного поля. Шоки и нестационарности мультиорганизационной системы общего образования не являются частью данного исследования, но представляют интерес для дальнейшего рассмотрения учеными и исследователями.

Согласно статье 23 Федерального закона от 29.12.2012 №273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации», школа — это общеобразовательная организация (Далее – ОО), которая в качестве основной цели своей деятельности реализует образовательные программы начального общего, основного общего и (или) среднего общего образования. Общеобразовательная организация (Далее ОО или «школа») как объект исследования является полноценно действующей организацией – объединением людей, совместно реализующих некоторую программу или цель и действующих на основе определенных процедур, и правил», то есть механизмов функционирования (механизм – «система, устройство, определяющее порядок какого-либо вида деятельности»).

Педагогический коллектив является ключевым ресурсом школы. Управление им должно учитывать как нормативно-ролевую структуру, так и индивидуальные

траектории развития. Ниже представлена многоуровневая модель, объединяющая элементы найма, мотивации, профессионального роста и удержания кадров.

Таблица 4 – Модель управления педагогическим составом в условиях СОС

Направление	Подсистема	Механизм	Метод	Инструмент	Ожидаемый эффект	Актеры
I. Найм	I.1 Отбор	Конкурс, собеседование	Многоступенчатая фильтрация	Метод профиля компетенций	Повышение качества педагогов	HR-служба, директор
	I.2 Адаптация	Менторинг, аттестация	Наставничество, ИКТ-тестирование	Карта компетенций	Уменьшение текучести	Завуч, наставник
II. Мотивация	II.1 Финансовая	Дифференцированная оплата труда	KPI + сдельно-премиальная система	Модель стимулирования	Рост продуктивности	Бухгалтерия, директор
	II.2 Нематериальная	Публичное признание, карьерный рост	Институционализация достижений	Модель карьерных ступеней	Формирование вовлеченности	Профсоюз, методсовет
III. Развитие	III.1 Повышение квалификации	Курсы, стажировки	Индивидуальные планы	Образовательная платформа	Рост компетенций	Педсовет, ЦППРК
	III.2 Оценка эффективности	Аттестация, анализ результатов ЕГЭ	Диагностические карты	Цифровое портфолио	Обоснование премирования	Комиссия школы
IV. Удержание	IV.1 Работа с рисками выгорания	Коучинг, поддержка	Психологические диагностики	Личностные опросники	Снижение увольняемости	Психолог, завуч

Модель дополняется возможностью цифрового сопровождения: цифровые досье педагогов, автоматическая генерация карт развития, аналитика на основе LMS (Learning Management Systems). Управление коллективом должно быть непрерывным, адаптивным и стратегически выстроенным во взаимодействии с региональными системами образования.

В формализованном виде можно принять модель управления в образовательной сфере. ОО, действуя в рамках, заданных административным аппаратом (центром принятия нормативных решений) правил, реализует образовательный процесс для «Учеников и родителей». Функцией полезности ОО является образовательный результат, который организация производит для Населения РФ. Для реализации своей основной цели – увеличения функции

полезности – школа взаимодействует с двумя ключевыми агентами: поставщиками оснащения и рынком труда (педагоги). Агент-поставщик осуществляет поставку образовательных программ и учебников, а также материального оснащения учебного процесса. Агент-педагогическое сообщество является производителем кадрового состава, а также обладает определенным уровнем качества услуг – квалификацией. Общую схему взаимодействия упрощенно и модельно можно представить следующим образом:



Рисунок 6 – Краткая схема взаимодействия всех участников образовательного процесса, с кем взаимодействует школа

Базовую функцию данной мультиорганизационной системы, как мы видели выше, можно представить как задачу описания трехуровневой системы:

$$F = (L(M_0, N, \sum U_i), S_i(N, A, M_i, Ed_i), P(K_i, L_i, t)), \quad (1)$$

в которой L – административный аппарат, который зависит от общего бюджета, нормативных актов и общего образовательного результата всех школ, S_i – школа, которая зависит от нормативных актов, поставленного оборудования своего бюджета и используемых образовательных методик, и поставщики услуг/педагоги,

которые зависят от своей выручки/дохода и времени, которое требуется им для оказания услуги/поставки.

Рассмотрим ситуацию взаимодействия общеобразовательных организаций – субъекта управления и поставщика, который осуществляет поставки в ОО – объекта управления, который должен поставить продукцию, которая удовлетворяет пожеланиям общеобразовательные организации [45].

Школа является составным агентом, учитывающим интересы множества лиц внутри (учителя, директора, родители, учащиеся), однако ключевым лицом, принимающим решение, является директор общеобразовательной организации [46].

В рамках выдвинутых гипотез о важности материального оснащения и кадрового обеспечения для управления школой, а также гипотезы о том, что целевая функция школы может быть описана, как результаты экзаменов, автором исследования был сформулирован опросник, который позволил провести декомпозицию целей директоров школ, а также выяснить их мотивацию.

Список вопросов, директора школ:

1. Какими факторами вы руководствуетесь, осуществляя закупку МТО?
2. Как вам выделяют финансирование на закупку МТО? Является ли оно целевым?
3. В рамках каких проектов оно может являться целевым?
4. Опишите по шагам процесс закупки оборудования вашей школой, в том числе в зависимости от того, является оно целевым или нет?
5. Существует ли большое число поставщиков, из которых вы можете выбрать, кто должен осуществлять закупку?
6. С какими трудностями вы сталкиваетесь при проведении закупок?
7. Какие отчетные документы с вас требует региональный департамент образования/ муниципалитет? Как оценивается эффективность той или иной закупки?
8. Какую пользу приносит вам различное оборудование в зависимости от его направления использования? Какие основные направления существуют?

9. Каких самых популярных поставщиков оборудования вы можете назвать?
10. Имеет ли закупка МТО какое-либо влияние на финансовые показатели школы?
11. Как происходит согласование закупки с госорганами «сверху»?
12. Важно ли вам выполнить план или вы закупаете оборудование с другой целью?
13. Как долго служат в среднем объекты МТО?
14. Какова средняя цена закупки?
15. Осуществляете ли вы совместную закупку оборудования с иными школами?
16. Какие показатели эффективности вам ставит руководство при использовании МТО?
17. Как зависит полезность оборудования в зависимости от его стоимости?

Ключевые вопросы, отвечающие на вопрос вида функции и её аргументов – это вопросы 1, 6, 7, 8, 10, 11, 12, 16, 17.

Помимо вопросов определения функции полезности, данный опросник также помог понять процедуру проведения закупок и влияния различных агентов.

В рамках работы было проведено 17 интервью с директорами школ различных регионов Российской Федерации. Все директора школ заявили при ответе на вопрос №8 о важности образовательного результата, выражаемого в среднем балле Единого государственного и Общего государственного экзаменов в школе, числе победителей конкурсов и олимпиад. Помимо этого, в регионах, в которых департаментом образования устанавливалась рейтинговая система (например, Московская область, г. Москва) ключевым результатом являлось улучшение места школы в рейтинге, при этом основной вес в данном рейтинге играют результаты выпускных экзаменов учеников.

Зарплата директоров коррелирует с результатами учеников или местом в рейтинге, соответственно директора стремятся улучшить данные показатели, в первую очередь. Интересным фактом являлось то, что управленческий состав школ

не видел явного количественного влияния оборудования в школе на свою работу, но, при этом, директорами заявлялось, что оборудование должно быть современным и закупается с целью повышения мотивации обучающихся или улучшения прикладных навыков, а также увеличения продуктивности учителя.

Также все директора школ заявили о необходимости соблюдения требований нормативно-правовых актов и вышестоящих органов.

Число учеников не является показателем полезности, в рамках опроса ни один директор не заявил о данной цели.

Если школа ведет регулярную деятельность и административный состав не нарушает нормативы [47], требования законодательства и вышестоящих органов управления, то ключевой целью является обеспечение уровня экзаменов или рейтинга общеобразовательной организации в регионе. Данный показатель является функцией полезности ОО и измеряется в среднем балле учащихся по результатам Единого государственного экзамена или в рейтинге общеобразовательных организаций, по которым оценивают эффективность работы учреждения.

В рамках декомпозиции целей ОО, необходимо учитывать факторы финансовой стабильности организации (отсутствие долгов, наличие средств для оплаты труда учителей) (блок «Финансы») для осуществления успешного процесса проведения регулярных мероприятий, обеспечения учреждения образования необходимой материальной поддержкой (блок «МТО-Снабжение») и укомплектования персоналом (блок «Кадры»). Кроме этого, в разрабатываемой модели предусмотрен блок «Нормативы», который описывает выполнение требований вышестоящих инстанций, стандартов в рамках проведения государственных программных мероприятий и процедур закупок.

Итак, центр управления ОО достигает высоких образовательных результатов за счет обеспечения высокого уровня удовлетворенности образовательным процессом среди учащихся и родителей (блок «Обучение»), успешного подбора и финансовой поддержки персонала (блок «Кадры»), а также при наличии профессиональной материальной базы (блок «МТО-Снабжение»).

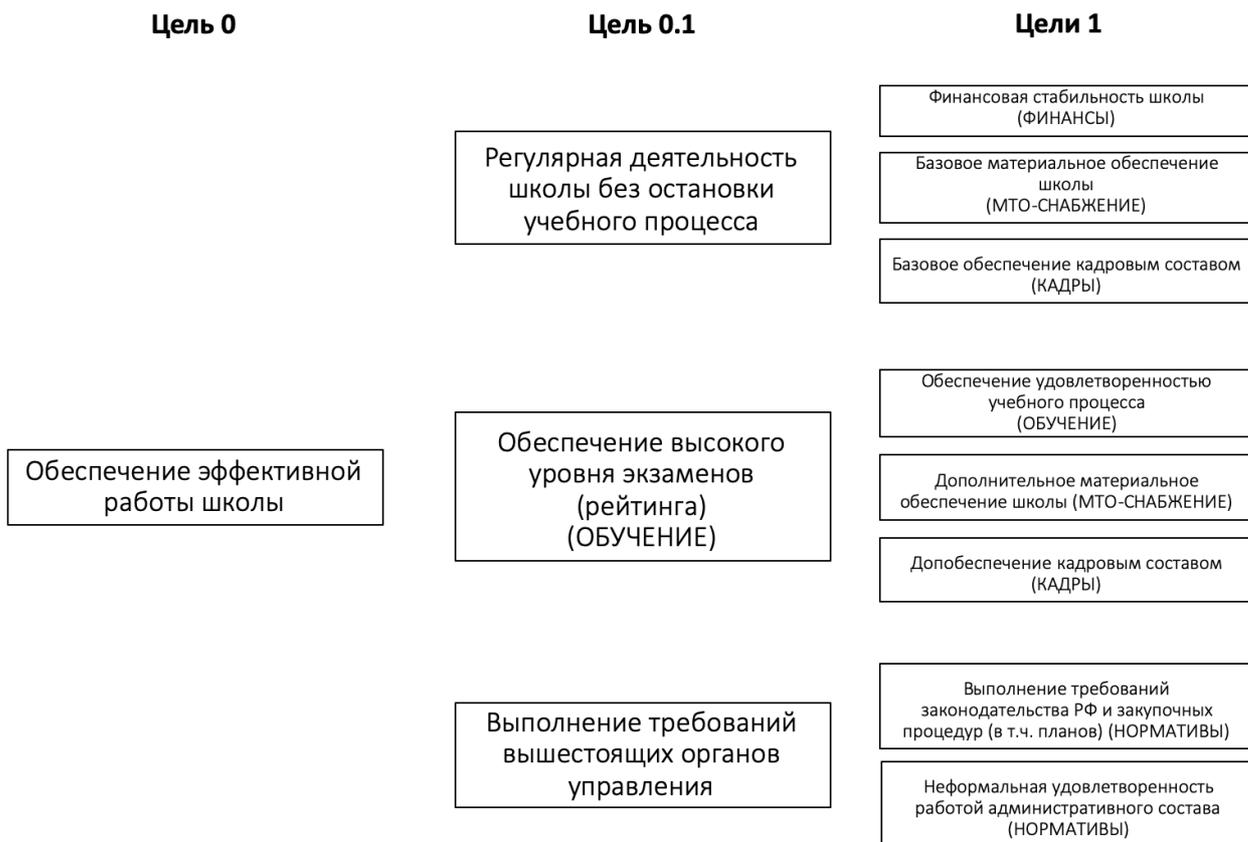


Рисунок 7 – Первичная декомпозиция целей центра управления общеобразовательной организацией

Основываясь на целях уровня 1, можно декомпозировать цели, связанные с материальным обеспечением общеобразовательной организации, которые ниже будут рассмотрены подробнее.

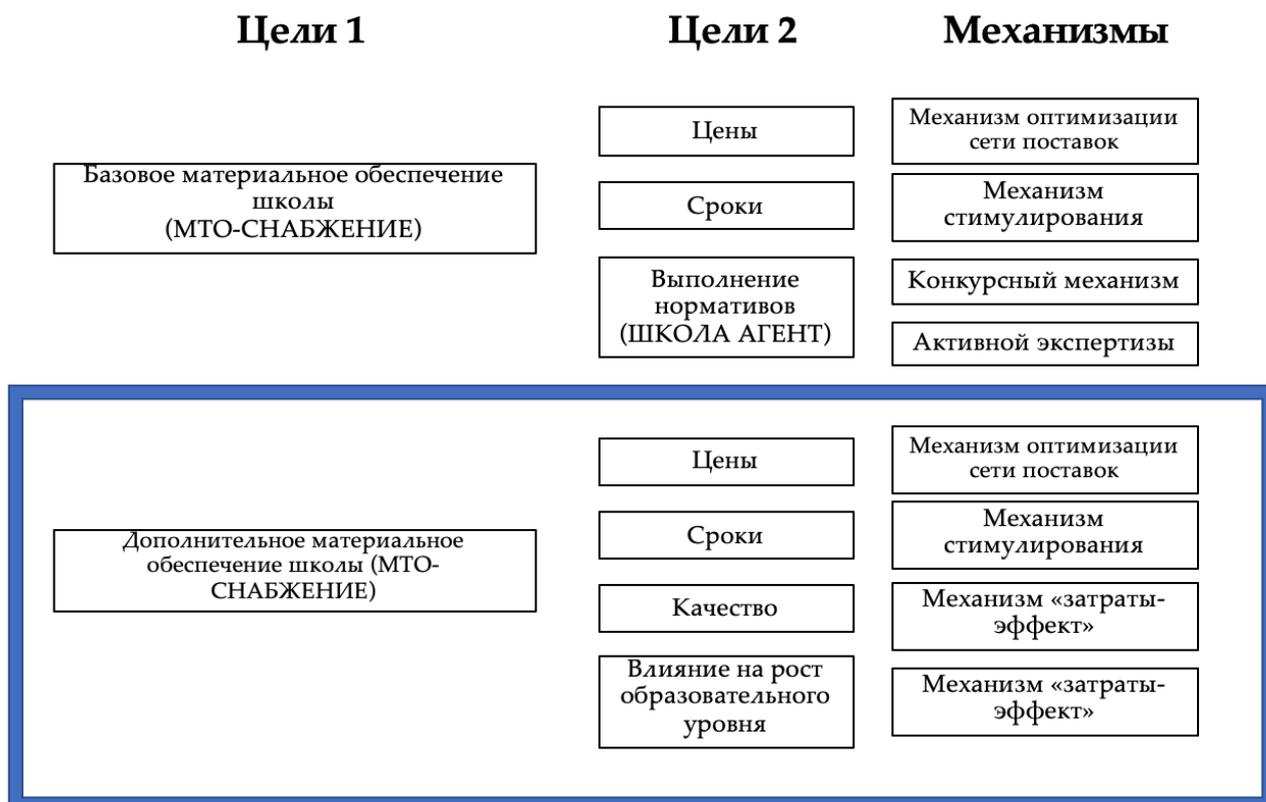


Рисунок 8 – Декомпозиция целей центра управления общеобразовательной организации по материальному обеспечению

Механизм «затраты-эффект» в поставках оборудования

Механизм «затраты-эффект» является основополагающим для распределения ресурсов образовательным учреждением при определении перечня закупки в рамках распределяемого бюджета. Его суть состоит в том, что сначала определяется эффект на полезность (образовательный результат) от покупки единицы того или иного направления оборудования. Эффект чаще всего определяется с помощью экспертизы или сообщается агентом-поставщиком (Далее – агент). Эффективность агента измеряется как отношение предельной полезности к предельным затратам. Данный механизм управления относится к механизмам планирования и организации.

В рамках использования механизма «затраты-эффект» центром выступает школа, агентом выступает поставщик.

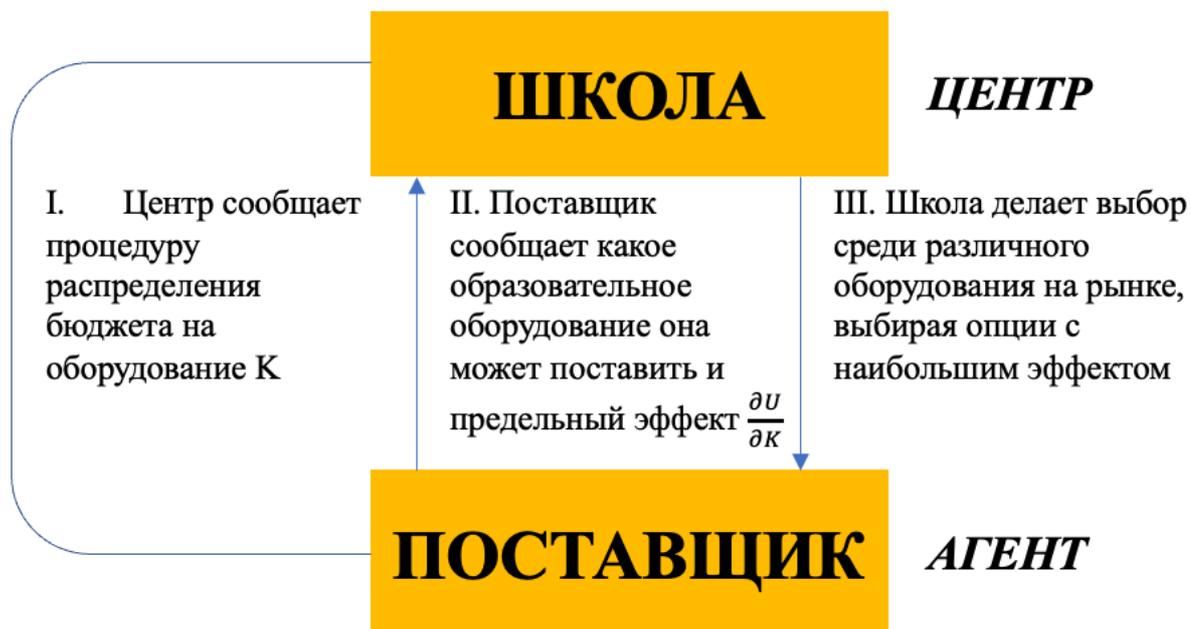


Рисунок 9 – Порядок функционирования механизма «затраты-эффект» в случае поставки оборудования

Механизм затраты-эффект является одним из самых распространенных в рамках теории управления [48], однако, его слабым местом является возможная недостоверность предоставленных данных об эффективности.

Формализация действия механизма «затраты-эффект» [49, 50] должна учитывать выбор оборудования, которое ей необходимо поставить. Предположим, что учреждение может закупить ряд оборудования, который приведет к получению школой образовательного результата. При этом, предельная полезность каждого вида оборудования линейна, а его количество, которое может поставить поставщик ограничено (данное предположение зачастую верно для редкого оборудования, из практики авторов работы: образовательные наборы по водородной энергетике, видеостудии, мебель индивидуальной сборки, и так далее).

Пусть имеется N типов оборудования. Все потенциальные закупки упорядочиваются по затратам на реализацию и эффекту, который та или иная закупка может оказывать на образовательный процесс (согласно результатам выше: результаты ЕГЭ/рейтинг общеобразовательной организации в регионе).

Таблица 5 – Таблица подсчета эффективностей в рамках реализации механизма «затраты-эффект»

No	Вариант	Затраты на реализацию	Оценка эффекта	Эффективность
1.	Тип 1	b1	w1	w1/b1
2.	Тип 2	b2	w2	w2/b2
3.	Тип 3	b3	w3	w3/b3
4.	Тип 4	b4	w4	w4/b4
i.	b _i	w _i	w _i /b _i
N.	Тип N	bN	wN	wN/bN

Сравнить результативность закупок можно, построив график (см. Рис. 10), на котором по оси абсцисс откладываются затраты на то или иное оборудование, а по оси ординат влияние на образовательный результат. Для *i*-ой закупки получаем отрезок, выходящий из начала координат и заканчивающийся в точке с координатами (b_i, w_i). Результативность той или иной закупки описывается углом наклона $\frac{w_i}{b_i}$.

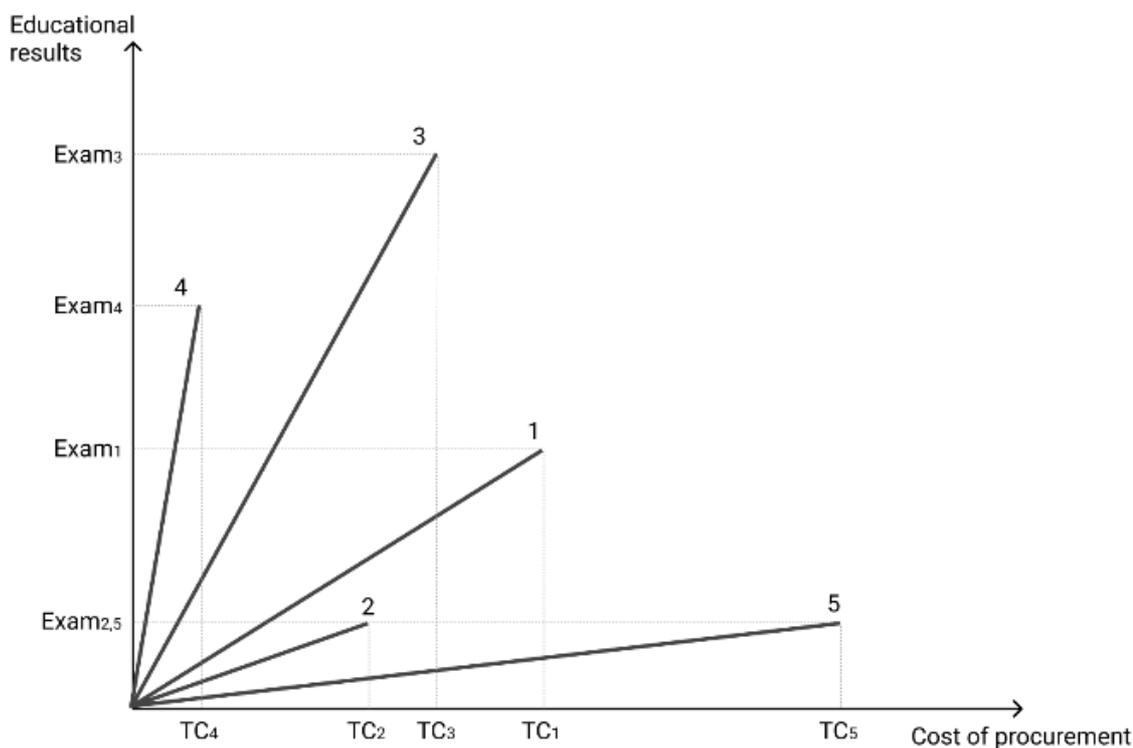


Рисунок 10 – Эффективность опций в рамках механизма затраты-эффект

Чем выше вклад той или иной закупки на вложенный рубль, тем эффективнее сначала закупать данное оборудование, а потом последующее (при удовлетворении базовых потребностей организации в данном оборудовании). Таким образом, закупки сортируются по показателям $\frac{w_i}{b_i}$ и возможно составить суммарный график для проведения закупок в зависимости от рейтинга.

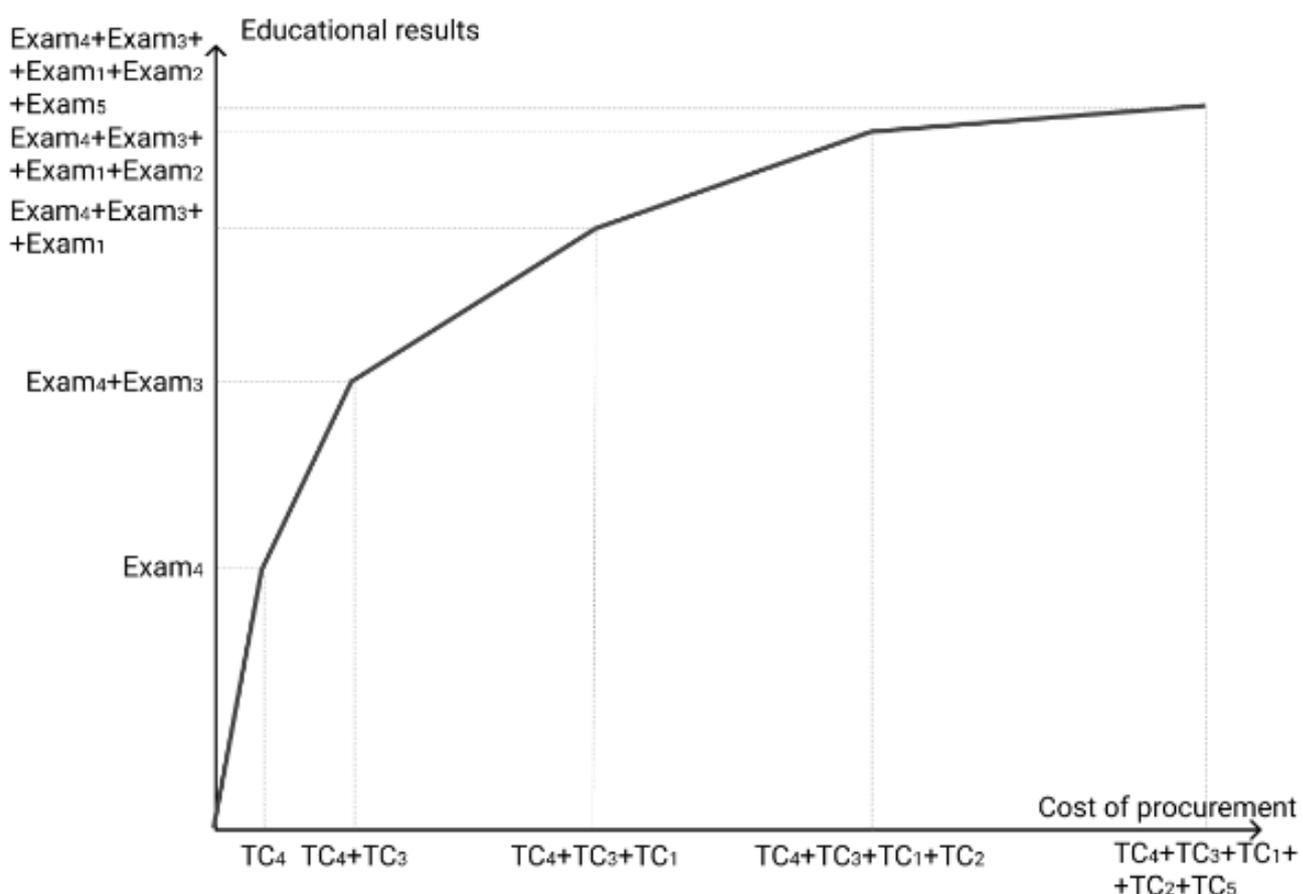


Рисунок 11 – График зависимости полезности закупки оборудования от затрат в рамках механизма «затраты-эффект»

На основе данного графика можно определить необходимые затраты на оборудования для достижения образовательного результата.

Механизм стимулирования в поставках оборудования [51, 52, 53, 54]

Механизмы стимулирования являются важными в рамках организации поставок в связи с необходимостью поставщиком выполнения сроков [48], а также

соответствия товара заявленному качеству и количеству, выполнения условий контракта на поставку. В первую очередь, в рамках поставок оборудования имеют место так называемые механизмы стимулирования за индивидуальные результаты [55]. Если поставщик выполнил условия, или даже перевыполнил, он получает премию, в противном случае штраф. В рамках механизма стимулирования образовательное учреждение максимизирует свои образовательные результаты, а поставщик прибыль.

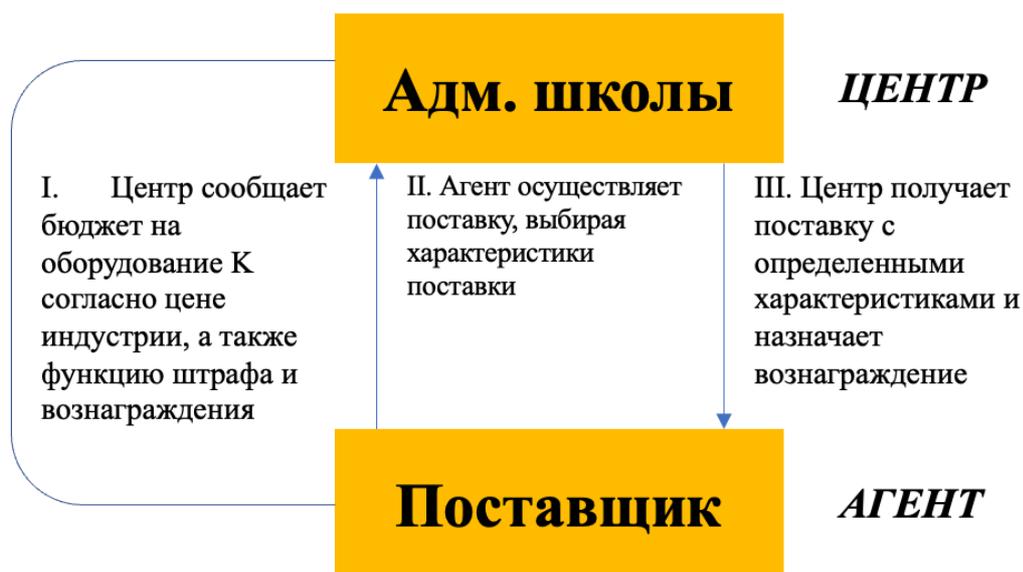


Рисунок 12 – Порядок функционирования механизма стимулирования в случае поставки оборудования

Центр может определять свою собственную стратегию $\sigma \in M$, то есть определенную функцию σ штрафов и поощрений, которые накладываются на агента в зависимости от выполнения условий контракта (M – допустимое множество стратегий, $\sigma: Y \rightarrow R$, где Y – допустимое множество действий агента по поставке оборудования [51]).

Функция полезности общеобразовательной организации от поставки будет выражаться как образовательный результат следующим образом (2):

$$U(y) = \Phi(y) - i(\sigma(y)) \quad (2)$$

где $\Phi(y)$ – функция образовательного результата, который приносит действие поставщика при поставке оборудования школе, а $i(\sigma(y))$ – функция от затрат

учреждения на поставку оборудования, которая обозначает альтернативные издержки образовательного результата организации от траты бюджета на данную закупку.

Целевая функция агента поставщика выражается в финансовом эквиваленте и является прибылью (3):

$$u(y) = \sigma(y) - c(y) \quad (3)$$

где $c(y)$ – функция издержек агента по принятию решения y .

Выдвинем следующие гипотезы:

- Множество Y представляет из себя положительную полуось. Если $y = 0$, то значения всех функций U, Φ, i, u, σ, c от y равны 0 (Положительность Y и его непрерывность объясняется тем, что Y представляет из себя факторы поставки: время поставки, качество поставленной продукции, объем поставки и иные непрерывные положительные величины (объем поставки в данной модели непрерывен));
- Функция издержек непрерывна, не убывает и положительна;
- Функция дохода центра непрерывна, принимает неотрицательные значения и доход центра достигает максимума при ненулевых действиях агента;
- Значение вознаграждения, выплачиваемого центром агенту, неотрицательно (Школа не может штрафовать агента, хотя его прибыль формально может быть отрицательной (например, если качество поставки совсем отвратительное и поставщик должен возместить большие издержки));
- Гипотеза благожелательности: если есть несколько вариантов, максимизирующих $u(y)$, то агент выберет тот из них, который дает большее значение целевой функции центра.

Предположим, что в нашей модели присутствует абсолютная информированность агента и центра, как о виде функций друг друга, так и о принятых решениях, а также о допустимых значениях функций и аргументов. Центр в рамках данной игры действует первым, назначая свою функцию штрафов и поощрений σ .

Множество действий поставщика, доставляющих максимум его целевой функции (и, естественно, зависящее от функции стимулирования), называется множеством решений игры (3):

$$P(\sigma) = \mathit{Arg} \max_{y \in Y} u(y) \quad (4)$$

Зная, как будет действовать и какое решение примет агент, центр может выдвинуть свое предложение по значению результирующей функции.

Тогда эффективность системы будет измеряться как максимальное значение целевой функции центра с учетом выбора агента (5):

$$K(\sigma) = \max_{y \in P(\sigma)} U(y) \quad (5)$$

Предположим, что начинается торг о поставке. Школа говорит поставщикам, что ей необходимо поставить оборудование по условиям y' и с функцией штрафов и поощрений σ' ($\sigma'(y), y'$). Агент будет принимать решение, исходя из того, что система стимулирования согласована с поставщиком (то есть при y' значение функции полезности поставщика будет максимальным). Также поставщик будет смотреть на другие предложения на рынке и выбирать наиболее выгодное из них.

Предположим, что использовалась система стимулирования $\sigma'(y)$, при которой агент выбирал действие $x \in P(\sigma')$. Возьмем другую систему стимулирования σ , которая будет равна нулю всюду кроме точки x , и будет равна старой системе стимулирования в точке x :

$$\sigma(y) = \begin{cases} \sigma'(x), & y = x \\ 0, & \text{во всех остальных случаях} \end{cases} \quad (6)$$

Введем функцию V от аргумента $\Phi(y)$, смысл которой – финансовый эквивалент, минимальная сумма, которую школа могла бы потратить на любую из иных опций, и получить значение функции образовательного результата $\Phi(y)$.

Приведем формальное доказательство этого утверждения. Условие того, что выбор действия x доставляет максимум целевой функции агента при использовании системы стимулирования σ' , можно записать в следующем виде (7):

$$\forall y \sigma'(x) - c(x) \geq \sigma'(y) - c(y) \quad (7)$$

Разность между стимулированием и затратами будет не меньше, чем при выборе любого другого действия.

Если оптимальная система σ' меняется на систему σ , то в точке x высказывание верно. Во всех остальных точках выполняется:

$\forall y \sigma'(x) - c(x) \geq 0 - c(y)$, что является верным неравенством. Следовательно, $x \in P(\sigma)$.

Рассмотрим на рисунке 13 процесс количественного решения задачи нахождения оптимума. Пусть есть возрастающая функция издержек $c(y)$ поставщика оборудования, а также возрастающая функция «дохода» организации. Пространство торга и обсуждения между ОО и поставщиками находится в заштрихованной области и оптимальное значение будет как раз находится там, где расстояние между значениями двух функций будет максимальным. В реальной жизни данная задача может быть решена количественными методами с помощью методов динамического программирования.

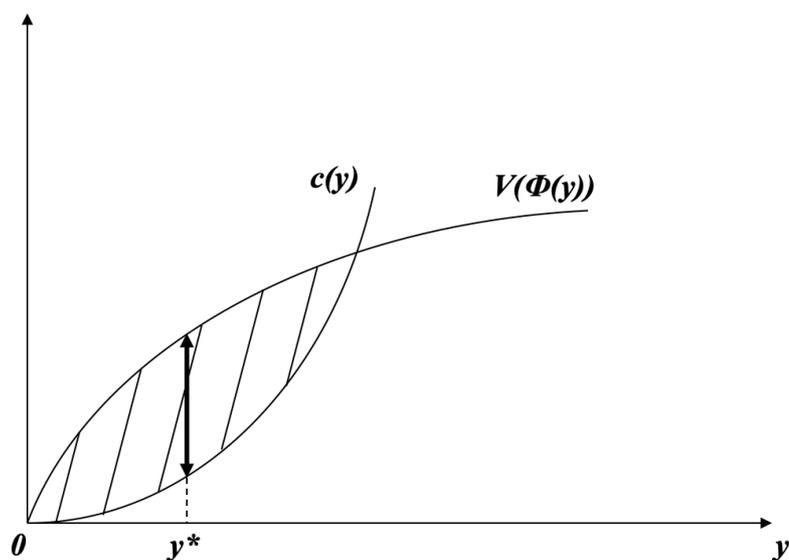


Рисунок 13 – Решение задачи стимулирования для взаимоотношений «образовательная организация -поставщики»

Так как центр стремится минимизировать выплаты агенту, при условии, что последний выбирает требуемое действие, оптимальная точка в рамках гипотезы о значении целевой функции должна лежать на нижней границе области компромисса, то есть стимулирование в точности должно равняться сумме затрат

агента и резервной полезности. Этот важный вывод получил название «принцип компенсации затрат». В соответствии с этим принципом, для того чтобы побудить агента выбрать определенное действие, центру достаточно, помимо резервной полезности, компенсировать затраты агента.

Несмотря на то, что этот механизм является наиболее эффективным для школ, в реальности он почти не используется в силу нормативных ограничений. Либо контракт полностью выполнен, и поставщик получает деньги, либо поставщик получает ничего. Данные системы стимулирования называются скачкообразными (С-типа).

$$\sigma(x, y) = \begin{cases} C, & y \geq x \\ 0, & y < x \end{cases} \quad (8)$$

Параметр x называется планом поставки.

Важно, что подавляющее большинство закупок школ осуществляется по 223 и 44 Федеральному законам через процедуру государственных закупок, которая подразумевает конкурс.

Конкурсный механизм в поставках оборудования [48, 57, 58]

По результатам работы было выявлено, что существует три способа приобретения оборудования. Закупка ОО осуществляется либо по согласованию с Департаментом образования муниципалитета, которому подчиняется общеобразовательная организация (процедура закупок I), либо по согласованию с департаментом и тендерным комитетом (на базе контролирующего финансового органа) (процедура закупок II). Если объем закупки невелик (обычно в районе 300-400 тысяч рублей), ее можно осуществить напрямую [58, 59].

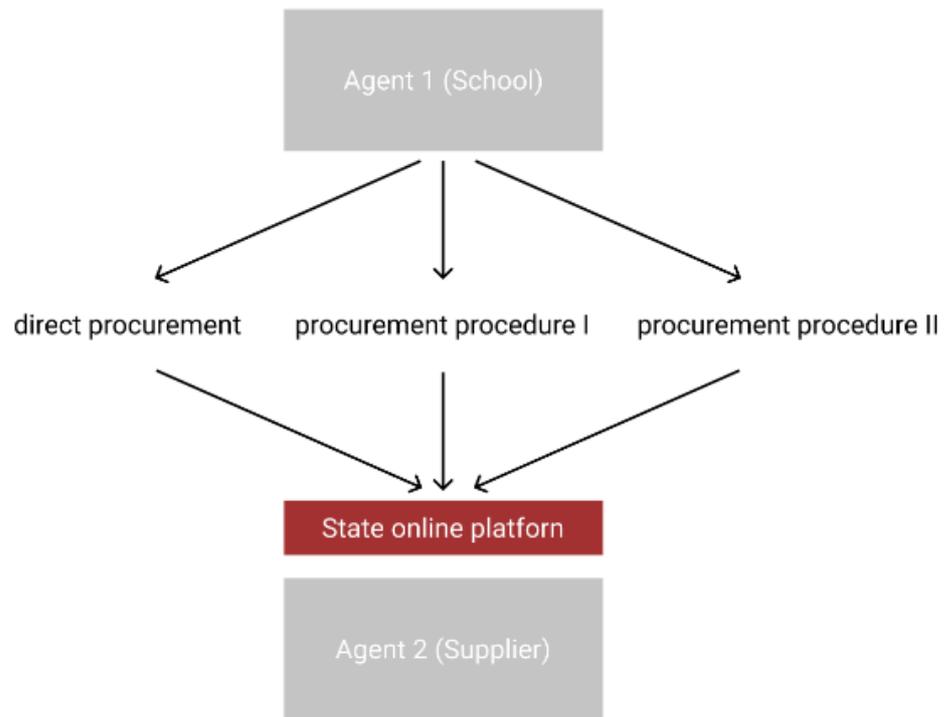


Рисунок 14 – Процесс проведения государственных закупок в общеобразовательной организации

Обе процедуры закупок, как в случае I, так и в случае II, подразумевают проведение конкурса, в котором участвуют представители тендерного комитета или муниципалитета.

Суть любого конкурса сводится к следующему [48]: каждый из конкурсантов представляет свое коммерческое предложение и предложение по поставке оборудования и его характеристикам. Конкурсная комиссия оценивает социальный эффект (в основном подтвержденный экспертизой) каждой из опции и сверяет с тратами на данную опцию. Далее все участники ранжируются по убыванию эффективности, и выбирается победитель. Базово, в случае государственных закупок осуществляется аукцион первой цены с закрытой информацией о ставке или полноценный конкурс по характеристикам с фиксированной ценой закупки.

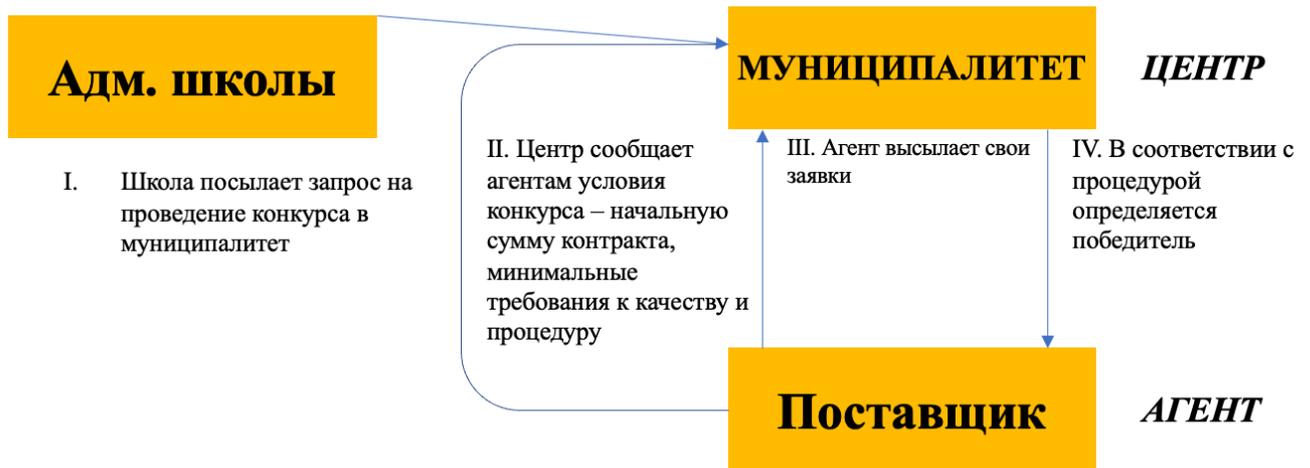


Рисунок 15 – Порядок функционирования конкурсного механизма в случае поставки оборудования

Рассмотрим случай непрерывного конкурса, так как, если поставщик получит меньше финансирования за поставку, чем положено в рамках контракта, он может все равно получить положительную прибыль и контракт может быть реализован.

Пусть в закупке участвует N поставщиков, индекс поставщика $i = 1 \dots N$.

Общеобразовательная организация объявляет конкурс на поставку оборудования. Поставщик i заявляет, что готов поставить оборудование с удельным эффектом (эффективностью) на образовательный результат равным $r_i = \frac{w_i}{x_i}$ и с затратами x_i . Упорядочим агентов-поставщиков по порядку убывания эффективностей $r_1 \geq \dots \geq r_N$.

Важно, что агенты-поставщики могут дать несоответствующее правде видение своего влияния на образовательные результаты, поэтому вводится штрафная система, пропорциональная разнице реального и заявляемого влияния на образовательный результат (6):

$$\gamma_i = \alpha(w_i - \varphi(x_i)), \alpha > 0 \quad (9)$$

Целевая функция агента-поставщика будет выглядеть следующим образом (10):

$$u_i(\varphi_i, r_i) = \mu\varphi(x_i) - \alpha(w_i - \varphi(x_i)) \quad (10)$$

$\mu\varphi(x_i)$ – доход агента, штраф действует, если $w_i > \varphi(x_i)$.

Бюджет на определенную закупку, имеющийся в распоряжении центра, распределяется следующим образом: первый агент (агент, имеющий максимальную эффективность) получает ресурс в запрашиваемом объеме. Центр раздает ресурс в требуемом объеме в порядке убывания эффективностей до тех пор, пока не закончится ресурс. Агенты, получившие ресурс в полном объеме, называются победителями конкурса и осуществляют поставку.

Механизм оптимизации сети поставок в поставках оборудования [48]

Механизм оптимизации сети поставок является актуальным для образовательных учреждений, поскольку очень часто для оснащения общеобразовательной организации необходимо выбрать нужных поставщиков с наименьшей ценой поставки.

Сеть поставок – это совокупность путей, по которым сырье и готовая продукция перемещаются от мест производства или закупок до точек реализации покупателям, проходя через промежуточные точки – склады и перевалочные пункты. Механизмы оптимизации сетей поставок применяются на этапе среднесрочного планирования материальных потоков. Они позволяют согласованно и оптимально распределить потоки готовой продукции по рынкам сбыта, найти наиболее выгодные источники и маршруты дистрибуции, определить среднесрочные планы производства, запланировать источники и методы доставки сырья, определить рациональную стратегию работы со складами [60].

Порядок функционирования механизма выглядит следующим образом:

1. Центр собирает от подразделений исходные данные на горизонт планирования.
2. Центр составляет планы продаж, производства и закупок исходя из имеющихся ограничений.
3. Подразделения выполняют планы.

Сложность оптимизации сетей поставки состоит в необходимости учета огромного числа факторов и ограничений. Изменение всего одного параметра сети может привести к необходимости перераспределения многих материальных

потоков (см. примеры ниже), а расчет каждого варианта включает в себя большое количество рутинных операций и потому очень трудоемок. Вручную эксперт-экономист может рассчитать лишь несколько сценариев. Гарантировать максимальную эффективность можно только применением вычислительных систем анализа данных (в том числе, систем SCP и SNO) [61]. Однако, поскольку планирование крупных сетей включает в себя, в том числе, и множество слабо формализуемых ограничений, автоматизировать оптимизационное планирование полностью, от начала и до конца, удастся редко.

Обычно процедура планирования сети поставки представляет собой автоматизированный многоитерационный процесс, включающий в себя как автоматические, так и «ручные» процедуры.

Алгоритм применения механизма в реалиях образовательной организации выглядит следующим образом:

1. Эксперт собирает исходные данные по ценам и объемам возможных поставок, корректирует структуру и ограничения транспортной сети. При сценарном моделировании он определяет параметры сценариев развития ситуации.

2. Эксперт вводит в автоматизированную систему параметры для одного из вариантов расчета (например, сценария) – минимальные и максимальные объемы закупки, образовательного процесса и транспортировки, цены закупок и образовательного процесса, тарифы на транспортировку, нормативы прочих расходов, текущие остатки. Также он задает количество и продолжительность периодов планирования.

3. Автоматизированная система производит оптимизацию уровня образовательного процесса выбором материальных потоков. При этом обычно применяются точные алгоритмы линейной оптимизации или эвристические алгоритмы смешанной оптимизации для учета партионности и других нелинейных ограничений.

4. Эксперт-экономист определяет допустимость полученных материальных потоков, выявляет недостающие ограничения и вносит их в систему. При необходимости проверка допустимости решения может производиться в

распределенном режиме в подразделениях. После корректировки ограничений повторяется шаг 3. Если новых ограничений не выявлено, осуществляется переход к шагу 5.

5. Эксперт фиксирует план и его финансовые параметры, а затем переходит на шаг 2 для расчета другого варианта сети.

6. Результаты расчетов сравниваются. Из них выбирается наиболее предпочтительный или предлагаются новые варианты. В первом случае переходим на шаг 7, в последнем – на шаг 1.

7. Центр утверждает окончательные планы образовательного процесса, закупок и транспортировки и доводит их до сотрудников организации.

Механизм активной экспертизы в поставках оборудования [48, 62, 63]

Механизм активной экспертизы применим в рамках процесса государственной закупки, когда внутренняя комиссия контролирующего органа проводит анализ целесообразности закупки и проверяет ее цену и эффект на образовательный результат. Данная процедура и механизм актуальны для проведения закупки по Федеральному закону № 44 [58]. Чаще всего, механизм активной экспертизы используется вместе с конкурсным механизмом. Согласно вышеописанному конкурсному механизму, поставщик j заявляет, что готов поставить оборудование с удельным эффектом (эффективностью) на образовательный результат равным $r_i = \frac{w_i}{x_i}$ и с затратами x_i . Образовательный результат r_i , который несет в себе поставка определенного типа оборудования, и является объектом экспертизы, по итогам которой принимается решение.

Важно, что эксперты могут искажать информацию в соответствии с собственными интересами, именно поэтому механизм экспертизы называется активным.

Пусть имеются n экспертов, оценивающих участников закупки в конкурсном механизме по скалярной шкале. Каждый эксперт сообщает оценку о поставщике i $0 \leq s_{ij} \leq D, j = 1 \dots n$, где D – максимально возможная оценка о каждом из

участников закупки. Итоговая оценка $r = \pi(s)$; $r_i = r_i(s_{i1}, s_{i2}, \dots, s_{ij}, \dots, s_{in})$ является функцией от оценок каждого из экспертов. Обозначим за p_{ij} истинное мнение некоего эксперта j об поставке i .

Предположим, что процедура $\pi(s)$ формирования итоговой оценки о каждой из поставок является строго возрастающей непрерывной функцией, удовлетворяющей условию единогласия:

$$\forall a \in [0; D] \forall i = 1 \dots N \quad r_i(a, a, \dots, a) = a \quad (11)$$

Обычно предполагается, что эксперты дают оценку о каждом поставщике честно. Тогда аналогично пункту о конкурсном механизме выбираются поставщики с максимальной эффективностью, и закупка осуществляется. Однако бывает, что эксперт заинтересован в том, чтобы результат экспертизы определенного поставщика был как можно ближе к его мнению. Представим, что у нас есть поставщик, результаты которого эксперт хотел бы приблизить к своим. Возможно ли это?

Пусть этот поставщик $i = I$. Предположим, что определенный эксперт заинтересован в том, чтобы результат экспертизы R_I был максимально близок к его мнению r_{ij} , то есть примем в качестве целевой функции j -го эксперта (12):

$$f_j(R_I, r_{ij}) = -|R_I - r_{ij}| \quad (12)$$

$$j = 1 \dots n$$

При этом эксперт будет сообщать оценку s_{ij} , доставляющую минимум функции $|R_I(s_{i1}, s_{i2}, \dots, s_{ij}, \dots, s_{in}) - r_{ij}|$.

Важно также отметить вывод, представленный в работе «Теория управления организационными системами» [51], что для любого механизма экспертизы можно построить эквивалентный прямой механизм, в котором сообщение достоверной информации является равновесием Нэша. Этот результат позволяет говорить, что если центр заинтересован в получении достоверной информации от агентов, то он может этого добиться, используя неманипулируемый прямой механизм.

Механизмы управления при работе с кадровым составом школ

Выше в рамках данной работы было достаточно детально описано применение механизмов управления при проведении закупок образовательного оборудования. Однако, как показывает декомпозиция целей директоров школ на рис. 16, важным элементом управления ОО является работа с педагогическим составом (блок «Кадры»). Именно учитель является носителем знаний, которые передаются будущему поколению, является ключевым агентом, который реализует образовательный процесс и на который необходимо тратить ресурсы внутри организации (это также будет продемонстрировано на реальных данных ниже в рамках данной работы).

В рамках проведенного в данной работе интервью было выявлено [49], что одной из целей директора является обеспечение общеобразовательной организации базовым образовательным составом, а также дополнительным образовательным составом (временные работники: педагоги кружков, приглашенные лекторы и так далее). Базово, механизм управления кадрами, их поиска, мотивации, обеспечения оплаты как в случае основного состава организации, так и дополнительного, остается схожим. В рамках дальнейшего проведения декомпозиции целей, рассмотрим, какие механизмы управления являются приоритетными с точки зрения работы с кадрами в общеобразовательной организации.



Рисунок 16 – Механизмы управления, применяемые для управления педагогическим коллективом

Применение механизма затраты-эффект для управления педагогическим коллективом отличается от применения для закупок материального обеспечения тем, что выбираются не поставщики оборудования, а отдельные педагоги, обладающие определенным влиянием на образовательные результаты и заработной платой. Аналогично механизм стимулирования за индивидуальные результаты чаще всего применяется для премирования учителей, и педагоги имеют начальный безусловный базовый доход (то есть значение функции штрафов и вознаграждений имеет базовое значение в размере базовой зарплаты вместо 0).

Механизм стимулирования за коллективные результаты в управлении педагогическим коллективом

Для управления педагогическим коллективом помимо механизма стимулирования за образовательные результаты часто применяется механизм стимулирования за коллективные результаты [48]. Данный механизм применяется, когда директор общеобразовательной организации не может разделить достижения организации и определить индивидуальный вклад каждого. Это часто случается со средним образовательным результатом организации, так как он является единой метрикой, по которой общеобразовательная организация отчитывается в вышестоящие органы. При этом вклад каждого педагога померять сложно. Например, есть предметы, по которым дети не сдают экзаменов (астрономия, экономика, физкультура), и влияние данных предметов на результаты экзаменов не является значительным.

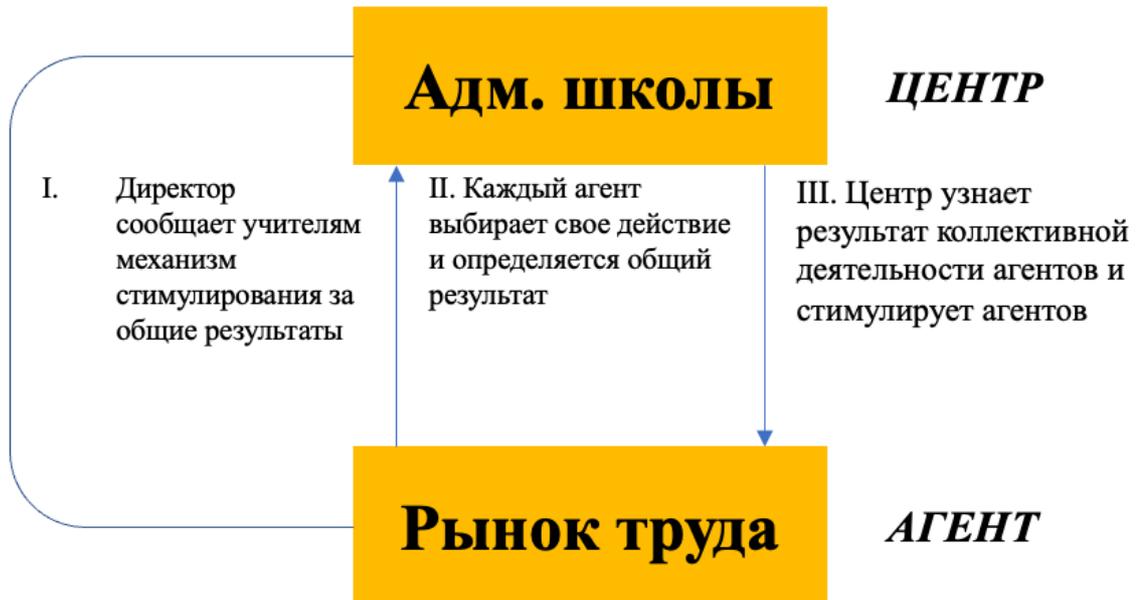


Рисунок 17 – Порядок функционирования механизма стимулирования педагогов за коллективный результат

Итоговый результат деятельности общеобразовательные организации $z \in Q(A)$, $Q(A)$ множество всех возможных результатов. Система состоит из n педагогов. z является функцией всех действий y у всех n педагогов: $z = Q(y)$.

Функция полезности общеобразовательные организации (в лице директора) – это итоговый образовательный результат. Пусть есть непрерывная возрастающая функция $H(Edu(z)) = H(z)$, которая является функцией от образовательного результата и которая линейно зависит от него и фактически означает минимальный бюджет, который нужно потратить для достижения единицы образовательного результата, выбирая среди всех альтернатив по тратам средств, которые предоставлены ОО.

Функция полезности общеобразовательной организации, выраженная в финансовом выражении, будет выглядеть следующим образом (13):

$$U(\sigma, z) = H(z) - \sum_i \sigma_i(z) \quad (13)$$

где σ - средства, потраченные на стимулирование каждого i -го педагога.

Целевая функция каждого из педагогов выражается следующим образом (14):

$$u_i(\sigma_i, z) = \sigma_i(z) - c_i(y) \quad (14)$$

$i = 1 \dots n$, $c_i(y)$ – функция издержек каждого из педагогов (времени, усилий), выраженная в денежном эквиваленте.

Эффективностью является максимальное значение функции полезности общеобразовательной организации на всем пространстве выбора систем стимулирования (15):

$$K(\sigma) = \max_{y \in P(\sigma)} U(\sigma, Q(y)) \quad (15)$$

Задачей ОО является как раз поиск такой системы поощрения, когда функция полезности максимальна и достигается эффективность.

Множество векторов действий агентов, приводящих к заданному результату z , выражается следующим образом (16):

$$Y(z) = \{y \in A | Q(y) = z\} \subseteq A \quad (16)$$

Минимальные затраты центра на стимулирование реализации вектора действий равны суммарным затратам агентов $\sum_i c_i(y)$.

Вычислим минимальные суммарные затраты агентов по достижению результата деятельности z (17):

$$\vartheta(z) = \min_{y \in Y(z)} \sum_i c_i(y) \quad (17)$$

Выразим множество действий, на котором достигается минимум (14):

$$Y^*(z) = \text{Arg} \min_{y \in Y(z)} \sum_i c_i(y) \quad (18)$$

Зафиксируем произвольный результат деятельности $x^* \in A$ и произвольный вектор действий $y^* \in Y^*(x)$.

Сделаем предположение, что $\forall x \in A \forall y' \in Y \forall y_i \in \text{Proj}_i Y(x) c_j(y_i, y'_i)$ не убывает по y_i . Это логичное предположение, так как, чем больше действий совершает педагог, тем больше ресурсов он тратит.

В рамках данного предположения верно, что при использовании директором системы поощрения:

$$\sigma_{ix}^* = \begin{cases} c_i(y^*) + \delta_i \\ 0, z \neq x \end{cases} \quad (19)$$

вектор действий педагогов y^* реализуется как единственное равновесие с минимальными затратами общеобразовательной организации на стимулирование

равными $\vartheta(x) + \delta$. Система является оптимальной. Следующим шагом находим наиболее выгодный для центра результат деятельности x^* как решение задачи оптимального согласованного планирования (20):

$$x^* = \mathop{\text{arg max}}_x (H(x) - \vartheta(x)) \quad (20)$$

Механизм последовательного распределения ресурсов в управлении педагогическим коллективом [48, 64]

Механизм последовательного распределения ресурсов может быть применен, например, для распределения бюджета между подразделениями общеобразовательной организации (предметные кафедры) с целью повышения эффективности данного распределения и повышения образовательного результата, если подразделения дают директору информацию о своих финансовых потребностях.

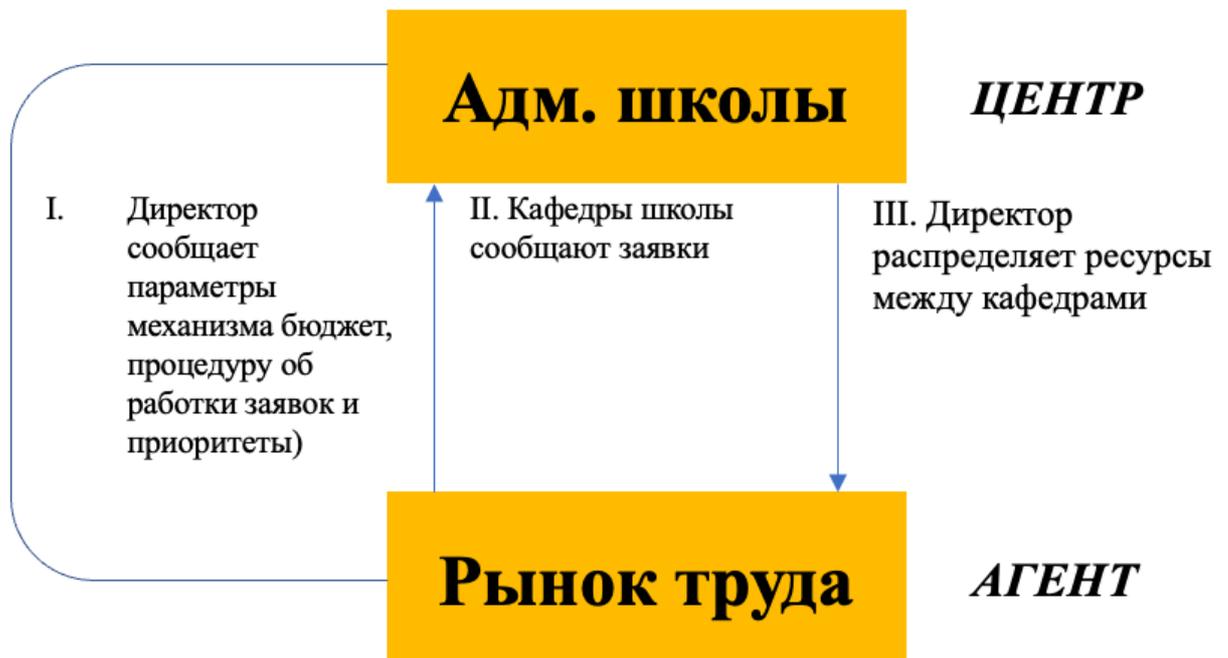


Рисунок 18 – Порядок функционирования механизма последовательного распределения ресурсов в рамках работы с учителями

Рассмотрим механизм распределения ресурсов $\pi(s)$, который обладает следующими свойствами:

- 1) процедура планирования непрерывна и монотонна по сообщениям агентов (монотонность означает, что чем больше просит агент ресурса, тем больше он его получает);
- 2) если агент получил некоторое количество ресурса, то он может, изменяя свою заявку, получить и любое меньшее количество ресурса;
- 3) если количество ресурса, распределяемое между группой агентов, увеличилось, то каждый из агентов этой группы получит не меньшее количество ресурсов, чем раньше.

Целевая функция агента $f(x_i, r_i)$ зависит от типа r_i данного агента, который в случае механизмов распределения ресурса будет рассматриваться как оптимальное количество ресурса для данного агента, и количества полученного ресурса x_i .

Допустим, что целевая функция агента имеет единственный максимум по x_i в точке пика (однопиковая функция). То есть агенту нужно некоторое количество ресурса, если ему недодают ресурса – его полезность при этом меньше, если ему дают лишний ресурс – его полезность тоже меньше.

В приоритетных механизмах распределения ресурса, как следует из их названия, при формировании планов (решении о том, сколько ресурса выделить тому или иному агенту) в существенной степени используются показатели приоритета кафедр-агентов. Приоритетные механизмы в общем случае описываются следующей процедурой:

$$x_i(s) = \begin{cases} s_i, & \text{если } \sum_{j=1}^n s_j \leq R \\ \min(s_i, \gamma \eta_i(s_i)), & \text{если } \sum_{j=1}^n s_j > R \end{cases}, \quad (21)$$

где n – число агентов, s_i – их заявки, x_i – выделяемые количества ресурса, R – распределяемое количество ресурса, γ – некоторый параметр, η – функции приоритета агентов. Параметр γ выбирается из условия выполнения бюджетного ограничения (22):

$$\sum_{i=1}^n \min(s_i, \gamma \eta_i(s_i)) = R \quad (22)$$

Операция взятия минимума содержательно означает, что агент получает ресурс в количестве, не большем запрошенной величины. В рамках распределения

внутри организации чаще всего встречается механизм прямых приоритетов, в которых $\eta_i(s_i)$ является возрастающей функцией от аргумента. Подвидом механизма прямых приоритетов является механизм последовательного распределения.

Механизмы последовательного распределения ресурса заключаются в следующем. Это – прямой механизм, то есть имеется в виду, что каждого агента спрашивают о том, сколько ресурса ему нужно. Предположим, что кафедры передали свои сообщения директору. Упорядочим их по возрастанию сообщений (первый попросил меньше всех ресурса, потом второй и так далее): $r'_1 \leq r'_2 \leq \dots \leq r'_i \leq \dots \leq r'_n$.

Шаг 1. Если мы можем дать всем столько, сколько просила первая кафедра, раздаем всем кафедрам по r'_1 . Если не можем, распределяем ресурс между всеми агентами поровну и останавливаем алгоритм.

Шаг 2. Исключаем первую кафедру из рассмотрения и повторяем механизм.

Механизм комплексного оценивания в управлении педагогическим коллективом [23, 36]

Механизм комплексного оценивания применяется для сложных систем, когда необходимо оценить эффективность того или иного агента по целому ряду показателей [65]. Ярким примером является оценка результатов педагога с целью выплаты ему премии по множественным показателям: баллы его учеников, уровень его компетенций по тестам, число побед в конкурсах, средняя нагрузка в часах и так далее. Данный механизм позволяет свести все возможные критерии в единую картину и принять управленческое решение.

В первую очередь, для реализации необходимо составить дерево целей. Например, для оценки качества педагога в качестве цели можно выбрать «Общий уровень квалификации педагога». Чтобы достичь высокого среднего балла педагог должен хорошо знать свой предмет, иметь высокий уровень коммуникативных навыков. Уровень предметных знаний можно померять как средний балл квалификационных экзаменов, а также число и качество статей по направлению

предмета. Коммуникативные навыки можно измерить с помощью уровня психологического тестирования.

Для оценки педагога можем получить следующую модельную декомпозицию.



Рисунок 19 – Модельная декомпозиция целей для механизма комплексной оценки в рамках работы с педагогами

Введем для каждого из критериев (для каждой из вершин дерева целей) дискретную шкалу. Для выбранного нами примера возьмем шкалу, состоящую из четырех возможных оценок (1,2,3).

Теперь нам необходимо определить процедуру агрегирования оценок. Для этого необходима отдельная матрица $A = ||a(i,j)||$, где $a(i,j)$ – оценка по агрегированному критерию, где i и j – оценки факторов.

3	3	3	
К1	2	3	-> Уровень предметных знаний (К4)
	1	2	3
			К2

2	2	3	
К4	2	3	-> Средний уровень квалификации педагога
	1	1	1
			К3

Решения о весах в элементах матриц принимаются руководителем организации, при этом эти оценки могут проходить через экспертизу. Также, чаще всего, шкалы оценки являются монотонными, то есть при росте показателей (K)

должна расти и общая оценка. Матрицы свертки могут быть легко изменены в соответствии с новыми приоритетами, но с другой стороны, необходимо понимать, что процесс принятия решений в такой системе неизбежно субъективен и всегда нуждается в валидации и проверке.

Общее среднее образование является одним из ключевых элементов образовательной системы любой страны. Важность применения механизмов управления ОО заключается в том, что данные учреждения позволяют обеспечить эффективное функционирование общеобразовательных организаций и достижение поставленных целей. Выше продемонстрированные механизмы и их применение для сферы образования подчеркивает, что математический подход может иметь место для описания процессов управления школами.

Первый тип механизмов управления – это механизмы планирования. Общеобразовательные организации должны иметь четкие цели и стратегии для достижения этих целей. Планирование помогает определить ресурсы, необходимые для выполнения задач, а также обеспечивает контроль за выполнением плана. К числу механизмов управления данного типа, применяемых в ОО, можно отнести механизмы последовательного распределения ресурсов, активной экспертизы, конкурсный механизм.

Второй тип механизмов управления – это механизмы организации. Работа ОО включает в себя распределение ресурсов, формирование команды учителей и других сотрудников, а также создание системы отчетности. Организация помогает обеспечить эффективное использование ресурсов и достижение поставленных целей. В данной работе рассмотрены механизмы затраты-эффект (имеющий особое значение), оптимизации сети поставок.

Третий тип механизмов управления – это механизмы стимулирования, которые активно применяются в образовательном процессе. Такие вопросы, как повышение эффективности работы педагогов, соблюдение сроков, качественное выполнение работ описываются данными механизмами управления и активно применяются. Особенно большую роль в школьном образовании играют механизмы стимулирования за индивидуальный и коллективный результаты.

Последний рассмотренный механизм управления – это механизмы оценки и контроля. Контроль позволяет оценить эффективность работы общеобразовательной организации и выявить проблемы, которые необходимо решить. Контроль также помогает обеспечить соответствие работы учреждения стандартам качества образования. Часто контролирующими органами системы общего среднего образования используется механизм комплексного оценивания, который позволяет проанализировать результаты работы такого сложного механизма, как школа.

Общеобразовательная организация действительно является сложным механизмом, состоящим из большого числа различных центров и агентов, помимо директора, педагогов, поставщиков, участниками образовательного процесса, разумеется, являются родители и дети, вышестоящие органы, но рассмотрение влияния иных участников может являться темой отдельного большого исследования.

2.2. Модели взаимодействия общеобразовательных организаций и поставщиков материально-технического обеспечения в рамках государственной закупки отдельной продукции

На следующем этапе исследования был рассмотрен ряд моделей взаимодействия, которые регулярно имеют место в образовательных учреждениях при закупке продукции. Большая их часть является разновидностью базовой модели, представленной ниже.

Пусть имеется одна общеобразовательная организация и один поставщик, которые поставляют в школу x единиц продукции по цене p . Общеобразовательная организация закупает данную продукцию через конкурсный механизм или напрямую в зависимости от общей суммы закупки. Все закупки проходят через информационную систему сервиса государственных закупок [66]. Закупаемое

оборудование обладает неким коэффициентом качества q , а также имеет коэффициент средней полезности на потраченный рубль AU и функцию от затрат на оборудование g , которые переводят финансовые траты организации в образовательный результат (как было показано выше, именно образовательный результат является значением функции полезности OO).

1. Простая модель

x -количество товара

p -цена товара

AC -затраты на производство одной единицы нулевого качества

q -показатель качества продукции, $q \in [0..1]$

QC -коэффициент стоимости увеличения качества (в долях от затрат на производство), измеряется как стоимость самой дорогой и качественной продукции на рынке

AU -коэффициент полезности каждой отдельной единицы продукции для школы, связанный с образовательным результатом

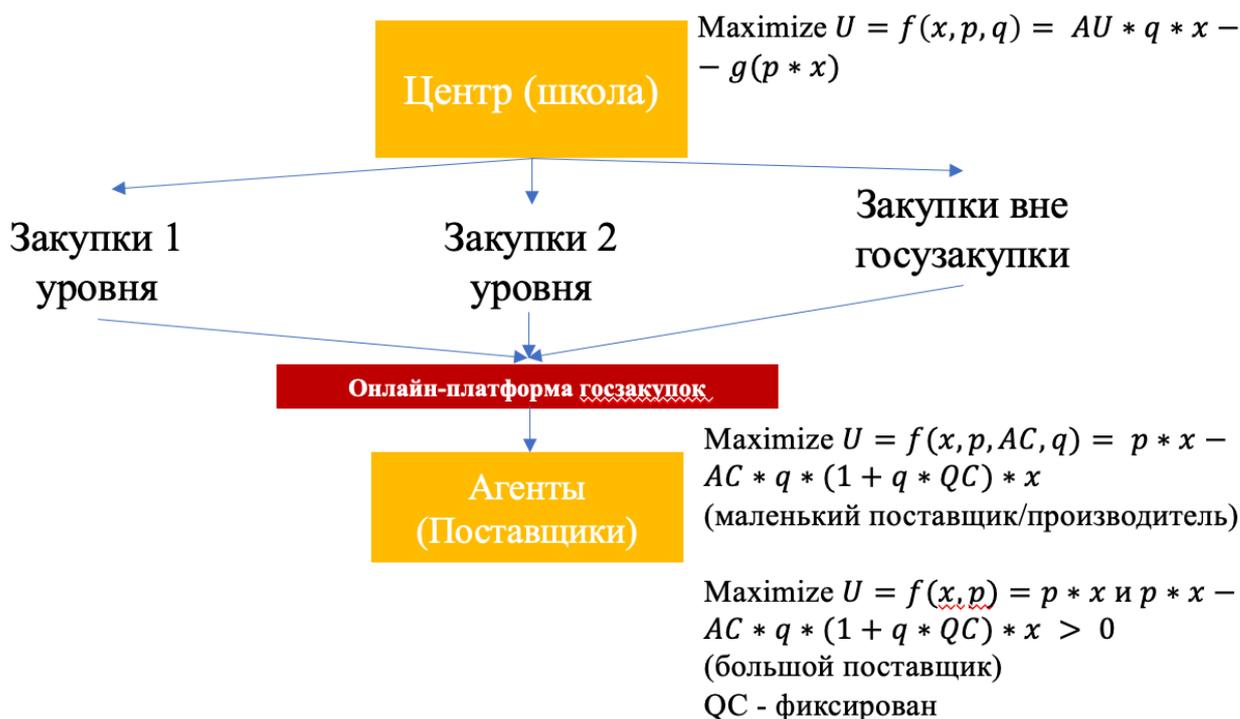


Рисунок 20 – Простая модель закупки МТО

Алгоритм закупки в простом случае выглядит следующим образом:

1. Общеобразовательная организация определяет p_{min} минимальную цену закупки ($p \geq p_{min}$), и минимальный уровень качества q_{min} ($q \geq q_{min}$);

2. Поставщик подбирает в зависимости от заданных ОО p_{min} и q_{min} , а также заданных AC и QC (извне) свой p и x ;
3. Общеобразовательная организация соглашается или отказывается от предложения p и x ;
4. Происходит обмен товара и денежных средств. Обмен товара на деньги мгновенен.

Отдельно отметим, что поставщик может максимизировать либо свою выручку, либо прибыль. Выручку чаще всего максимизируют крупные поставщики с годовой выручкой в районе 400-500 миллионов рублей и выше.

Разновидностью первой модели является модель, когда поставку полного объема продукции могут осуществить несколько поставщиков, является модель, представленная ниже. Алгоритм закупки отличается лишь тем, что на 4 шаге общеобразовательная организация определяет наиболее выгодное для нее предложение.

2. Конкуренция между поставщиками (поставка одним поставщиком полного объема)

x -количество товара

p -цена товара

AC -затраты на производство одной единицы нулевого качества

q -показатель качества продукции, $q \in [0..1]$

QC -коэффициент стоимости увеличения качества (в долях от затрат на производство),

измеряется как стоимость самой дорогой и качественной продукции на рынке

AU -коэффициент полезности каждой отдельной единицы продукции для школы, связанный с образовательным результатом

g – некая возрастающая функция

$$\text{Maximize } U = f(x, p, q) = AU * q * x - g(p * x)$$

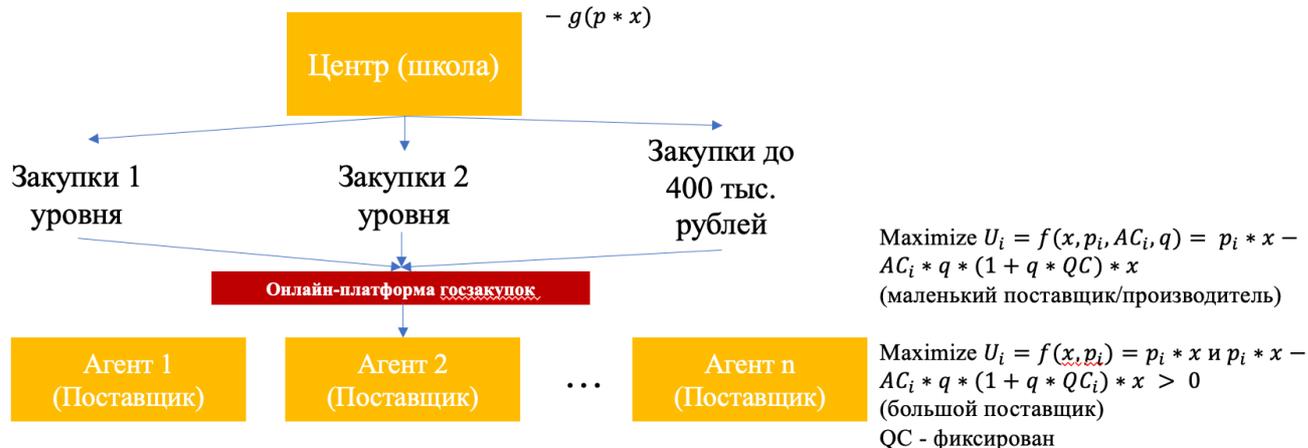


Рисунок 21 – Модель поставки одним поставщиком полного объема и конкуренции между поставщиками

Модифицируем данную модель. Так, поставщик, который выигрывает закупку, может закупить оборудование у субпоставщика, который либо имеет данное оборудование на складе, либо производит его сам. Чаще всего этот субпоставщик является относительно малой компанией, максимизирующей свою прибыль, а не выручку. Еще важно отметить, что количество поставщиков, которые борются за закупку, обычно ограничено (не более 6-7).

3. Конкуренция между поставщиками, выбранный агент индустрия может делать субподряд

x -количество товара

p -цена товара

AC -затраты на производство одной единицы нулевого качества

q -показатель качества продукции, $q \in [0,1]$

QC -коэффициент стоимости увеличения качества (в долях от затрат на производство),

измеряется как стоимость самой дорогой и качественной продукции на рынке

AU -коэффициент полезности каждой отдельной единицы продукции для школы, связанный с образовательным результатом

g - некая возрастающая функция

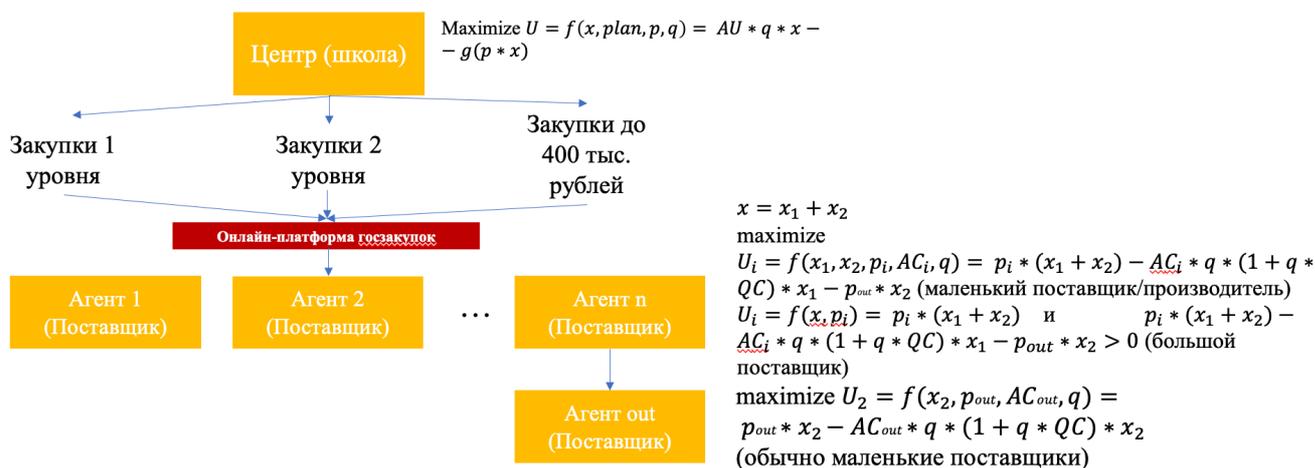


Рисунок 22 – Модель поставки одним поставщиком полного объема и конкуренции между поставщиками, когда поставщик может делать субподряд

Алгоритм закупки выглядит следующим образом:

1. Общеобразовательная организация определяет p_{min} закупки ($p_i \geq p_{min}$), q_{min} ($q \geq q_{min}$);
2. Поставщик определяет, может ли она производить продукцию с $q \geq q_{min}$;
3. Оставшиеся агенты-поставщики подбирают в зависимости от заданных p_{min} , а также заданных AC_i и QC (извне) свой p_i и x ($x = x_1 + x_2$);

4. Общеобразовательная организация рассматривает все оставшиеся предложения p_i и x и выбирает поставщика, предложившего условия, максимизирующие функцию полезности;
5. Победивший агент отдаёт на субподряд производство x_2 единиц продукции;
6. Обмен товара на деньги мгновенен [67].

Разновидностью моделей 1-3 может являться модель, когда общеобразовательная организация закупает у одного поставщика сразу несколько различных позиций. Для простоты, представим измененную модель для первого случая (простая модель). Процедура закупки будет выглядеть сходным, как в простой модели, образом.

4. Простая модель с закупкой нескольких позиций

x_k -количество каждого товара

p_k -цена каждого товара

AC_k -затраты на производство одной единицы каждого товара нулевого качества

q_k -показатель качества продукции, $q = [0..1]$

QC_k -коэффициент стоимости увеличения качества каждого товара (в долях от затрат на производство), измеряется как стоимость самой дорогой и качественной продукции на рынке

AU_k -коэффициент полезности каждой отдельной единицы продукции для школы, связанный с образовательным результатом

g –некая возрастающая функция

k - индекс товара

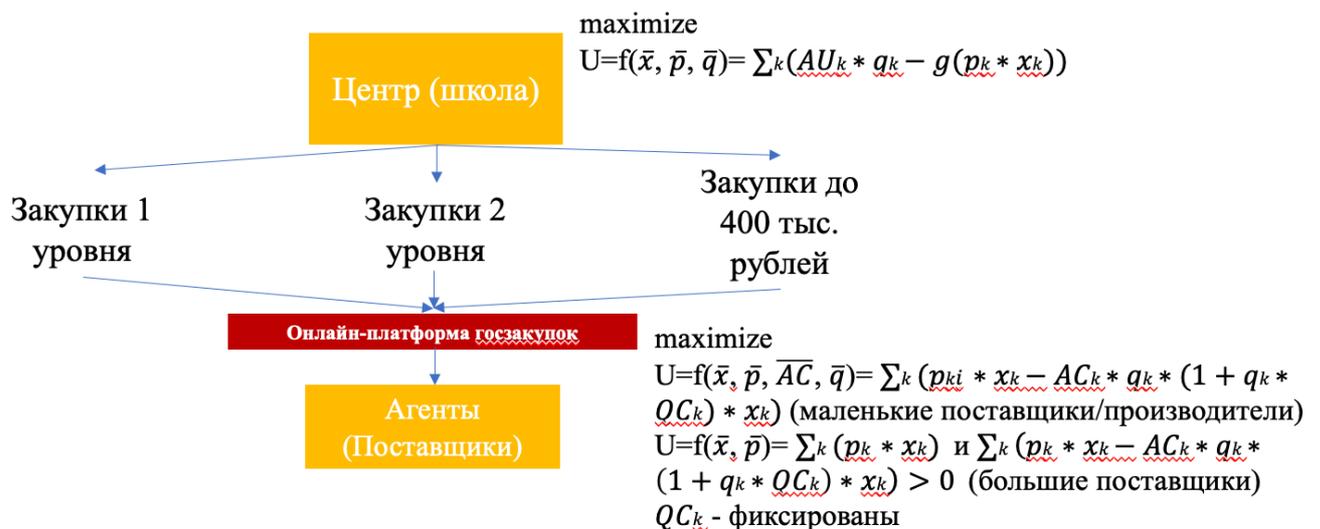


Рисунок 23 – Простая модель закупки с закупкой нескольких позиций у одного поставщика

В реалиях нормативного регулирования государственных закупок в РФ редко происходят случаи, когда поставщик получает средства вперед поставки. В некоторых случаях это возможно, например, в случае предоставления банковской гарантии и при высокой благонадежности поставщика. Однако чаще всего общеобразовательные организации не готовы на себя брать риски непоставки. Тогда работает единственная модель, связанная с тем, что ОО оплачивает средства в течение какого-то времени после поставки. Данная модель также связана с обязательствами поставщика перед сторонними организациями, так как если поставщик имеет высокий долг, который ему необходимо оплатить оперативно, он не сможет долго ждать поступления средств от организации.

Алгоритм закупки выглядит следующим образом:

1. Общеобразовательная организация определяет p_{min} закупки ($p \geq p_{min}$), q_{min} ($q \geq q_{min}$);
2. Поставщик подбирает в зависимости от заданных ОО q_{min} и p_{min} , а также заданных AC и QC (извне) свой p и x ;
3. Общеобразовательная организация соглашается или отказывается от предложения p и x ;
4. Поставка товара в школу;
5. Общеобразовательная организация в рамках нормативного механизма закупок выплачивает средства за товар с вероятностью $(1 - d)$ через время t .

5. Простая модель со «скрытым кредитованием»

x – количество товара
 p – цена товара
 AC – затраты на производство одной единицы нулевого качества
 q – показатель качества продукции, $q \in [0..1]$
 QC – коэффициент стоимости увеличения качества (в долях от затрат на производство), измеряется как стоимость самой дорогой и качественной продукции на рынке
 AU – коэффициент полезности каждой отдельной единицы продукции для школы, связанный с образовательным результатом
 g – некая возрастающая функция
 d – вероятность дефолта школы
 t – длительность выплаты средств
 $t_{def} = \sum_j t_j * debt_j / DEBT$ – среднее время дефолта индустрии (определяется как сумма взвешенных по долгу времен погашения долгов)

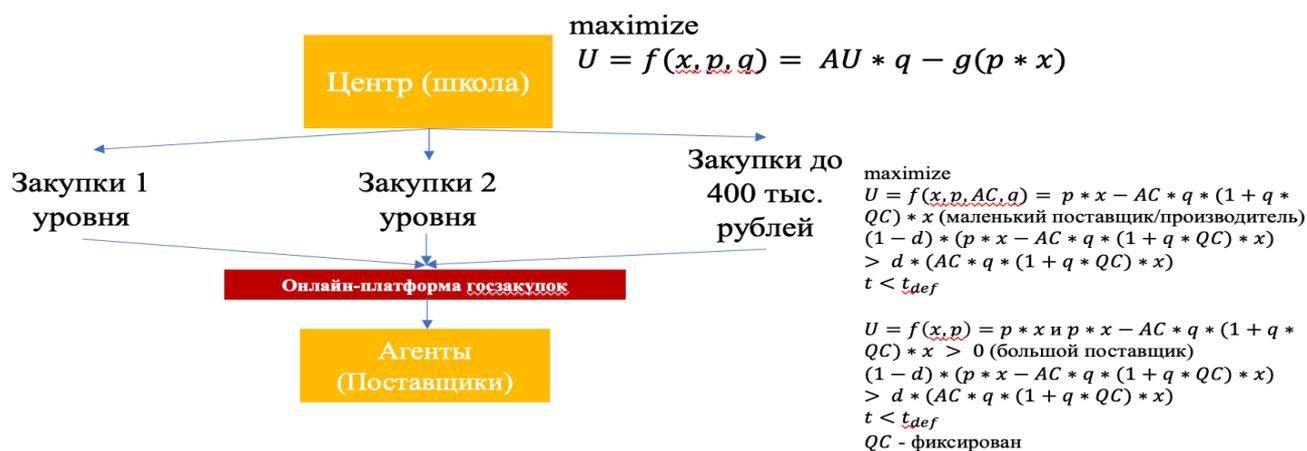


Рисунок 24 – Простая модель закупки с отложенным платежом за поставку

Общеобразовательная организация также не является «сферическим конем в вакууме» и существует в огромном числе нормативно-правовых ограничений, заданных регионом и муниципалитетом, федеральными министерствами промышленности и торговли, просвещения, иными министерствами и органами. Описать взаимодействие с этими структурами непросто, но зачастую можно задать ключевые граничные условия модели. В качестве примера представлена модель 6, которая описывает простую модель, но с влиянием различных органов на работу процедуры закупки.

6. Простая модель со «скрытым кредитованием» и контролем со стороны контрольно-ревизионной комиссии и определением желательного списка закупок со стороны выше стоящих органов

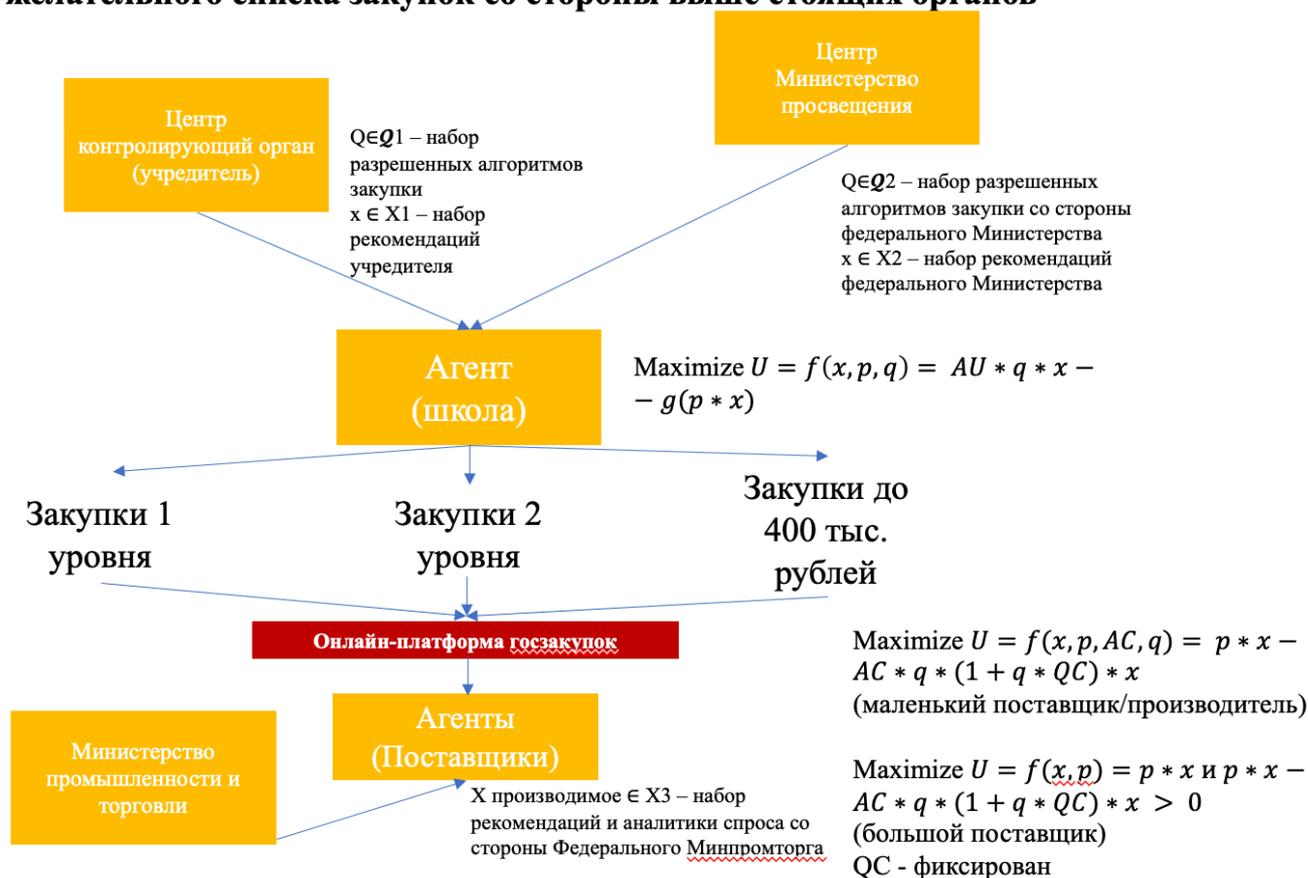


Рисунок 25 – Простая модель закупки с влиянием центров – вышестоящих органов

2.3. Процесс конкуренции поставщиков за закупку образовательного оборудования (случай полной неинформированности)

В системе общего образования процесс осуществления закупок, в частности, образовательного оборудования, подчинён ряду формализованных процедур и регулируется установленными нормами. Одной из характерных ситуаций, имеющей значительный интерес с точки зрения моделирования управленческих решений, является случай, когда поставщики функционируют в условиях полной

информационной закрытости относительно действий и предпочтений заказчика, которым выступает общеобразовательная организация.

На первом этапе данного процесса общеобразовательное учреждение, функционирующее в системе начального, основного или среднего общего образования, формирует и утверждает отчёт о результатах своей деятельности за прошедший финансовый год. На основании представленных сведений, а также с учётом общих параметров образовательной политики и нормативов финансирования, ему выделяется совокупный объём средств M , поступающий из различных источников – бюджета муниципального, регионального или федерального уровня, а также за счёт внебюджетных поступлений (пожертвований, грантов, доходов от приносящей доход деятельности и иных источников). При этом величина M в рамках предложенной модели рассматривается как экзогенная и фиксированная, то есть предопределённая и не подлежащая изменению в результате оптимизационных действий самой школы.

Получив обозначенный бюджет, образовательная организация переходит к этапу внутреннего распределения доступных ресурсов между ключевыми направлениями деятельности. Это включает определение пропорций между текущими затратами на оплату труда педагогических и административных кадров, расходами на содержание инфраструктуры, а также инвестициями в обновление или расширение материально-технической базы – в частности, закупку образовательного оборудования. Соответствующая задача формализуется как задача максимизации целевой (полезностной) функции $U = f(A, K, L)$, где A – объём средств, направляемых на приобретение учебных материалов и средств обучения; K – расходы на закупку образовательного оборудования; L – фонд оплаты труда и иные текущие издержки.

Все переменные выражаются в стоимостных показателях (в рублях), а функция U отражает интегральную оценку эффективности распределения ресурсов с точки зрения достижения образовательных целей.

Ранее были представлены различные варианты параметризации данной функции и показано, что при определённых условиях задачи максимизации имеют

устойчивое решение. Исходя из результатов данной процедуры, учреждение образования принимает решение о размере бюджетного лимита, который оно готово направить на закупку образовательного оборудования в текущем календарном году. Обозначим этот объём как K_0 , где $K_0 \subseteq M$, и зафиксируем его в качестве ключевого ориентировочного параметра для потенциальных поставщиков.

Информация о потребности и соответствующем бюджете закупки доводится до субъектов рынка – участников конкурсов, аукционов или иных форм контрактных процедур. При этом предполагается, что поставщики не обладают полной информацией о критериях выбора, предпочтениях учреждения и деталях конкурентной среды, что создаёт условия неопределённости и стратегической конкуренции на фоне асимметрии информации.

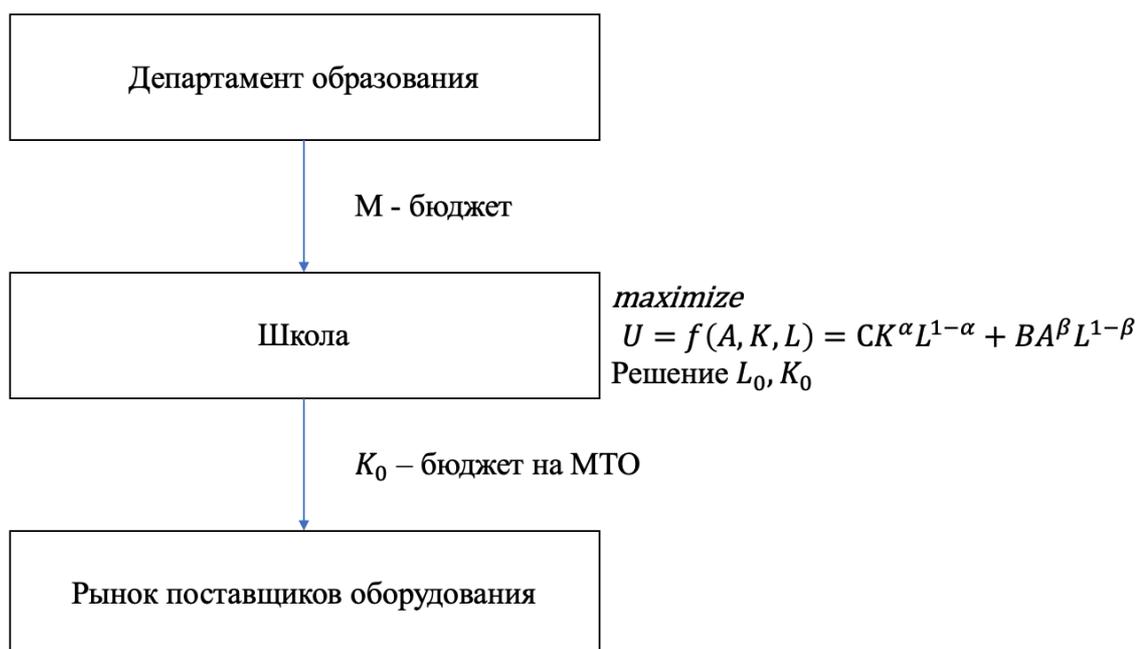


Рисунок 26 – Трехуровневая обобщенная схема распределения бюджетов на МТО

В рамках анализа конкурентных стратегий участников процесса государственных закупок в сфере образования целесообразно рассмотреть типовую модель взаимодействия между общеобразовательной организацией и потенциальными поставщиками материально-технических средств. Данная модель

описывает поведение компаний, ориентированных на извлечение прибыли, в условиях частичной информационной закрытости, что типично для формата закрытых аукционов, регулируемых контрактной системой.

Модель предполагает наличие группы компаний, каждая из которых стремится к максимизации собственного дохода, при этом каждая из них обладает общим представлением о форме целевой функции своих конкурентов. В рассматриваемой ситуации эта функция задана как модифицированная функция полезности, основанная на двойной форме производственной функции Кобба–Дугласа. Компании считают, что функциональный вид стратегии соперников им известен, однако конкретные параметры этой функции — такие как значения постоянных и переменных издержек, фактическая прибыль, а также ценовые параметры — остаются неизвестными. Следовательно, участники могут лишь строить вероятностные допущения о диапазоне конкурентных издержек: от предельно низких (вплоть до нулевых) до максимально возможных, соответствующих полной стоимости поставки оборудования без предоставления скидки.

Данный сценарий отражает реалии рынка закупок, при которых ни один из участников не обладает полной информацией о внутреннем устройстве бизнес-моделей конкурентов. Особенно часто подобная ситуация наблюдается в закрытых аукционах первой цены, где каждая компания самостоятельно формирует предложение, не зная при этом, какое ценовое решение будет принято другими. Таким образом, модель воспроизводит типичную логику поведения участников в рамках единого конкурсного механизма, например, при проведении электронных аукционов в Единой информационной системе в сфере закупок.

Ключевым допущением модели является предположение о том, что ОО принимает решение о разовой закупке всего объема необходимого образовательного оборудования в пределах утвержденного на текущий год бюджета K_0 . Это означает, что распределение средств на материально-техническое обеспечение не дробится на несколько процедур, а сосредоточено в

одном контракте, что усиливает конкуренцию между поставщиками и повышает значимость принимаемых ими стратегий ценообразования.

Механизм «затраты–эффект» служит инструментом тактического управления в процессе принятия решений о закупках и распределении ресурсов. Он позволяет согласовывать цели ОО с возможностями поставщиков, обеспечивая при этом достижение максимального образовательного результата при минимальных издержках. Ниже представлена многоуровневая таблица, описывающая логическую архитектуру данного механизма.

Таблица 6 – Многоуровневая модель механизма «затраты–эффект» в управлении закупками ОО

Этап	Подэтап	Цель	Метод	Модельный инструмент	Информация на входе	Выходной результат	Ответственный актор
I. Планирование	1.1 Определенные цели закупки	Формулировка задач школы	SWOT-анализ, логико-структурный подход	Матричная модель приоритетов	Требования ФГОС, заявка директора	Перечень приоритетных задач	Руководство школы
II. Формирование альтернатив	2.1 Анализ рынка	Выявление поставщиков	Мониторинг, классификация предложений	Кластеризация по критериям	Коммерческие предложения, тендерные базы	Список альтернатив с характеристиками	Специалист по закупкам
	2.2 Уточнение параметров	Уточнение ТЗ и критериев	Функция полезности, метод парных сравнений	Многокритериальная модель	Список показателей: цена, срок, гарантия	Множество оценённых альтернатив	Комиссия школы
III. Принятие решения	3.1 Оптимизация выбора	Выбор наилучшего поставщика	Метод «затраты–эффект», симплекс-метод	Оценка выигрышности	Матричная модель, рейтинги	Выбор поставщика	Директор, экономист
IV. Исполнение и контроль	4.1 Контрактование	Юридическое оформление	Конкурентные процедуры, контракт	База документов, ЕИС	Договор, сроки	Администрация школы	
	4.2 Мониторинг исполнения	Оценка соответствия результата	Инструменты КРІ, чек-листы	Таблица отклонений	Реальные поставки	Отчёт о соответствии	Тех. ответственные лица

Данная модель охватывает полный цикл от целеполагания до мониторинга исполнения, интегрируя количественные методы выбора и процедуры нормативного контроля. Она может быть адаптирована для автоматизированного отбора поставщиков на цифровых платформах, включая системы закупок «Госуслуги», ЕИС, а также интеграцию с внутренними информационными системами ОО.

Цифровая инфраструктура выступает сквозным элементом в системе управления школой. Она обеспечивает учёт ресурсов, мониторинг параметров, поддержку принятия решений и взаимодействие с внешними контрагентами. Ниже представлена интегрированная модель цифровых и инфраструктурных решений в управлении.

Таблица 7 – Модель цифрово-инфраструктурного управления школой в мультиорганизационной системе

Подсистема	Назначение	Технический инструмент	Информационный поток	Связанное управленческое решение	Ответственный модуль
IT-инфраструктура	Управление платформами	Сервера, LMS, облачные решения	Данные о процессе обучения	Аналитика, цифровая отчётность	IT-отдел, ЦИОС
Материально-техническое обеспечение	Учёт и логистика	RFID, штрих-коды, базы учёта	Инвентаризация, графики износа	Обновление оборудования	Завхоз, бухгалтерия
Цифровое расписание	Управление временем и нагрузкой	Расписания, алгоритмы сеток	Графики уроков, нагрузки	Оптимизация трудозатрат	Замдиректора, AI-сервисы
Системы мониторинга	Контроль внешней среды	Сенсоры, камеры, контроль доступа	Поведенческие данные, посещаемость	Риск-менеджмент	Безопасность, дежурные
Порталы взаимодействия	Связь с родителями и поставщиками	Личный кабинет, API, CRM	Коммуникации, жалобы, предложения	Оценка обратной связи	Администрация, тех. поддержка

Каждая из цифровых подсистем может быть представлена как отдельный модуль в архитектуре цифровой платформы управления образованием. Их взаимодействие задаёт основу для автоматизации управленческих решений, включая раннее предупреждение рисков, мониторинг качества, бюджетную отчётность и логистику.

Как только размер выделенного бюджета становится известен участникам рынка, поставщики, способные удовлетворить техническое задание и обеспечить требуемый объём продукции, приступают к формированию коммерческих предложений. Конкуренция осуществляется по ценовому признаку и реализуется

через механизм предоставления скидок от установленной стоимости. Каждому поставщику i соответствует определённая скидка ΔM_i для i -ого поставщика по конкретной закупке).

Для описания поведения каждого поставщика в данной ситуации введём следующую формулу прибыли π_i :

$$\pi_i = K_0 - FC_i - p_i K_0 - \Delta M_i = (1 - p_i) K_0 - FC_i - \Delta M_i \quad (23)$$

где p_i – отношение переменных издержек по поставке МТО в объеме K_0 к сумме поставки K_0 , FC_i – постоянные издержки i -ого поставщика (индивидуальные для каждого поставщика, но не зависящие от объема произведенной продукции, например, траты на аренду офиса, охрану, коммунальные расходы, затраты на офис). Таким образом, максимизация прибыли для каждого участника рынка сводится к оптимальному выбору значения ΔM_i , поскольку все остальные параметры являются экзогенными и не поддаются влиянию в рамках рассматриваемой закупочной кампании. При этом задача поставщика заключается в нахождении такой скидки, которая обеспечит ему выигрыш в аукционе, но не приведёт к отрицательной или нулевой прибыли, особенно в условиях неполной информации о ценовых предложениях конкурентов.

В условиях множественности поставщиков (n) и общей неопределенности их внутренних параметров, стратегия каждого участника формируется на основе оценки вероятностей относительно поведения других агентов. Это формирует сложную мультиорганизационную модель со множеством акторов с элементами теории игр, в которой результат зависит не только от собственных издержек и стремления к прибыли, но и от предположений относительно возможных действий конкурентов.

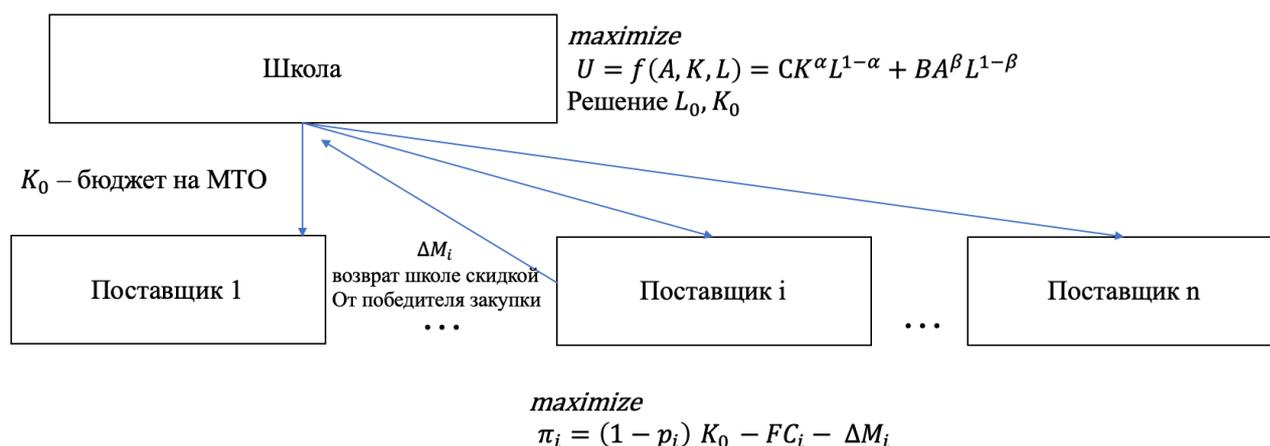


Рисунок 27 – Двухуровневая обобщенная схема конкуренции поставщиков за осуществление поставки

Фактически, между поставщиками начинается Байесова игра [24], иначе называемая игрой с неполной информацией.

Функцию прибыли поставщика мы можем привести к следующему виду (18):

$$\pi_i = (1 - p_i) K_0 - FC_i - \Delta M_i = g(p_i, FC_i, K_0) - \Delta M_i = U_i - \Delta M_i \quad (18)$$

Предположим, что поставщики не знают предлагаемых стоимостей продукции друг друга, а также что функции полезности каждого поставщика независимы друг от друга. По нормативной базе Российской Федерации закупка фактически осуществляется как закрытый аукцион первой цены. То есть тот поставщик, который предложит самую низкую стоимость (самую высокую скидку на набор оборудования), получает возможность поставки.

Поскольку полезности U_i у каждого поставщика независимы друг от друга, игрок i рассматривает $\forall j, j \in 1 \dots n, j \neq i \pi_j$ как равномерно распределенную от 0 до K_0 величину.

Функция выигрыша i -ого поставщика примет вид:

$$\pi_i(\Delta M_1, \Delta M_2, \dots, \Delta M_n) = \begin{cases} U_i - \Delta M_i & \text{при } \Delta M_i = \max_j(\Delta M_1, \Delta M_2, \dots, \Delta M_n) \\ 0 & \text{при } \Delta M_i < \max_j(\Delta M_1, \Delta M_2, \dots, \Delta M_n) \end{cases}$$

Для начала рассмотрим частный случай олигополии, когда на рынке борются за поставку трое поставщиков. Рассмотрим данную ситуацию со стороны условного первого поставщика ($i=1$).

Посчитаем вероятность того, что $\Delta M_1 > \Delta M_2$ и $\Delta M_1 > \Delta M_3$ со стороны первого поставщика. В данном случае, если поставщик 1 дает наибольшую скидку, он выигрывает закупку:

$$p(\Delta M_1 > \Delta M_{j,j=2,3}) = p(\Delta M_1 > \Delta M_2 \cup \Delta M_1 > \Delta M_3) = p(\Delta M_1 > \Delta M_2) * p(\Delta M_1 > \Delta M_3 | \Delta M_1 > \Delta M_2) = \frac{\Delta M_1}{K_0} * \frac{\Delta M_1}{K_0} = \left(\frac{\Delta M_1}{K_0}\right)^2 \quad (24)$$

Также тот же результат можно получить в более общем случае, зная функцию распределения вероятности.

$$h_j(x) = \begin{cases} \frac{1}{K_0}, \Delta M_i \in [0, K_0] \\ 0, \Delta M_i \notin [0, K_0] \end{cases} \quad (25)$$

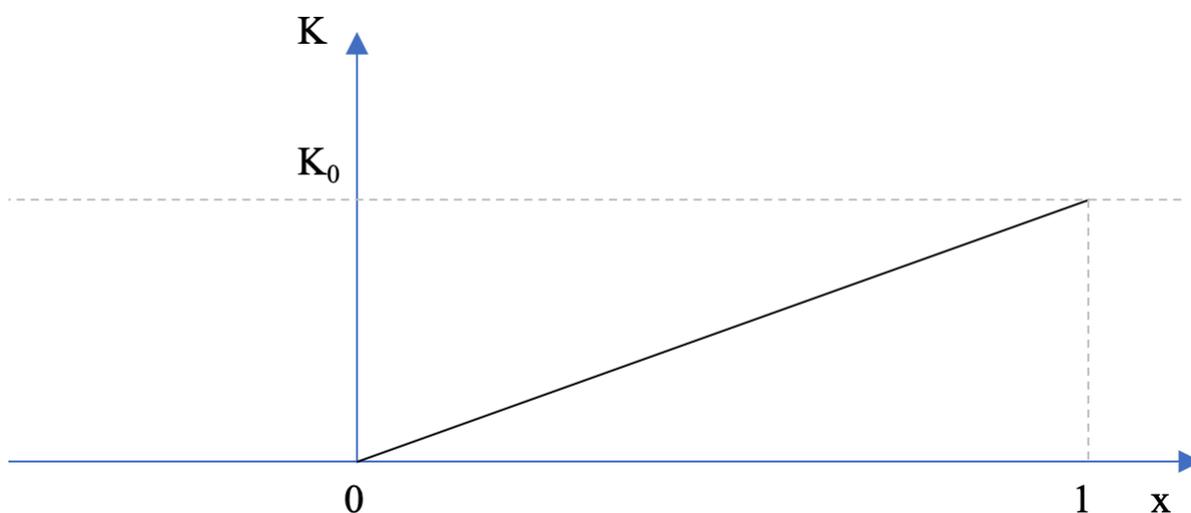


Рисунок 28 – График плотности вероятности распределения ΔM_i

$$\forall j \rightarrow p(\Delta M_i > \Delta M_j) = \int_0^{\Delta M_i} \frac{1}{K_0} dx = \frac{\Delta M_i}{K_0} \quad (26)$$

Фактически i -й поставщик решает задачу максимизации своего математического ожидания, равного $(U_i - \Delta M_i) * \left(\frac{\Delta M_i}{K_0}\right)^2 \rightarrow \max$. Решая эту задачу, получим, что наибольшее математическое ожидание получается в случае, когда $\Delta M_i = \frac{2U_i}{3}$. Таким образом, все поставщики поставят такие скидки и победит в закупке поставщик, показавший наибольшую скидку.

Аналогично, решая задачу для $n=2$ мы можем получить $\Delta M_i = \frac{U_i}{2}$, а $p(\Delta M_1 > \Delta M_2) = \frac{\Delta M_1}{K_0}$. Данное утверждение будет базой математической индукции для доказательства общего случая.

Докажем переход. Предположим, что для определенного $n=k$ выполняется $p(\Delta M_i > \forall \Delta M_j, i \neq j) = \frac{\Delta M_i^{k-1}}{K_0^{k-1}}$. Обозначим случайную нумерацию поставщиков.

Тогда для $n=k+1$ поставщиков будет выполняться следующее (21):

$$\begin{aligned} p(\Delta M_1 > \forall \Delta M_j, j=2,3,\dots,k+1) &= p(\Delta M_1 > \Delta M_2 \cup \Delta M_1 > \Delta M_3 \cup \Delta M_1 > \\ &\Delta M_4 \dots \cup \Delta M_1 > \Delta M_{k+1}) = \\ &= p(\Delta M_1 > \Delta M_2 \cup \Delta M_1 > \Delta M_3 \cup \Delta M_1 > \Delta M_4 \dots \cup \Delta M_1 > \Delta M_k) * \\ p(\Delta M_1 > \Delta M_{n+1} | \Delta M_1 > \Delta M_2 \cup \Delta M_1 > \Delta M_3 \cup \Delta M_1 > \Delta M_4 \dots \cup \Delta M_1 > \Delta M_k) &= \\ \frac{\Delta M_1^{k-1}}{K_0^{k-1}} * \frac{\Delta M_1}{K_0} &= \frac{\Delta M_1^k}{K_0^k} \end{aligned} \quad (21)$$

Значит, по принципу математической индукции мы имеем, что для любого $n \geq 2$ мы имеем:

$$p(\Delta M_i > \forall \Delta M_j, i \neq j) = \frac{\Delta M_i^{n-1}}{K_0^{n-1}} \quad (22)$$

Тогда решим задачу максимизации математического ожидания прибыли от закупки одним поставщиком. В общем случае решается задача максимизации $(U_i - \Delta M_i) * \left(\frac{\Delta M_i}{K_0}\right)^{n-1} \rightarrow \max$ [68, 69].

Решая данную задачу, мы получим, что скидка, которую будет делать поставщик, равна (27):

$$\Delta M_i = \frac{U_i * (n-1)}{n} \quad (27)$$

Применимость данной модели можно увидеть на практике. Действительно, в крайнем случае монополии, поставщик оборудования скидок (ΔM_i) делать не будет. Решение является логичным, в частности, если $n \rightarrow \infty$ $\Delta M_i \rightarrow U_i$, то есть в случае идеальной совершенной конкуренции поставщики будут предлагать поставить оборудование с нулевой для них прибылью.

Это описывает и ситуацию на реальном товарном рынке. Так, ярким является пример Торгового дома «Просвещение», являющегося монополистом по ряду позиций рынка образовательной продукции. На целый ряд данной продукции (такой, как учебники) поставщик отказывается делать скидки, что также сказывается на рыночной цене и ее росте за последние годы. Рынок же канцелярских товаров является рынком почти совершенной конкуренции. На этом рынке наблюдается низкая маржинальность, что является следствием большого числа поставщиков.

Выше использовалось предположение, что у каждого поставщика p_i, FC_i – это случайные величины ≥ 0 [70]. Соответственно, компания может делать скидку от 0 до уровня закупки (во втором случае, если переменные и постоянные издержки равны нулю). Однако, ситуация, когда издержки равны нулю, практически не наблюдается. В этом случае, можно сделать предположение, что компания делает скидку ΔM_i на продукцию равновероятно от уровня 0 до уровня $K' < K_0$. Этот случай практически не отличается от рассмотренного выше. График плотности вероятности выглядит следующим образом:

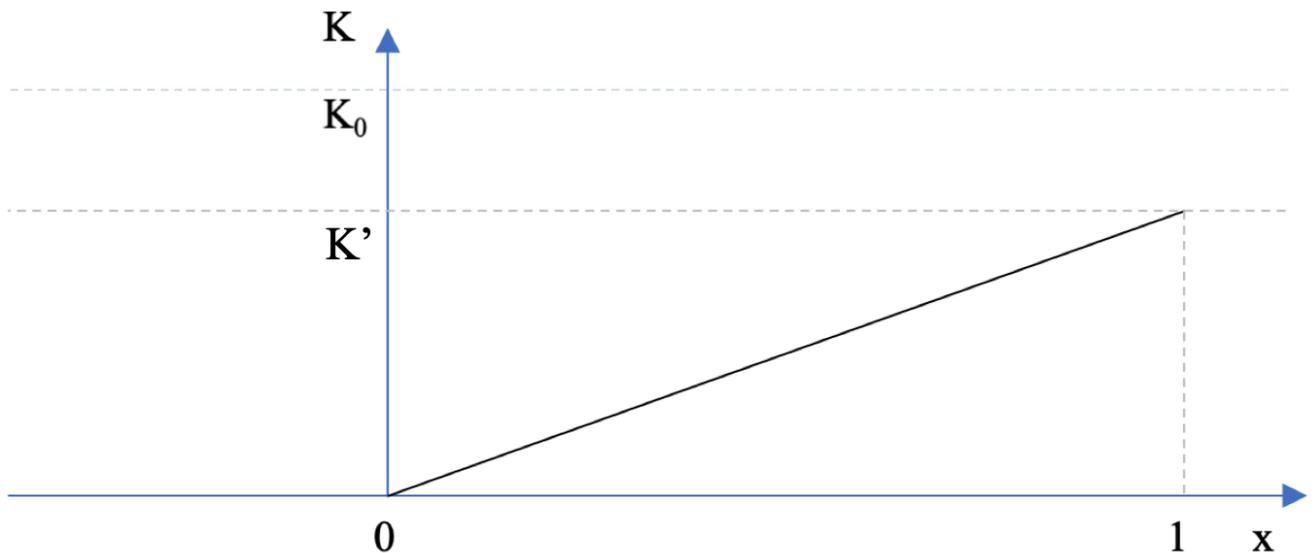


Рисунок 29 – График плотности вероятности распределения ΔM_i в реальной ситуации

В данном случае, несложно обратить внимание, что итоговый результат отличаться от указанного выше не будет, так как он не зависит от значения K_0 (или

K'). Также это не скажется на дальнейшем изложении случаев для частичной или полной информированности [71].

Рассмотрим модель двух и нескольких поставщиков, часть из которых максимизируют прибыль, а часть выручку. То есть их функция полезности является выручкой, и поставщик решает задачу ее максимизации: $maximize TR_i = K_0 - \Delta M_i$, $\pi_i = (1 - p_i) K_0 - FC_i - \Delta M_i = g(p_i, FC_i, K_0) - \Delta M_i = U_i - \Delta M_i \geq 0$. Из этого следует, что максимальный уровень скидки, который может сделать поставщик, составляет:

$$\Delta M_i = (1 - p_i) K_0 - FC_i \quad (28)$$

Рассмотрим случай, когда в конкурсе участвуют два поставщика: один максимизирует прибыль, а второй выручку, при этом оба знают свой тип.

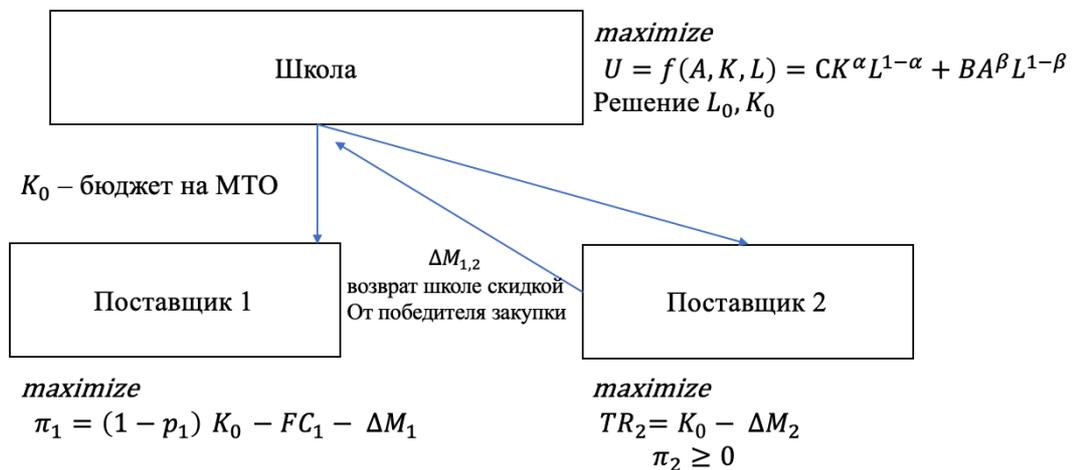


Рисунок 30 – Двухуровневая схема конкуренции двух поставщиков за осуществление поставки (поставщик 1 максимизирует прибыль, поставщик 2 максимизирует выручку)

Поставщики не знают вероятность того, что их скидка больше конкурентной, поэтому будут считать друг для друга ее равномерно распределённой от 0 до K_0 . Аналогично прошлому случаю, поставщик, максимизирующий прибыль (поставщик 1), выставит скидку $\Delta M_1 = \frac{U_1}{2}$. Рассмотрим действия второго поставщика, максимизирующего выручку. Он будет максимизировать математическое ожидание своего выигрыша $(K_0 - \Delta M_2) * \left(\frac{\Delta M_2}{K_0}\right)$, таким образом выставляя скидку $\Delta M_2 = \frac{K_0}{2}$, если при этом прибыль останется положительной. В

противном случае, скидка будет равна $\Delta M_2 = U_2$. Победитель конкурса будет определяться в зависимости от того, чья скидка будет больше [72].

Рассмотрим общий случай для n поставщиков, где $n = k + m$, где k - число поставщиков, максимизирующих прибыль (тип I), а m - число поставщиков, максимизирующих выручку (тип II). Тогда организации выставят следующие скидки:

$$\Delta M_{i(k)} = \frac{U_i * (n-1)}{n} - \text{скидка компаний типа I};$$

$$\begin{cases} \Delta M_{i(m)} = \frac{K_0 * (n-1)}{n}, U_i - \frac{K_0 * (n-1)}{n} \geq 0 \\ \Delta M_{i(m)} = U_i, \text{ в противном случае} \end{cases} - \text{скидка компаний типа II};$$

Отсюда следует достаточно логичный вывод. Пусть имеется хорошо управляемую компанию типа II, у которой низкий уровень внутренних издержек (FC, p). Тогда у этой компании потолок скидки очень высок, и она имеет гораздо больше возможностей выиграть закупку у компании, максимизирующей прибыль. В реальных случаях российского образования, когда встречается малый (максимизирующий прибыль) и большой (максимизирующий выручку) поставщик, а закупка абсолютно конкурентна и нет вне рыночных механизмов, то действительно большой поставщик выигрывает ее (как пример, ГК Просвещение, Школьный мир и так далее).

2.4. Процесс конкуренции поставщиков за закупку образовательного оборудования (случай частичной и полной информированности)

Рассмотрим случай, когда поставщики знают значения функций полезности друг друга, то есть они знают какое значение выставляют конкуренты по цене [72]. Это достаточно часто встречающаяся ситуация в рамках проведения государственных закупок, так как часто сотрудники общеобразовательной организации или иных инстанций раскрывают ценовую политику и конкурентные предложения, чтобы выбить себе скидки или поддержать поставщиков.

Аналогично прошлому пункту, будем считать, что поставщики конкурируют за бюджет на сумму K_0 и предоставляют ОО скидки ΔM для победы в закупке. При этом поставщики несут издержки как постоянные FC , так и относительные p , пропорционально зависящие от бюджета K_0 . Тогда прибыль поставщика будет равна (29):

$$\pi = K_0 - FC - pK_0 - \Delta M = (1 - p) K_0 - FC - \Delta M \quad (29)$$

Функция полезности поставщика будет являться функцией прибыли, так как основной задачей поставщика будет являться максимизация его прибыли [73].

$$U = \pi$$

Определим также базовую функцию P и выручку TR поставщика, которая также может являться его функцией полезности:

$$P = (1 - p) K_0 - FC \quad (30)$$

$$TR = K_0 - \Delta M \quad (31)$$

Рассмотрим случай n поставщиков, все игроки максимизируют прибыль и осведомлены о значениях базовой функциях друг друга при фиксированном бюджете K_0 . Для удобства пронумеруем игроков по возрастанию значения базовой функции P_i . Таким образом, $P_1 \leq P_2 \leq \dots \leq P_n$.

Игрок n обладает информацией о базовой функции прочих игроков, но не знает об их стратегиях выставления скидки. В условиях независимого принятия решения игроками вероятность победы в закупке $p(\Delta M_n > \Delta M_i)$ ($i = 1, \dots, (n-1)$) при $\Delta M_n < P_i$ равна $\Delta M_n / P_i$, то игрок i с равной вероятностью выставляет скидку в меру своей базовой функции P_i , и 1 при $\Delta M_n \geq P_i$, конкурирующий поставщик не станет заключать сделку с отрицательной прибылью.

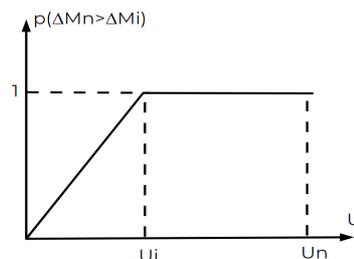


Рисунок 31 – Вероятность предоставить для поставщика n большую скидку, чем некоторый конкурент i

Следовательно, математическое ожидание прибыли игрока n в введенных обозначениях запишется как:

$$\begin{aligned} E\pi_n(\Delta M_n) &= (P_n - \Delta M_n)p(\Delta M_n > \Delta M_{1,\dots,n-1}) = \\ &= (P_n - \Delta M_n)p(\Delta M_n > \Delta M_1)\dots p(\Delta M_n > \Delta M_{n-1}) \end{aligned} \quad (32)$$

Полученная функция непрерывна, но не является гладкой от ΔM_n . Имеются точки разрыва производных при значениях аргумента равных P_i .

Предложим алгоритм поиска оптимальной скидки ΔM_n для игрока n . Разделим поиск на два логических этапа:

1) Определяем аргументы, соответствующие условному максимуму, на каждом из интервалов гладкости. На интервале $\Delta M_n \in (P_{i-1}, P_i)$, $i = 1, \dots, (n-1)$, $P_0 = 0$ математическое ожидание прибыли запишется как (27):

$$E\pi_n = (P_n - \Delta M_n) \frac{\Delta M_n}{P_i} \dots \frac{\Delta M_n}{P_{n-1}} \quad (33)$$

Оптимальное значение скидки соответствует условному локальному экстремуму на множестве $\Delta M_n \in (P_{i-1}, P_i)$. Выполняем дифференцирование по ΔM_n правой части уравнения и определяем максимум на интервале:

$$\begin{aligned} \Delta M_n^{(i)} &= \operatorname{argmax}_{\Delta M_n} E\pi_n = \frac{P_n(n-i)}{n-i+1} \quad \text{при } P_i > \frac{P_n(n-i)}{n-i+1} > P_{i-1}, \\ \Delta M_n^{(i)} &= P_{i-1}, \quad \text{при } \frac{P_n(n-i)}{n-i+1} < P_{i-1}, \\ \Delta M_n^{(i)} &= P_i, \quad \text{при } P_i > \frac{P_n(n-i)}{n-i+1} \end{aligned} \quad (34)$$

2) Находим оптимальное значение путем нахождения максимума конечного числа локальных максимумов, полученных на шаге 1. Оптимальное значение скидки $\Delta M_n^{(opt)}$ задается как (29):

$$\Delta M_n^{(opt)} = \operatorname{argmax}_{\Delta M^{(1)}_n, \dots, \Delta M^{(n)}_n} E\pi_n \quad (35)$$

Заметим, что оптимальный вид скидки $\Delta M_n^{(opt)}$ в случае полной информированности будет определяться не только значением базовой функции поставщика P_n , но и соотношением между P_1, \dots, P_n .

Опишем применение алгоритма для игрока i . Вероятность победы в закупке игрока i задается как:

$$p(\Delta M_i > \Delta M_j) = \Delta M_i / P_j \text{ если } i < j$$

$$p(\Delta M_i > \Delta M_j) = \Delta M_i / P_j \text{ при } \Delta M_i < P_j \text{ и } p(\Delta M_i > \Delta M_j) = 1 \text{ при } \Delta M_i \geq P_j$$

$$\text{если } i > j$$

Аналогично математическое ожидание прибыли игрока i запишется как:

$$E\pi_i(\Delta M_i) = (P_i - \Delta M_i)p(\Delta M_i > \Delta M_{1,\dots,i-1,i+1,\dots,n})$$

$$= (P_i - \Delta M_i)p(\Delta M_i > \Delta M_1)\dots p(\Delta M_i > \Delta M_n) \quad (36)$$

$E\pi_i(\Delta M_i)$ имеет точки разрыва производных в P_1, \dots, P_{i-1} . Шаги оптимизационного алгоритма для игрока i аналогичны поставщику n . На первом этапе выделяются максимумы на интервалах гладкости $\Delta M_i \in (0, P_1), (P_1, P_2), \dots, (P_{i-1}, P_i)$. На втором шаге выполняется поиск оптимального решения по конечному набору локальных максимумов, полученных на шаге 1 [74]:

$$\Delta M_i^{(opt)} = \operatorname{argmax}_{\Delta M^{(1)}_i, \dots, \Delta M^{(i-1)}_i} E\pi_i \quad (37)$$

Подробно разберём случай двух игроков для интерпретации результатов. Игрок с большим значением базовой функции получит номер 2 и задаст скидку:

$$\Delta M_1 = P_1/2, \text{ при } P_1/2 < P_2, \text{ иначе } \Delta M_1 = P_2 \quad (38)$$

Заметим, что прибыль информированного игрока возрастает совместно с значением его базовой функции и убывает с ростом числа игроков. По лотам с малым числом поставщиков игрок с наибольшим значением базовой функции может приобретать значительную выгоду от информированности. Напротив, малоконкурентные игроки в условиях значительного числа конкурентов не смогут предложить выгодную для них скидку независимо от их знаний.

2.5. Моделирование процесса конкуренции общеобразовательных организаций за бюджетные средства и взаимодействие с вышестоящими органами

В соответствии с действующими нормативными правовыми актами Министерства просвещения Российской Федерации [75, 76], бюджетные ассигнования на деятельность образовательных организаций включают не только основные трансферты, но и стимулирующие выплаты, начисляемые по результатам деятельности. Эти выплаты направлены на поощрение эффективного функционирования образовательных учреждений и зависят от показателей, выявленных посредством независимой оценки качества образования. Распределение указанных средств осуществляется органами местного самоуправления, курирующими сферу образования, на основе специально утверждённых ими нормативных документов, где детализированы критерии и порядок расчёта стимулирующих выплат.

В рассматриваемом разделе внимание сосредоточено на формализации процесса распределения ограниченного финансового ресурса между двумя субъектами с применением инструментов теории игр. Предлагаемый подход моделирует ситуацию, в которой происходит поэтапное распределение выделенного надзорным органом бюджета, подлежащего дележу между сторонами. Конкретный механизм распределения представляется в форме последовательных переговорных раундов, в каждом из которых агенты формируют свои предложения относительно долей, на которые они претендуют. Такой формат позволяет выявить критически значимые аспекты, на которые следует обратить внимание при разработке нормативных положений, регламентирующих премиальные выплаты. Кроме того, анализируются характеристики агентов, влияющие на результат раздела в условиях конфликта интересов.

В качестве теоретической основы используется модель последовательных переговоров, предложенная Ариэлем Рубинштейном [76, 77, 78]. Согласно этой

модели, два участника поочерёдно делают предложения о варианте дележа фиксированной бюджетной суммы. Если сторона, получившая предложение, считает его неприемлемым, она вправе его отклонить и сформулировать собственные условия раздела. Переговорный процесс продолжается до достижения взаимоприемлемого соглашения. Важным компонентом модели выступает дисконтирующий множитель $\delta \in (0,1)$, характеризующий уровень нетерпеливости игроков: чем меньше значение δ , тем менее ценным становится получение финансов в будущем и, соответственно, выше стремление к скорейшему завершению переговоров [79]. Это приводит к тому, что функция полезности игрока на следующем этапе переговоров (U_{T+1}) выражается как $\delta \cdot U_T$, отражая снижение субъективной ценности результата с течением времени при равных условиях раздела.

Таким образом, использование модели Рубинштейна позволяет формализовать динамику распределения стимулирующих бюджетных средств, опираясь на рациональное поведение сторон и их предпочтения во времени. Это даёт возможность обоснованно подойти к проектированию системы стимулирования, в том числе с учётом различных стратегий участников и ожидаемых результатов переговорного процесса.

Изначально рассмотрим ситуацию торгов между двумя игроками. Функция полезности с учетом дисконтирования на временном шаге T при отсутствии раздела для игроков задается как (39):

$$U_1^{(T)} = \delta_1^{T-1} r_T; U_2^{(T)} = \delta_2^{T-1} (1 - r_T) \quad (39)$$

где r_T – доля раздела первого игрока, предложенная на шаге T .

Оптимальная стратегия для игрока предлагать оппоненту минимальный раздел, на который он согласится.

$$1 - r_T \geq \delta_2 (1 - r_{T+1}) \quad (40)$$

$$\delta_1 r_T \geq r_{T+1} \quad (41)$$

Перепишем неравенства и получим:

$$1 - \delta_2 (1 - r_{T+1}) \leq r_T \leq \frac{r_{T+1}}{\delta_1} \quad (42)$$

$$1 - \frac{1 - r_T}{\delta_2} \leq r_{T+1} \leq r_T \delta_1 \quad (43)$$

Получаем неравенства на r_T, r_{T+1} :

$$r_T \leq \frac{1 - \delta_2}{1 - \delta_1 \delta_2}; 1 - r_T \geq \frac{\delta_2(1 - \delta_1)}{1 - \delta_1 \delta_2} \quad (44)$$

$$r_{T+1} \geq \frac{\delta_1(1 - \delta_2)}{1 - \delta_1 \delta_2}; 1 - r_{T+1} \leq \frac{1 - \delta_1}{1 - \delta_1 \delta_2} \quad (45)$$

В заданных условиях игрок 1 предлагает раздел $r_1 = \frac{1 - \delta_2}{1 - \delta_1 \delta_2}$ и соглашается не менее чем на $r_2 \geq \frac{\delta_1(1 - \delta_2)}{1 - \delta_1 \delta_2}$.

В реалиях российской образовательной системы данную процедуру разделения средств можно применить при моделировании разделения бюджета между Департаментом образования региона/муниципалитета и ОО в течение сентября-марта каждого календарного года. Чаще всего общеобразовательная организация в сентябре начинает сдавать все основные показатели и сдает их до декабря, а в конце декабря департамент образования выделяет учреждению бюджетные средства на следующий год. Очень часто, ОО не хватает данных средств на реализацию дополнительных образовательных программ, закупку оборудования, ремонт, и общеобразовательная организация просит о выделении дополнительного финансирования, на что министерство может ответить отказом или иным предложением. Таким образом, эта игра может продолжаться до марта-апреля месяца пока общеобразовательная организация не истощит свою внебюджетные резервы. Общеобразовательная организация же имеет рычаг воздействия в виде остановки образовательного процесса и падения показателей департамента. Чаще всего в подобного рода спорах преимущество имеет как раз департамент образования, а также департамент имеет право первого хода.

Тогда сформированное предложение будет иметь вид:

- $1 - (K - 1)\delta(R \frac{1}{N} + r \frac{N-1}{N})$ – предлагающему;
- $\delta(R \frac{1}{N} + r \frac{N-1}{N}) - (K - 1)$ игрокам, которые должны одобрить раздел;
- 0 – каждому из оставшихся $N - K$ игроков.

При этом все $N - 1$ игроков должны иметь одинаковую вероятность быть включенными в число $K - 1$ игроков, которые одобряют дележ: $(K - 1)/(N - 1)$. Приравнявая ожидаемый выигрыш к предложениям получаем систему уравнений от двух переменных [80]:

$$\begin{cases} R = 1 - (K - 1)\delta\left(R \frac{1}{N} + r \frac{N-1}{N}\right) \\ r = \delta \frac{K-1}{N-1} \left(R \frac{1}{N} + r \frac{N-1}{N}\right) \end{cases} \quad (46)$$

Решая систему, получаем решение для R и r :

$$R = \frac{N - \delta(K-1)}{N} \quad (47)$$

$$r = \frac{\delta(K-1)}{N(N-1)} \quad (48)$$

Тогда выигрыши игроков составят:

– $\frac{N - \delta(K-1)}{N}$ – предлагающему;

– $\frac{\delta}{N}$ – $K - 1$ игрокам, которые получили право одобрить раздел;

– 0 – каждому из оставшихся $N - K$ игроков.

Рассмотрим основные следствия, вытекающие из теоретической модели, описывающей процесс распределения ограниченного ресурса между несколькими субъектами. Одним из ключевых положений модели выступает утверждение о преимущественном положении участника, которому принадлежит право инициировать предложение по распределению [81]. Такой субъект обладает возможностью формировать условия, привлекательные для других сторон, при этом характер предполагаемой выгоды для адресатов предложений может носить вероятностный (стохастический) характер [82]. Это позволяет избегать прямого установления связей между инициатором и потенциальными выгодополучателями, тем самым минимизируя риски обвинений в сговоре или предвзятости при формировании итогового решения.

Следует обратить внимание на то, что ожидаемая полезность для инициирующего участника имеет тенденцию к снижению при увеличении количества сторон (обозначаемого как K), вовлечённых в процесс переговоров, а

также при уменьшении коэффициента дисконтирования δ . Равноправное распределение ресурсов между всеми участниками возможно исключительно в условиях полной симметрии: при $K=N$, где N — общее число агентов, и $\delta=1$, что означает абсолютную нейтральность ко времени. В реальных условиях такие предпосылки встречаются крайне редко, что обуславливает значимость стратегических преимуществ в процессе дележа.

Применение данной модели целесообразно для описания деятельности органов местного самоуправления, осуществляющих распределение дополнительного (стимулирующего) финансирования между общеобразовательными организациями. В качестве примера можно рассмотреть ситуацию в муниципалитете, где несколько учреждений демонстрируют сопоставимые результаты по ключевым образовательным показателям. При возникновении необходимости перераспределения средств, превышающих базовое финансирование, администрация муниципалитета инициирует совещание с участием руководителей общеобразовательных организаций. Учитывая близость академических показателей, отбор лидера процесса перераспределения приобретает вероятностный характер: формально каждая организация обладает равными шансами получить преимущество при получении дополнительного финансирования.

Распределение стимулирующих выплат в таких условиях часто связано с достижениями обучающихся в предметных олимпиадах, а также с результатами государственной итоговой аттестации. При прочих равных условиях (например, одинаковой базовой успеваемости) вероятность получения наивысших результатов на олимпиадах или при сдаче экзаменов становится примерно одинаковой для всех учреждений. В то же время, та образовательная организация, от которой исходит инициатива по проведению мероприятия (например, муниципальной олимпиады), получает инструмент влияния на исход распределения: за счёт делегированных полномочий и выделенного бюджета она может инвестировать в проведение события, включая закупку оборудования, разработку заданий, привлечение компетентных педагогов и информационное сопровождение.

Таким образом, в рамках модели Барона и Фереджона можно выделить следующие структурные элементы, имеющие прямое соответствие в рассматриваемом примере:

- равноправный доступ к выдвижению предложений о распределении ресурса: каждая организация формально может инициировать мероприятие;
- вероятностный характер получения преимущества в условиях близости показателей: отсутствие значимых различий в исходных данных делает выбор победителя стохастическим;
- структурное преимущество организатора процесса: субъект, взявший на себя координацию и реализацию инициативы, получает косвенное влияние на итоговое распределение ресурсов, повышая собственную полезность за счёт инструментов, доступных в рамках организационной роли.

Предложенная модель позволяет интерпретировать процессы внутри образовательных систем через призму рационального стратегического взаимодействия и легитимного перераспределения ограниченных ресурсов в условиях конкуренции между формально равноправными участниками.

Чаще всего, выдвигает предложение о методике финансирования директор общеобразовательной организации, обладающий наибольшим политическим весом и имеющий большой ресурс и влияние на других директоров. Этот директор предлагает присоединиться к своей методике раздела часть директоров, которые обладают сходным политическим влиянием и выдвигают предложение руководителю департамента образования. Руководитель департамента образования может прислушаться к голосу директоров школ и принять схему финансирования.

При отсутствии такого директора и при высокой роли непосредственно руководителя департамента, он предложит деление стимулирующей части поровну (модель $K = N$ и $\delta = 1$). Фактически δ и K в данной схеме являются внешне заданными департаментом образования показателями.

Таким образом модель Бэрона и Фереджона описывает класс ситуаций, когда необходимо принять управленческое решение о разделении бюджета между сходными по характеристикам школами и ряд школ имеет влияние на принятие

данного решения. В противном случае, происходит торг между ОО и департаментом по модели Рубинштейна, которая описывает случай однозначного преимущества департамента образования.

организацией.

Разработанный в рамках данного исследования методический подход опирается на концептуализацию школы как единого управляемого объекта, действующего в мультиорганизационной среде, где решения принимаются на основе согласования интересов участников с различным уровнем полномочий, ресурсами и стратегическими установками. В отличие от ранее предложенных моделей, ориентированных на теорию активных систем (Д.А. Новиков, В.Н. Бурков, В.Г. Балашов и др.), преимущественно применявшихся в технических или экономических контекстах, предлагаемый подход адаптирован к специфике общего образования, учитывая как формальные, так и неформальные структуры управления, ценностные ориентиры субъектов, а также факторы сетевой координации.

Кроме того, в отличие от гуманитарных концепций управления образованием (Глава I) (S. Smithikrai, V. Baker, R. Ferguson, D. Boyd и др.), сосредоточенных преимущественно на внутришкольных процессах, рассматриваемый подход предлагает интегративную рамку, в которой образовательная организация одновременно включена в иерархические, сетевые и партнёрские отношения, а её управленческая архитектура понимается как результат постоянного взаимодействия с внешними агентами.

Таким образом, в главе разработаны функции взаимодействия и определены параметры эффективности неоднородных объектов в мультиорганизационной системе общего образования, отличающиеся рассмотрением ключевых участников системы (образовательные учреждения, поставщики материально-технического обеспечения и образовательных услуг, муниципальные и региональные органы власти, а также иные объекты), а также предложен и адаптирован целый ряд моделей.

Глава III. Определение функций и алгоритмов взаимодействия, оптимальные параметры эффективности многоуровневой системы общего образования.

3.1. Функция полезности общеобразовательной организации в зависимости от распределения ресурсов

Ключевое влияние на функцию эффективности образовательного учреждения по результатам ЕГЭ может оказывать материально-техническое обеспечение (блок «МТО-Снабжение») и учителя (блок «Кадры»). Стоит отметить, что МТО может быть как накопленным (переменная A), так и закупленным в текущем году (переменная K). Переменная, которая отвечает за кадры, обозначается как L . В данной модели все три ключевых переменных зависят от управленческих решений директора общеобразовательной организации, который может принимать решения о распределении бюджета, выделенных на текущий год финансов, подтвержденных грантов и субсидий. Сумма всех средств общеобразовательной организации на текущий год обозначается как M . Все переменные выражаются в рублях, так как общий бюджет, накопленная и закупленная на текущий год материальная база, затраты на работниках выражаются в рублях.

Таким образом, мы имеем следующий общий вид функции образовательного результата (49):

$$U = f(A, K, L, M) \quad (49)$$

Рассмотрим двухуровневую организационную систему с одним центром (департамент образования) на верхнем уровне и одним агентом (общеобразовательная организация) на нижнем. Центр задает агенту ключевой параметр: бюджет (M) [83]. Агенту необходимо правильным образом подобрать K и L . Предположим также, что общеобразовательная организация не делает

накоплений и не существует иных направлений трат, кроме на персонал и материальное обеспечение (т.е. $M=K+L$). Функция из четырех переменных становится функцией от трех (50):

$$U = f(A, K, L) \quad (50)$$

Пусть у агента заранее определено оборудование, которое поставлено туда на текущий год (параметр A). Введем предположения относительно вида функции U :

– U непрерывна по K и L ;

– $\frac{\partial U}{\partial K} > 0$ – образовательный результат растет при увеличении оснащенности общеобразовательные организации;

– $\frac{\partial U}{\partial L} > 0$ – образовательный результат растет с увеличением финансирования педагогов, их профессионализма и их числа;

– $\frac{\partial^2 U}{\partial L^2} < 0$ и $\frac{\partial^2 U}{\partial K^2} < 0$ – функция образовательного результата является вогнутой по K и L . Фактически, это является выражением принципа убывающей предельной полезности (Например, если общеобразовательная организация тратит много средств на учителей, каждый новый потраченный рубль на учителей будет давать меньше результата);

– U, K и $L > 0$;

– если $L = 0$, то $U = 0$ (если в общеобразовательной организации не работают учителя, то учреждение не может производить образовательный результат).

Если $A = 0$, то есть в учреждение не поставлено оборудование, то под требования, обозначенные выше, подходит функция Кобба-Дугласа.

$$U = CK^\alpha L^{1-\alpha}, \text{ где } 0 < \alpha < 1$$

Однако в данной модели теряется тот факт, что если в учреждение в текущем году не закупается оборудование, то она не может осуществлять образовательный процесс. Учителя могут пользоваться уже закупленным оборудованием, работать на нем. Функция зависит от A . Представим себе крайний случай, когда весь бюджет общеобразовательной организации текущего года тратится на учителей ($M=L$), а новое оборудование не закупается. Введем предположения:

– U непрерывна по A и L ;

$$-\frac{\partial U}{\partial A} > 0;$$

$$-\frac{\partial U}{\partial L} > 0;$$

– $\frac{\partial^2 U}{\partial L^2} < 0$ и $\frac{\partial^2 U}{\partial A^2} < 0$ – функция образовательного результата является

вогнутой по A и L (Если в первую организацию поставлено больше оборудования, чем во вторую, то каждый вложенный рубль в прошлом году и, соответственно, накопленное МТО в текущем, будет меньше сказываться на образовательном результате);

– U, A и $L > 0$;

– если $L = 0$, то $U = 0$ (если в ОО не работают учителя, то общеобразовательная организация не может производить образовательный результат).

Соответственно, мы можем получить зависимость (44):

$$U = BA^\beta L^{1-\beta}, \quad (44)$$

где $0 < \beta < 1$.

Как мы можем заметить, образовательный результат зависит от двух функций Кобба-Дугласа, что имеет явный социально-экономический смысл. Для того, чтобы добиться образовательного результата, общеобразовательная организация должна вкладывать средства в педагогический состав. Однако на этот результат будет влиять как умение педагогов работать на старом оборудовании, так и работа данных педагогов на новом оборудовании при использовании новых расходных материалов.

Из этого можно предположить, что итоговая функция образовательного результата школ в текущем году является суммой двух функций (51):

$$U = f(A, K, L) = CK^\alpha L^{1-\alpha} + BA^\beta L^{1-\beta}, \quad (51)$$

$0 < \alpha < 1, 0 < \beta < 1$

Задача общеобразовательной организации в условиях заданного внутри системы бюджета формулируется следующим образом: найти необходимое распределение бюджета между материальным обеспечением и тратами на

педагогический состав, решающими ту или иную цель управления. Множество целей организации обозначим через s . Тогда задача будет выглядеть следующим образом [84]:

$f(A, K, L, s) \rightarrow \max$ (если $s \in$ множеству задач максимизации)

$f(A, K, L, s) = U_0$, где U_0 фиксированный уровень образовательного результата

Особенностью рассматриваемой модели является тот факт, что общеобразовательная организация может решать различные задачи. При этом решение этих задач будет опираться на изменения формулы (22) – самого простого случая функции образовательного результата для одного года.

Случай I. Общеобразовательная организация максимизирует образовательный результат за один год

Данный случай является одним из стандартных и фактически сводится к решению задачи максимизации образовательного результата в первый год работы. Пусть в учреждение закуплена материальная база A_0 , а также фиксирован бюджет $M_0 = K + L$. Тогда задача сводится к следующему (52):

$$\begin{cases} U = f(A, K, L) = CK^\alpha L^{1-\alpha} + BA_0^\beta L^{1-\beta} \rightarrow \max, \\ 0 < \alpha < 1, 0 < \beta < 1 \\ M_0 = K + L \end{cases} \quad (52)$$

Данное выражение преобразуется к виду (53):

$$U = f(L) = C(M_0 - L)^\alpha L^{1-\alpha} + BA_0^\beta L^{1-\beta} \quad (53)$$

Данная функция достигает максимума, если (48):

$$\begin{cases} \frac{dU}{dL} = C \left(\frac{(1-\alpha)(M_0-L)^\alpha}{L^\alpha} - \frac{\alpha L^{1-\alpha}}{(M_0-L)^{1-\alpha}} \right) + BA_0^\beta \frac{1-\beta}{L^\beta} = \\ = C \left(\frac{(1-\alpha)M_0-L}{L^\alpha (M_0-L)^{1-\alpha}} \right) + BA_0^\beta \frac{1-\beta}{L^\beta} = 0 \\ \frac{d^2U}{dL^2} < 0 \end{cases} \quad (54)$$

Несложно доказать, что как функция $C(M_0 - L)^\alpha L^{1-\alpha}$, так и функция $BA_0^\beta L^{1-\beta}$ являются вогнутыми. Так как U является суммой двух вогнутых относительно L функций, то условие выполняется.

Сделаем замену для решения уравнения (55):

$$L = x; C_1 = B(1 - \beta)A_0^\beta; C_2 = M_0$$

$$C(1 - \alpha)C_2 - Cx + C_1x^{\alpha-\beta}(C_2 - x)^{1-\alpha} = 0 \quad (55)$$

$$C, \alpha, \beta = \text{const}, L \neq 0, L \neq C_2 \quad (12)$$

Примечателен частный случай. Представим, что $A_0 = 0$, то есть общеобразовательная организация не закупала до этого оборудования вовсе (например, ОО только открывается). Тогда $L = (1 - \alpha)C_2$.

$$\text{Сделаем замену: } x = \frac{C(1-\alpha)C_2}{C} + x' = (1 - \alpha)C_2 + \gamma C_2, \gamma \in (-(1 - \alpha); \alpha) \quad (50)$$

$$\text{Получим } \gamma C_2 C = C_1((1 - \alpha) + \gamma)^{\alpha-\beta} (\alpha - \gamma)^{1-\alpha} C_2^{1-\beta}, \gamma \in (-(1 - \alpha); \alpha) \quad (51)$$

Данное уравнение решается относительно γ в численном виде.

Для сравнения приведем частный пример. Пусть коэффициенты B и C равняются единице. $\alpha, \beta = 0.5$. Тогда $U = (M_0 - L)^{0.5}L^{0.5} + A_0^{0.5}L^{0.5}$. Проведя замену, мы получим (56):

$$\gamma C_2^{0.5} = C_1(0.5 - \gamma)^{0.5}(0.5 + \gamma) \quad (56)$$

$$\text{Упрощая } \gamma M_0^{0.5} = 0.5 A_0^{0.5} (0.5 - \gamma)^{0.5} (0.5 + \gamma)$$

$$\text{или } \gamma = \frac{0.5 A_0^{0.5}}{M_0^{0.5}} (0.5 - \gamma)^{0.5} (0.5 + \gamma) \quad (15)$$

Решение данного уравнения представлено ниже.

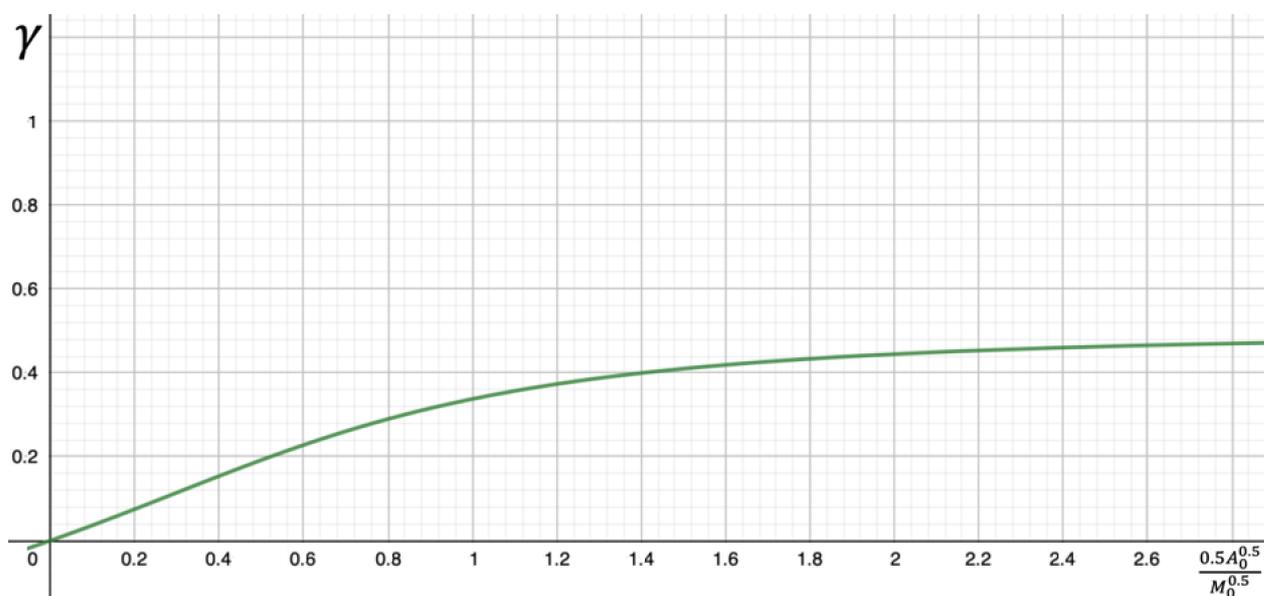


Рисунок 32 – Решение уравнения для $\alpha = 0.5, \beta = 0.5$

В данном случае, выходит логичным результат, что если в общеобразовательной организации закуплено много оборудования ($\frac{0.5A_0^{0.5}}{M_0^{0.5}} \rightarrow \infty$), то γ асимптотически стремится к 0.5, что означает, что $L = M_0$. То есть все деньги мы тратим на учителей (фонд оплаты труда). Если оборудование не закуплено, то на ФОТ тратится 0.5 от годового бюджета организации.

Случай II. Общеобразовательная организация максимизирует образовательный результат через n лет

Пусть общеобразовательная организация не максимизирует свой образовательный результат в течение n лет. В n-й год функция образовательного результата общеобразовательной организации примет следующий вид:

$$U_n = C(M_n - L_n)^\alpha L_n^{1-\alpha} + B(A_0 + \sum_{i=1}^{n-1}(M_i - L_i))^\beta L_n^{1-\beta} \quad (57)$$

Если общеобразовательная организация строится с 0 по n-1-й период, то организация максимизирует свой образовательный результат в n-й год, то она должна закупать только оборудование с 0 по n-1-й период, не вкладывая финансы в учителей.

Далее, в n-й год задача сводится к задаче, описанной в пункте 2.1, то есть к задаче максимизации образовательного результата за один год:

$$U = C(M_n - L_n)^\alpha L_n^{1-\alpha} + BA_n^\beta L_n^{1-\beta} \rightarrow \max, \\ 0 < \alpha < 1, 0 < \beta < 1, A_n = A_0 + \sum_{i=1}^{n-1}(M_i - L_i) \quad (58)$$

Случай III. Общеобразовательная организация достигает минимально требуемого образовательного результата

В данном случае, перед ОО ставится задача регулярно выполнять требования департамента образования с учетом текущего ограничения на годовой бюджет. Каждый год общеобразовательная организация должна решать следующую задачу:

$$\begin{cases} U_0 = CK^\alpha L^{1-\alpha} + BA_0^\beta L^{1-\beta}, & 0 < \alpha < 1, 0 < \beta < 1 \\ M_0 = K + L \end{cases} \quad (59)$$

$$U_0 = C(M_0 - L)^\alpha L^{1-\alpha} + BA_0^\beta L^{1-\beta}, \quad 0 < \alpha < 1, 0 < \beta < 1 \quad (60)$$

Данное уравнение имеет решения в ограниченном промежутке параметров.

Это имеет смысл, так как если департамент образования поставит ОО задачу достичь высокого образовательного результата U_0 без выделения достаточного бюджета M_0 , то общеобразовательная организация не сможет решить данную задачу.

Выразим: $x = \frac{U_0}{BA_0^\beta}$; $y = \frac{CM_0}{BA_0^\beta}$; $z = \frac{L}{M_0}$; $z \in (0; 1)$

Получим уравнение (61):

$$x = y(1 - z)^\alpha z^{1-\alpha} + z^{1-\beta} \quad (61)$$

Если $\alpha = 0.5, \beta = 0.5$, то получим следующий график, из которого можно получить как ограничения на образовательные результаты бюджет, так и решение задачи для этого частного случая:

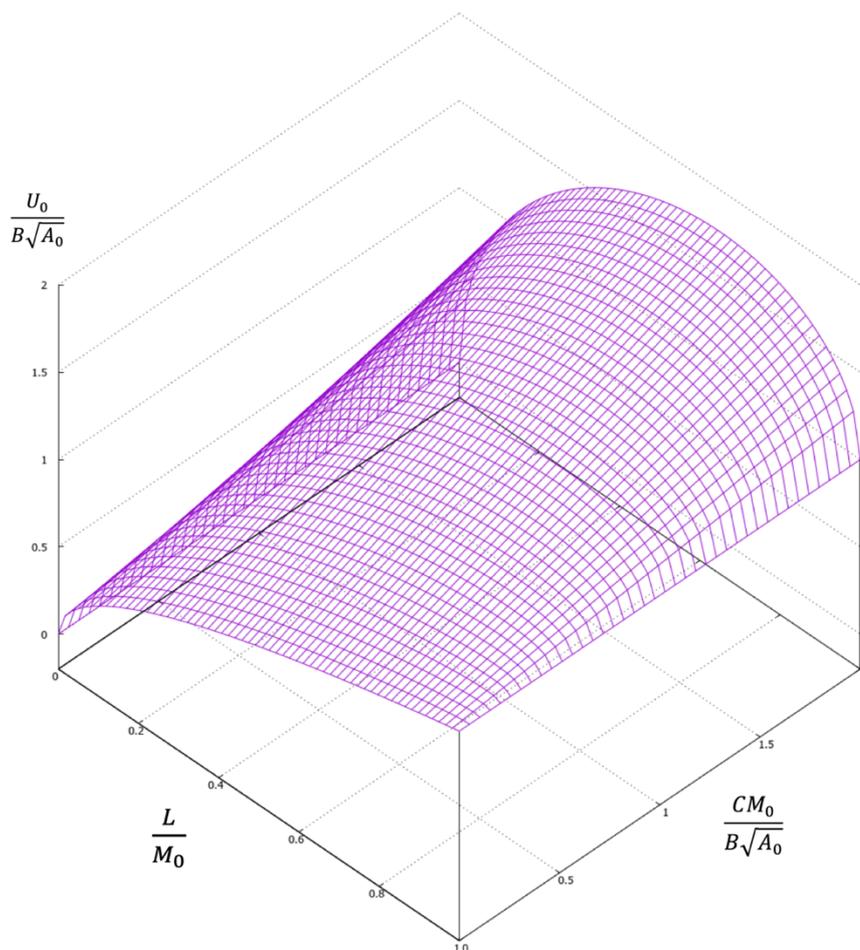


Рисунок 33 – Решение уравнения для $\alpha = 0.5, \beta = 0.5$

Данный частный случай также имеет важную практическую применимость, так как может служить в качестве рекомендаций задаваемых показателей эффективности школ для департаментов образования в рамках ограниченного для

общеобразовательной организации бюджета.

Случай IV. Общеобразовательная организация максимизирует свой усредненный за n лет образовательный результат

Этот случай является наиболее общим, и фактически равнозначен случаю, когда максимизируется сумма образовательного результата за n лет, так как горизонт планирования организации является заранее известным в модели расчета результирующей переменной.

Возьмем j -й год, с которого общеобразовательная организация начинает учет своей эффективности. В этом j -м году организация может получить образовательный результат $C(M_j - L_j)^\alpha L_j^{1-\alpha} + BA_j^\beta L_j^{1-\beta}$.

Далее материально техническая база общеобразовательной организации накапливается. На $j+1$ году ОО получит образовательный результат $C(M_{j+1} - L_{j+1})^\alpha L_{j+1}^{1-\alpha} + B(A_j + (M_j - L_j))^\beta L_{j+1}^{1-\beta}$. Можно продолжать далее. Если сложить функции с j -ого года по $j+n$ -й год, то получим:

$$U_{j\dots j+n} = C \sum_j^{j+n} L_i^{1-\alpha} * (M_i - L_i)^\alpha + B(A_j^\beta L_j^{1-\beta} + \sum_{j+1}^{j+n} (A_j + \sum_j^{i-1} (M_m - L_m))^\beta L_i^{1-\beta}) \quad (62)$$

Для того, чтобы решить задачу максимизации данной функции, необходимо найти максимум от n переменных (вектор $\bar{L} = (L_j, L_{j+1} \dots L_n)$). Задача максимизации в этом общем виде будет выглядеть следующим образом:

$$U_{j\dots j+n}(\bar{L}) \rightarrow \max \quad (59)$$

Представим решение частного случая для 2 лет, когда бюджет общеобразовательной организации из года в год не меняется и равен M_0 , $\alpha = 0.5$, $\beta = 0.5$, $C = 1$, $B = 1$.

$$U = K_1^\alpha L_1^{1-\alpha} + A_0^\beta L_1^{1-\beta} + K_2^\alpha L_2^{1-\alpha} + (A_0 + K_1)^\beta L_2^{1-\beta} \rightarrow \max \quad (63)$$

$$M_0 = K_i + L_i$$

Фактически, данная задача сводится к решению задачи максимизации от двух переменных

$$U = (M_0 - L_1)^{0.5} L_1^{0.5} + A_0^{0.5} L_1^{0.5} + (M_0 - L_2)^{0.5} L_2^{0.5} + (A_0 + (M_0 - L_1))^{0.5} L_2^{0.5} \rightarrow \max \quad (64)$$

Данная задача имеет локальное решение в рамках решения уравнения. Рассмотрим $M_0 = 50$ млн рублей, $A_0 = 150$ млн рублей.

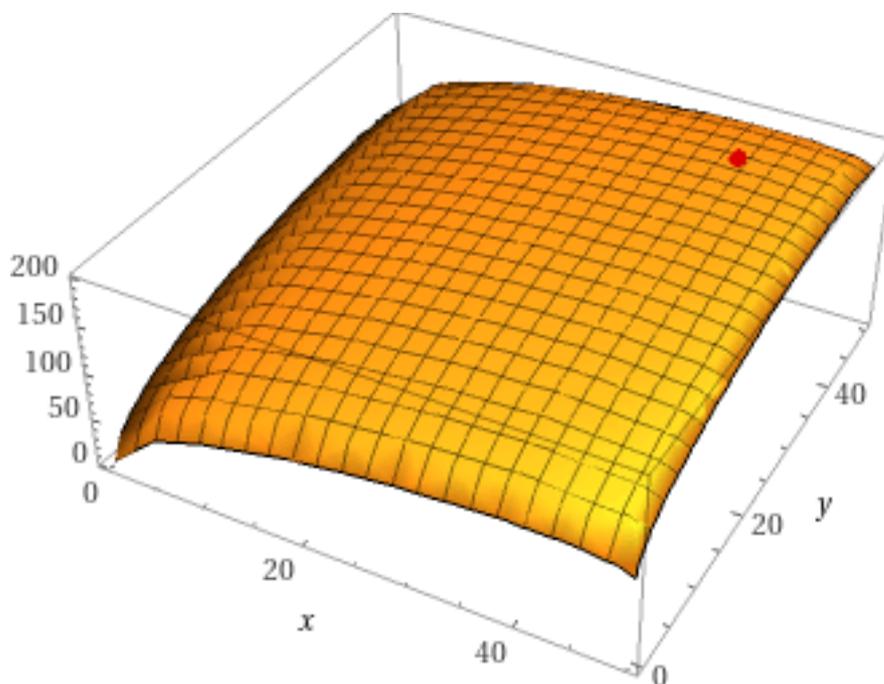


Рисунок 34 – График функции образовательного результата за 2 года и точка локального экстремума

Локальный экстремум наблюдается при $L_1 = 39.56$, $L_2 = 42.43$ (млн рублей). В первый год на фонд оплаты труда тратится 79% бюджета, во второй год 85% бюджета в данной модельной ситуации.

3.2. Вычислительный эксперимент по количественному обоснованию вида функции полезности и рассмотрение иных потенциальных функций полезности. Приложение для выбора оптимального распределения ресурсов.

В параграфе 2.1 рассмотрена функция «двойного» Кобба-Дугласа, как опорная для функций полезности. Однако есть целый ряд функций, которые удовлетворяют требованиям к функциям полезности, которые представлены выше.

На самом деле, к подобным функциям относятся ещё целый ряд степенных функций, а также логарифмические функции, функции Стоуна, функции Леонтьева. Ниже представлен целый ряд функций, которые удовлетворяют условиям, а также более подробно рассмотрено их применение [85]:

1) Степенные функции:

1.1. «Двойная» функция Кобба-Дугласа:

$$U = f(A, K, L) = CK^\alpha L^{1-\alpha} + BA^\beta L^{1-\beta} \quad (65)$$

$$0 < \alpha < 1, 0 < \beta < 1, C, B > 0$$

1.2. «Двойная» степенная функция:

$$U = f(A, K, L) = CK^{\alpha_1} L^{\alpha_2} + BA^{\beta_1} L^{\beta_2} \quad (66)$$

$$0 < \alpha_{1,2}, \beta_{1,2} < 1, C, B > 0$$

1.3. «Тройная» степенная функция:

$$U = f(A, K, L) = CK^{\alpha_1} L^{\alpha_2} + BA^{\beta_1} L^{\beta_2} K^{\beta_3} \quad (67)$$

$$0 < \alpha_{1,2,3} < 1, 0 < \beta_{1,2,3} < 1, C, B > 0$$

1.4. Упрощенная «тройная» степенная функция:

$$U = f(A, K, L) = BA^{\beta_1} L^{\beta_2} K^{\beta_3} \quad (68)$$

$$0 < \beta_{1,2,3} < 1, B > 0$$

2) «Двойная» функция Стоуна:

$$U = f(A, K, L) = C(K - K_0)^\alpha (L - L_0)^{1-\alpha} + B(A - A_0)^\beta (L - L_0)^{1-\beta} \quad (69)$$

$$0 < \alpha < 1, 0 < \beta < 1, C, B > 0$$

3) Степенная функция Леонтьева:

$$U = f(A, K, L) = \min(\alpha_1 A^\alpha K^{1-\alpha}, \alpha_2 A^\beta L^{1-\beta}) \quad (70)$$

$$0 < \alpha < 1, 0 < \beta < 1, A > 0$$

Напомним, что в текущем году N поставленное на данный год оборудование является фиксированным показателем. Тогда функция принимает следующий упрощенный вид (41):

$$U = f(A, K, L) = \min(\beta_1 K^{\alpha'}, \beta_2 L^{\beta'}) \quad (71)$$

$$0 < \alpha' < 1, 0 < \beta' < 1$$

Данная функция выражает то, что педагоги и материально-техническое обеспечение являются комплементарными друг другу (44):

$$U = \beta_1 K^{\alpha'} = \beta_2 L^{\beta'} \quad (72)$$

Отношение $\frac{K^{\alpha'}}{L^{\beta'}}$ остается постоянным. Эластичность замещения $K^{\alpha'}$ относительно $L^{\beta'}$ является постоянным и равна 0.

4) Логарифмические функции

4.1. Логарифмический аналог функции «двойного» Кобба-Дугласа:

$$U = f(A, K, L) = C \ln(K + 1) \ln(L + 1) + B \ln(A + 1) \ln(L + 1) \quad (73)$$

$$C, B > 0$$

4.2. Логарифмический аналог «тройной» степенной функции:

$$U = f(A, K, L) = C \ln(K + 1) \ln(L + 1) + B \ln(A + 1) \ln(K + 1) \ln(L + 1) \quad (74)$$

$$C, B > 0$$

4.3. Логарифмический аналог упрощенной «тройной» степенной функции:

$$U = f(A, K, L) = B \ln(A + 1) \ln(K + 1) \ln(L + 1) \quad (75)$$

$$C, B > 0$$

Итого, мы имеем 9 потенциальных моделей, которые могут описывать функцию полезности средних общеобразовательных школ. Для понимания, какие из этих функций наилучшим образом описывают реальное поведение школ, необходимо проверить функции на реальных данных.

Для того, чтобы можно было выполнить валидацию функции, в рамках данной работы были найдены базы результатов школ г. Санкт-Петербурга по Единому государственному экзамену, а также данные по бюджетам школ и числу учеников [86]. К сожалению, данные бюджетов школ и численность учеников не были представлены на едином агрегированном ресурсе и, в связи с этим, было необходимо искать данные точно по сайтам школ. Санкт-Петербург является единственным субъектом Российской Федерации, по которому общеобразовательные организации централизованно предоставляли свои данные по результатам госэкзамена в агрегированную базу, а также обладающие наибольшим числом школ в регионе среди субъектов, которые такой базой

обладают. Также важно отметить, что для рассмотрения был выбран лишь один регион, так как было важно, чтобы система управления школьным образованием была единообразна, общеобразовательные организации в регионе подчинялись одному центру (в случае Петербурга ОО подчиняются напрямую городу), а также система распределения бюджетов была централизована.

По данным Департамента образования Санкт-Петербурга в городе насчитывается 734 учреждения общего образования. Так как данные по своим бюджетам на своих сайтах выложили не все организации, то было выбрано 519 школ, где эти данные были найдены в открытом доступе. Ниже представлены распределения суммарных бюджетов школ, а также бюджетов ОО на отдельного ученика. Данные по бюджетам учреждений усреднены за 2019-2021 годы, в зависимости от того, по каким годам у ОО представлены данные. Стоит отметить, что у всех организаций в выборке представлены данные за 2020 год.



Рисунок 35 – Распределение суммарных бюджетов ОО по первоначальной выборке



Рисунок 36 – Распределение подушевых бюджетов ОО по первоначальной выборке

Как мы можем заметить, распределение образовательных учреждений является крайне неоднородным. Это может говорить о том, что первоначальная выборка содержит в себе:

- большие образовательные комплексы или малокомплектные общеобразовательные организации, в которых обучается большое число учеников (более 5-10 тысяч), или, наоборот малое число учащихся;
- лицеи, гимназии или иные общеобразовательные организации, со значительным уровнем финансирования или организации, которые привлекают большие объемы внебюджетного финансирования;
- общеобразовательные организации, которые предоставили нерелевантные данные по своему финансированию.

Так как в рамках данного исследования во внимание принимаются общеобразовательные организации, являющиеся «стандартными», в которых нет специфики внутреннего управления (как в школах-комплексах, малокомплектных школах или в школах с особым вниманием властей и внешних попечителей), а также чей финансовый ресурс слабо отличается друг от друга, необходимо взять

учреждения, в которых наблюдаются схожие бюджеты как на одного ученика, так и суммарно. Для этого в данных выборках были посчитаны среднеквадратичные отклонения. Они составили 192 123 470 рублей для общего бюджета и 1 051 035 рублей на одного ученика. Далее были выбраны диапазоны от среднего значения по обоим выборкам (бюджеты и бюджет на ученика) и из обоих диапазонов были выделены 377 школ, которые попали в оба диапазона.

Рассмотрим выборку из 376 школ, которая получилась в итоге. Распределение данных образовательных учреждений выглядит следующим образом:

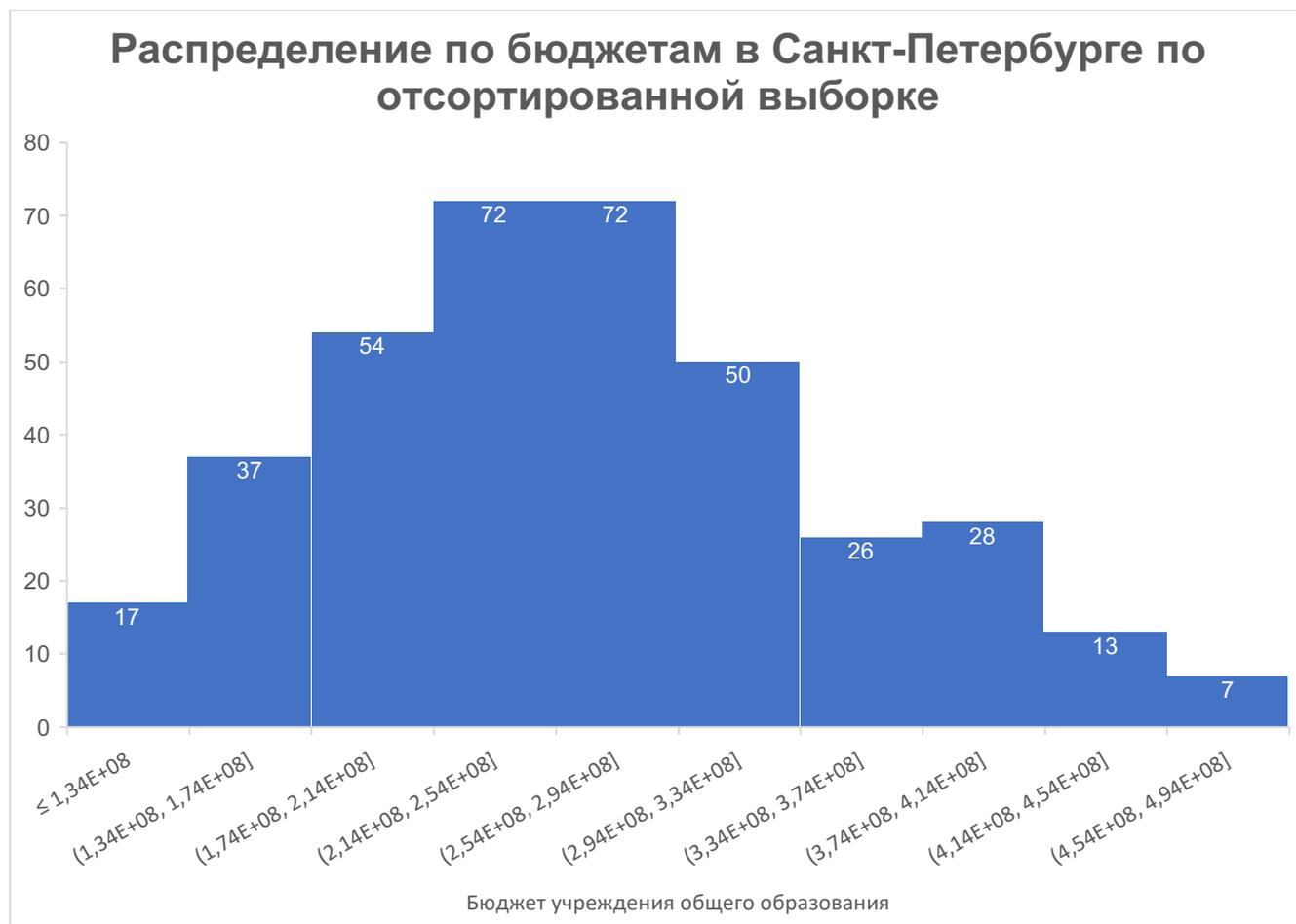


Рисунок 37 – Распределение ОО в отсортированной выборке

Как можно заметить по итоговому распределению из 376 школ, оно является похожим на нормальное распределение. Это является логичным, так как в данной выборке определены похожие друг на друга общеобразовательные организации по бюджетам, числу учеников, внутренней системе управления. Для того, чтобы

понять, является ли в итоге полученная выборка нормальной, необходимо воспользоваться стандартным тестом χ^2 Пирсона. В случае данного критерия проверяется гипотеза H_0 : что случайная величина подчиняется нормальному распределению.

Для этого разделим весь имеющийся интервал значений на k непересекающихся интервалов $(a_i, b_i], i = 1 \dots k$.

Пусть n_j количество наблюдений в каждом j -м интервале.

Вероятность попадания наблюдения в j -ый интервал при выполнении гипотезы:

$$p_j = F(b_j) - F(a_j) \quad (76)$$

Ожидаемое число попаданий в j -ый интервал:

$$E_j = np_j \quad (77)$$

Тогда необходимо посчитать статистику (75):

$$\chi^2 = \sum_{j=1}^k \frac{(n_j - E_j)^2}{E_j} \sim \chi_{k-m-1}^2 \quad (78)$$

Распределение хи-квадрат, имеющий $k-m-1$ степеней свободы. В случае нормального распределения $m=2$. Число степеней свободы равно 7.

Число интервалов оцениваем с помощью критерия Стерджесса: $k \sim 1 + 3,322 \log N$. Для нашей выборки из 376 значений получим 9,55, то есть, округляя, 10 интервалов.

Характеристики выборки имеют значения, представленные в таблице 7.

Таблица 8 – Характеристики конечной отсортированной выборки бюджетов школ

Среднее значение	264750096
Стандартное отклонение	83558953
Минимум	93919134
Максимум	474369429

Проведем тест Пирсона. Сумма статистик U равняется 16,88. При этом критическое значение статистики χ^2 при заданном числе интервалов (число степеней свободы – 7) и при уровне значимости 0.01 равняется 18,5. Сумма

статистик 16,88 меньше, чем значение 18,5. Таким образом по критерию Пирсона можно говорить о нормальности распределения на уровне $\alpha = 0,01$.

Таблица 9 – Данные теста Пирсона для определения нормальности выборки бюджетов общеобразовательных организаций

Интервал нижнее значение	Интервал верхнее значение	Частота	Теоретическая частота	Статистика U
x_{i0}	x_{i1}	m_i	n_{pi}	$(m_i - n_{pi})^2 / n_{pi}$
93919134	131964163,41	17	21,06	0,78
131964163	170009192,91	31	27,23	0,52
170009193	208054222,41	48	45,23	0,17
208054222	246099251,91	72	61,27	1,88
246099252	284144281,41	67	67,71	0,01
284144281	322189310,91	51	61,03	1,65
322189311	360234340,41	39	44,87	0,77
360234340	398279369,91	21	26,91	1,30
398279370	436324399,41	17	13,16	1,12
436324399	474369428,91	12	5,25	8,68
	Сумма	375,00	373,72	16,88
			хи-квадрат критическое	16,92

В рамках исследования рассматривается выборка общеобразовательных организаций, характеризующаяся нормальным распределением показателей, что свидетельствует о наличии стандартизированной структуры образовательных учреждений, включённых в анализ. Это обстоятельство позволяет предположить, что исследуемые организации сопоставимы по основным параметрам, таким как организационное устройство, структура расходов и подходы к ресурсному обеспечению.

Одной из ключевых задач аналитической части исследования стало выяснение, какие доли бюджетных ассигнований направлялись общеобразовательными организациями на материально-техническое обеспечение и на оплату труда педагогических работников. Кроме того, особый интерес представляли сведения о технических средствах и оборудовании, находящихся на балансовом учёте учреждений.

Для систематизации расходов были использованы открытые данные, размещённые в системе государственных закупок. На основании анализа бюджетной отчётности общеобразовательных организаций были выделены 65 направлений закупочной деятельности, формально закреплённые в планах финансово-хозяйственной деятельности. Из этого числа девять направлений были отнесены к категории расходов на материально-техническое обеспечение (МТО).

К числу таких статей отнесены:

- затраты на услуги связи;
- транспортное обслуживание;
- оплата коммунальных услуг;
- арендные платежи за использование имущества;
- расходы на проведение работ и услуг по содержанию имущества;
- увеличение стоимости объектов основных средств;
- увеличение стоимости нематериальных активов;
- пополнение материальных запасов;
- приобретение нефинансовых активов и прочие работы и услуги.

Оставшиеся 56 направлений были классифицированы как относящиеся к обеспечению персонала, включая фонд оплаты труда, начисления на заработную плату, выплаты стимулирующего характера и иные связанные расходы.

Таким образом, совокупный объём бюджетных средств, осваиваемых общеобразовательными организациями, в основном распределяется между двумя указанными направлениями: материально-техническое обеспечение и обеспечение деятельности персонала. На основе агрегированных данных по закупкам за 2020 год был произведён расчёт удельных расходов по каждому направлению в разрезе 376 образовательных учреждений, функционирующих в Санкт-Петербурге. Поскольку бюджетные значения выражены в десятках миллионов рублей, для обеспечения сопоставимости данных была применена процедура нормализации: все значения приведены к единой шкале путём деления на 10 миллионов рублей.

Что касается оценки образовательных результатов, то из-за отсутствия в открытом доступе данных о среднем балле ЕГЭ по конкретным учреждениям был

использован альтернативный показатель – число выпускников, набравших свыше 221 балла по трем профильным предметам. Такие учащиеся условно классифицируются как «супербалльники». В исследовании была принята гипотеза о наличии устойчивой положительной корреляции между числом супербалльников в учреждении и его средним баллом ЕГЭ.

С целью выявления модели, наилучшим образом соответствующей эмпирическим данным, был проведён корреляционный анализ, охватывающий все девять математических моделей, представленных в первом разделе исследования. Для реализации этой задачи была разработана программная процедура, осуществляющая подбор параметров в рамках каждой из функций полезности и определяющая степень их соответствия реальным показателям (числу супербалльников) на основании коэффициента корреляции. В итоговой части анализа приводятся результаты корреляционного тестирования, проведённого по каждому варианту функции, с указанием степени соответствия полученных значений фактическим данным, зафиксированным в публичных источниках.

Таблица 10 – Результаты корреляционного анализа по моделям функции полезности

№	Вид функции	Функция с коэффициентами (согласно вычислениям)	Корреляция
1.	Степенные функции		
1.1	$CK^{\alpha}L^{1-\alpha} + BA^{\beta}L^{1-\beta}$	$\sim K^{0.55}L^{0.45} + 2/3 * A^{0.12}L^{0.88}$	0,439
1.2	$CK^{\alpha_1}L^{\alpha_2} + BA^{\beta_1}L^{\beta_2}$	$\sim K^{0.89}L^{0.5} + 9.08 * A^{0.00625}L^{0.86}$	0,444
1.3	$CK^{\alpha_1}L^{\alpha_2} + BA^{\beta_1}L^{\beta_2}K^{\beta_3}$	$\sim K^{0.891}L^{0.571} + 11.501A^{0.008}L^{0.83}K^{0.03}$	0,442
1.4	$BA^{\beta_1}L^{\beta_2}K^{\beta_3}$	$\sim A^{0.001}L^{0.986}K^{0.015}$	0,436
2.	Функция Стоуна		
	$C(K - K_0)^{\alpha}(L - L_0)^{1-\alpha} + B(A - A_0)^{\beta}(L - L_0)^{1-\beta}$	$\sim (K - K_0)^{0.19}(L - L_0)^{0.81} + 2.9 * (A - A_0)^{0.03}(L - L_0)^{0.97}$	0,438
3.	Функция Леонтьева		
	$\min(\alpha_1 A^{\alpha} K^{1-\alpha}, \alpha_2 A^{\beta} L^{1-\beta})$	$\sim \min(0.91 * A^{0.313} K^{0.687}, 1.121 * A^{0.612} L^{0.388})$	0,328
4.	Логарифмические функции		
4.1	$C \ln(K + 1) \ln(L + 1) + B \ln(A + 1) \ln(L + 1)$	$\sim \ln(K + 1) \ln(L + 1) + 0.11 * \ln(A + 1) \ln(L + 1)$	0,392
4.2	$C \ln(K + 1) \ln(L + 1) + B \ln(A + 1) \ln(K + 1) \ln(L + 1)$	$\sim \ln(K + 1) \ln(L + 1) + 0.00875 * \ln(A + 1) \ln(K + 1) \ln(L + 1)$	0,389

4.3	$B \ln(A + 1) \ln(K + 1) \ln(L + 1)$	$\sim \ln(A + 1) \ln(K + 1) \ln(L + 1)$	0,324
-----	--------------------------------------	---	-------

Принцип работы программы основан на методе градиентного спуска и на генетическом алгоритме. Более детально описание работы данного программного комплекса описано в главе IV.

Анализ корреляционных связей между результатами моделирования и эмпирическими данными выявил ряд существенных теоретико-методологических аспектов, имеющих значительное значение для интерпретации полученных результатов. В частности, при работе со степенными и логарифмическими функциями акцент необходимо делать не столько на абсолютные значения параметров C и B , сколько на соотношение между ними. Это объясняется тем, что функция полезности в таких моделях определяется в большей степени относительными изменениями переменных, чем их абсолютными величинами. Таким образом, сама структура функции остается инвариантной при пропорциональном изменении параметров, что допускает интерпретацию результатов в нормированной форме.

При построении функции Стоуна исходные значения параметров K_0, L_0, A_0 были заданы как минимальные наблюдаемые значения соответствующих переменных в пределах анализируемой выборки. Подобный подход обеспечивает согласование модели с эмпирическими граничными условиями. В модели Леонтьева затраты на оборудование были интерпретированы как фиксированные для каждой школы, что отражает принципиальное допущение об их неизменности в краткосрочном периоде, а также соответствует представлениям о жесткости производственной структуры в образовательной сфере.

Для проверки полученных результатов аналогичные процедуры были проведены для школ Нижегородской и Свердловской областей. Нехватка данных для обработки является одной из болевых точек, так как очень ограниченное число регионов предоставляют их. Так в рамках анализа данных двух областей из более 700 школ осталось лишь 284 учреждения, которые предоставили на своих сайтах и в аналитических источниках данные за 2023 и 2024 год, по которым проводилось

моделирование. В целом ряде регионов (75 субъектов) не предоставляются в открытый доступ даже данные по «супербалльникам».

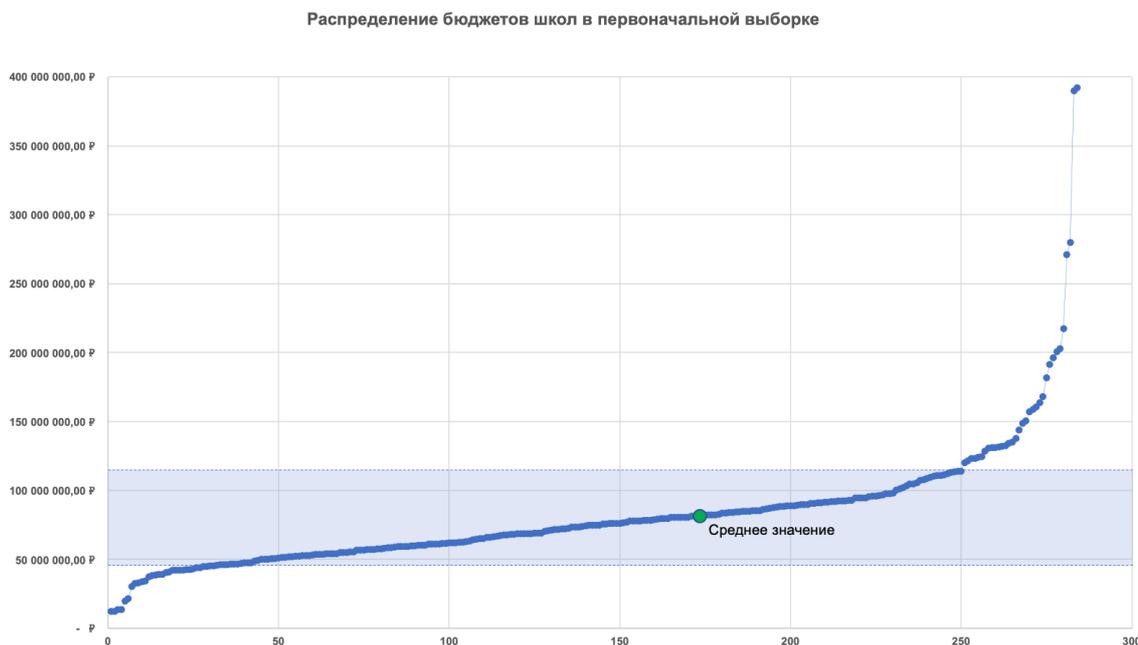


Рисунок 38 – Распределение суммарных бюджетов ОО по первоначальной выборке (Нижегородская и Свердловская области)



Рисунок 39 – Распределение подушевых бюджетов ОО по первоначальной выборке (Нижегородская и Свердловская области)

Аналогично процедуре выше оставим из выборки только похожие друг на друга школы по численности, подушевому бюджетированию и общим бюджетам.

Остаются данные 191 школ. Рассмотрим выборку. Распределение данных образовательных учреждений по бюджетам выглядит следующим образом:

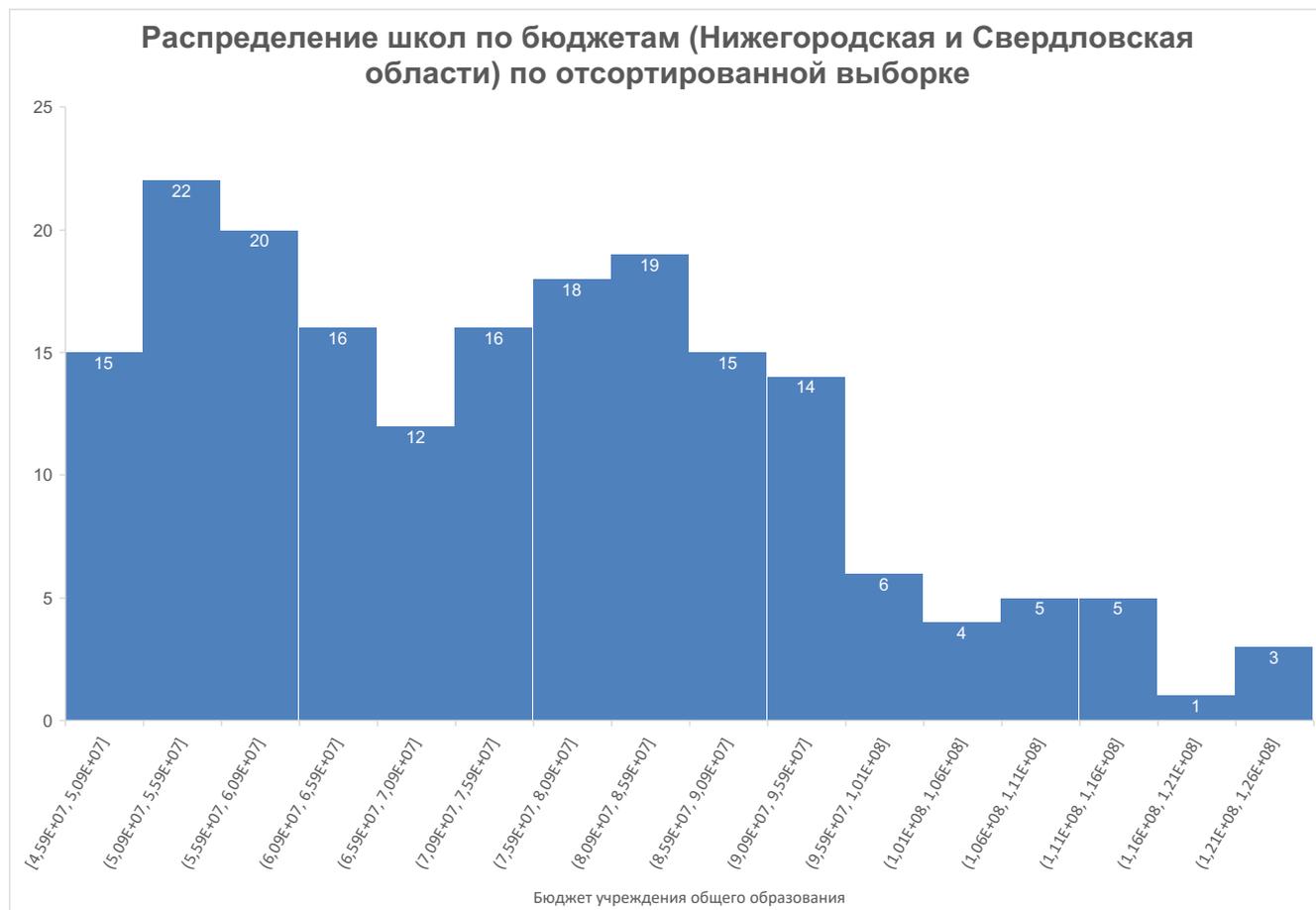


Рисунок 40 – Распределение школ по бюджетам ОО в выборке 191 школ

Как мы можем видеть, данная выборка не похожа на нормальную. Это может быть связана с тем, что выборка состоит из школ двух регионов, а также с различиями региональных систем образования. В первых 70 школах по выборке 23 школы относятся к Нижегородской области, а 47 школ к Свердловской области. Также, к областным территориям (не областные центры) в первых 70 школах по выборке относятся 42 образовательных учреждения. Проверим выборку с помощью теста Пирсона. По критерию Стерджесса для выборки из 191 строк количество интервалов должно быть равно 8.

Таблица 11 – Данные теста Пирсона для определения нормальности выборки бюджетов общеобразовательных организаций (Нижегородская и Свердловская области)

Среднее значение	74882482	Интервал нижнее значение	Интервал верхнее значение	Частота	Теоретическая частота	Статистика U
Стандартное отклонение	18791899	ξ_0	ξ_1	m_i	np_i	$(m_i - np_i)^2 / np_i$
Минимум	45944551	45944551,18	55599360,53	37	29,11	2,14
Максимум	123183026	55599361	65254169,88	34	28,99	0,87
Размах	77238474,81	65254170	74908979,23	27	37,51	2,94
Карман	9654809,351	74908979	84563788,59	34	37,48	0,32
Число интервалов	8	84563789	94218597,94	30	28,93	0,04
		94218598	103873407,29	13	17,25	1,05
		103873407	113528216,64	10	7,94	0,53
		113528217	123183025,99	6	2,82	3,57
			Сумма		190,03	11,46
					хи-квадрат критическое	11,64

Согласно проведенному тесту о нормальности выборки можно говорить с уровнем значимости 4% (0.04), что является достаточно высоким показателем.

Тем не менее, посмотрим на выше представленные модели и как эти данные коррелируют с представленными данными по «супербалльниками».

Таблица 12 – Результаты корреляционного анализа по моделям функции полезности для данных Свердловской и Нижегородской областей.

№	Вид функции	Функция с коэффициентами (согласно вычислениям)	Корреляция
1.	Степенные функции		
1.1	$CK^\alpha L^{1-\alpha} + BA^\beta L^{1-\beta}$	$\sim K^{0.94} L^{0.05} + 0.95 * A^{0.54} L^{0.46}$	0,45
1.2	$CK^{\alpha_1} L^{\alpha_2} + BA^{\beta_1} L^{\beta_2}$	$\sim K^{0.26} L^{0.03} + 0.78 * A^{0.45} L^{0.04}$	0,47
1.3	$CK^{\alpha_1} L^{\alpha_2} + BA^{\beta_1} L^{\beta_2} K^{\beta_3}$	$\sim K^{0.19} L^{0.13} + 0.99 A^{0.43}$	0,46
1.4	$BA^{\beta_1} L^{\beta_2} K^{\beta_3}$	$\sim A^{0.37} L^{0.0035}$	0,47
2.	Функция Стоуна		
	$C(K - K_0)^\alpha (L - L_0)^{1-\alpha} + B(A - A_0)^\beta (L - L_0)^{1-\beta}$	$\sim (K - K_0)^{0.87} (L - L_0)^{0.13} + 0.67 * (A - A_0)^{0.69} (L - L_0)^{0.31}$	0,44
3.	Функция Леонтьева		
	$\min(\alpha_1 A^{\alpha_1} K^{1-\alpha_1}, \alpha_2 A^{\beta_1} L^{1-\beta_1})$	$\sim \min(0.66 * A^{0.46} K^{0.54}, 0.213 * A^{0.65} L^{0.35})$	0,46
4.	Логарифмические функции		
4.1	$C \ln(K + 1) \ln(L + 1) + B \ln(A + 1) \ln(L + 1)$	$\sim \ln(K + 1) \ln(L + 1) + \ln(A + 1) \ln(L + 1)$	0,35
4.2	$C \ln(K + 1) \ln(L + 1) + B \ln(A + 1) \ln(K + 1) \ln(L + 1)$	$\sim \ln(K + 1) \ln(L + 1) + \ln(A + 1) \ln(K + 1) \ln(L + 1)$	0,37
4.3	$B \ln(A + 1) \ln(K + 1) \ln(L + 1)$	$\sim \ln(A + 1) \ln(K + 1) \ln(L + 1)$	0,4

Аналогично прошлому рассмотрению можно заметить, что степенные модели обладают наибольшей корреляцией.

Следует подчеркнуть, что в рамках проведенного анализа не использовались значения среднего балла ЕГЭ учащихся, поскольку соответствующие данные находятся вне открытого доступа. Вместо этого в качестве косвенного индикатора образовательных достижений было выбрано число так называемых «супербалльников» — учащихся, набравших более 221 балла по трем приоритетным предметам. Подобное допущение позволило ввести количественную метрику качества образовательного процесса, приемлемую для целей статистического сопоставления.

Корреляционный анализ, проведенный на основе эмпирических данных и математических моделей, продемонстрировал, что наилучшее соответствие наблюдаемым результатам показывают модели, основанные на степенной зависимости. Особенно высокие значения коэффициентов корреляции зафиксированы у двойной и тройной степенных моделей, а также у функции Кобба–Дугласа. Несмотря на ограниченную доказательную силу корреляционного анализа в строгом смысле причинности, полученные результаты позволяют выдвинуть обоснованную гипотезу о том, что функция полезности общеобразовательных организаций может быть аппроксимирована степенной функцией, включающей в качестве аргументов расходы на материально-техническое обеспечение (МТО), оплату труда педагогических работников и величину накопленной материальной базы.

Особый интерес представляют значения показателей степени переменной L (оплата труда) в тех моделях, которые продемонстрировали наибольшую корреляцию с фактическими данными. Существенная величина данного показателя свидетельствует о ведущей роли затрат на педагогический персонал в формировании итогового образовательного результата. Это позволяет сделать вывод о приоритетности инвестиций в человеческий капитал в системе общего образования по сравнению с вложениями в инфраструктурные компоненты. Однако при этом значение материально-технического обеспечения также не следует недооценивать, поскольку его вклад в совокупную полезность учреждения сохраняется на существенном уровне.

В результате обобщения проведенного анализа формулируется ключевое теоретическое положение о том, что функция полезности общеобразовательной организации с высокой степенью вероятности может быть представлена в виде степенной функции, аргументами которой выступают расходы на МТО, оплата труда педагогов и величина материальной базы, числящейся на балансе учреждения. Кроме того, в качестве подходящей для дальнейшего теоретического моделирования может рассматриваться модифицированная модель Кобба–Дугласа в двойной форме, а также иные вариации степенных функций. Существенным выводом является и тот факт, что наибольший удельный вес в структуре расходов образовательных учреждений должен приходиться на оплату труда, что подтверждается относительными показателями степени данной переменной в рассмотренных степенных моделях и может быть интерпретировано как отражение зависимости качества образовательного процесса от квалифицированного и мотивированного педагогического состава.

3.3. Рассмотрение функции «двойного» Кобба-Дугласа на реальных данных и оптимальное распределение ресурсов общеобразовательной организации

Как видно из параграфа 2.3, функция полезности общеобразовательные организации в рамках формы «двойного» Кобба-Дугласа на основе анализа данных закупок, бюджетов и образовательного результата более 500 учреждений Санкт-Петербурга выражается следующим образом (76):

$$U \sim K^{0.55} L^{0.45} + 2/3 * A^{0.12} L^{0.88} \quad (79)$$

Анализ проводился на основе выборки, сформированной из общеобразовательных организаций, занимающих средние позиции в рейтинге школ города Санкт-Петербурга. При отборе учитывались не только количественные параметры — такие как численность учащихся и педагогического состава, а также объём годового бюджета, — но и качественные различия в

распределении финансовых ресурсов и достигнутых образовательных результатах. Таким образом, выборка включала учреждения с сопоставимыми исходными условиями функционирования, но демонстрирующие разнонаправленную эффективность деятельности.

В рамках рассматриваемой модели материально-техническое обеспечение (МТО) представлено двумя категориями: накопленным ресурсом, обозначаемым переменной A , и приобретёнными в текущем отчетном периоде средствами, соответствующими переменной K . Переменная A отражает долгосрочные вложения в инфраструктуру, оборудование, учебно-лабораторную базу и иные активы, переходящие из одного бюджетного периода в другой. Напротив, переменная K фиксирует объёмы текущих закупок, произведённых в рамках годового планирования. В свою очередь, переменная L описывает совокупные затраты на оплату труда педагогического персонала, включая базовую заработную плату, компенсационные и стимулирующие выплаты, а также иные формы вознаграждения.

Управление всеми тремя переменными осуществляется посредством распределительных решений, принимаемых руководством образовательной организации. Влияние на формирование значений переменных оказывает не только сама администрация школы, но и внешние источники финансирования: муниципальные и региональные бюджеты, предоставляемые районными органами управления образованием, а также дополнительные целевые средства в виде грантов, субсидий и иных форм государственной или частной поддержки.

Совокупный объем доступных школе ресурсов на календарный год обозначается как M , который формируется как сумма текущих расходов на закупку материальных средств и фонда оплаты труда, то есть $M=K+L$. Следует отметить, что для обеспечения корректности модели все указанные переменные выражаются в едином измерителе — в рублях. Это обусловлено необходимостью унификации данных, а также логикой бухгалтерского и управленческого учёта, в рамках которого как накопленные активы, так и ежегодные финансовые потоки подлежат стоимостной оценке.

Таким образом, предложенная модель отражает зависимость параметров функционирования общеобразовательной организации от административных стратегий и параметров внешнего финансирования, создавая основу для дальнейшего анализа взаимосвязей между структурой бюджета и уровнем образовательных достижений.

Максимизируем функцию и приведем получившееся выражение к виду:

$$\gamma C_2 C = C_1 ((1 - \alpha) + \gamma)^{\alpha - \beta} (\alpha - \gamma)^{1 - \alpha} C_2^{1 - \beta} \quad (80)$$

$$\gamma \in (-(1 - \alpha); \alpha)$$

Коэффициенты $\alpha = 0.55$; $\beta = 0.12$.

Получаем выражение $\frac{3}{2} \gamma C_2^{0.12} = C_1 (0.55 - \gamma)^{0.45} (0.45 + \gamma)^{0.43}$ или $\gamma =$

$$\frac{2C_1}{3C_2^{0.12}} (0.55 - \gamma)^{0.45} (0.45 + \gamma)^{0.43} = \frac{1.66A_0^{0.12}}{3M_0^{0.12}} (0.55 - \gamma)^{0.45} (0.45 + \gamma)^{0.43},$$

$$\gamma = \frac{L}{M_0} - 0.45.$$

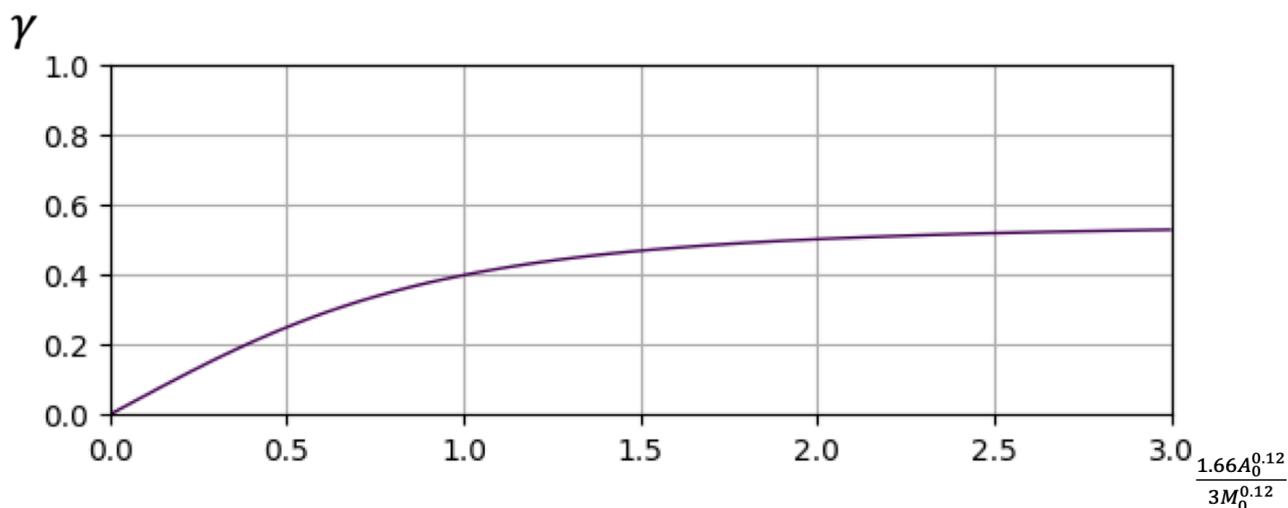


Рисунок 41 – Функция полезности общеобразовательных организаций («Двойной» Кобба-Дуглас) на основе данных Санкт-Петербурга

Анализ графической интерпретации решения ранее полученного уравнения демонстрирует логически последовательный вывод относительно соотношения между уровнем обеспеченности общеобразовательной организации материально-техническими ресурсами и необходимой долей расходов на оплату труда

педагогического коллектива. Введённое в модель отношение накопленного фонда оборудования к совокупному бюджету образовательного учреждения на текущий финансовый год, обозначаемое как A_0 / M_0 , позволяет охарактеризовать степень базового оснащения учреждения, которая, в свою очередь, оказывает прямое влияние на приоритеты в распределении финансов.

Согласно построенному графику, при увеличении значения данного отношения наблюдается закономерный сдвиг акцента в сторону увеличения доли затрат на педагогический состав. Иными словами, по мере роста обеспеченности учреждения инфраструктурой и оборудованием в предыдущие периоды, возрастает необходимость направлять большую часть текущих ресурсов на кадровое обеспечение образовательного процесса. В предельном случае, когда накопленные материальные ресурсы значительно превышают ежегодный бюджет (математически — при $A_0 / M_0 \rightarrow \infty$), рациональная стратегия предполагает практически полное перенаправление текущих финансовых средств на оплату труда, приближая значение доли таких расходов к асимптоте функции на уровне $\gamma=0,55$.

Противоположная ситуация возникает при нулевом значении отношения A_0 / M_0 , что соответствует сценарию, при котором учреждение практически не располагает материально-технической базой. В такой ситуации, для достижения минимально необходимого уровня функционирования, не менее 45 % общего бюджета должно быть направлено на закупку оборудования, инвентаря и иного учебного оснащения, обеспечивающего базовые условия реализации образовательных программ.

Следует подчеркнуть, что для большинства общеобразовательных организаций, согласно данным бухгалтерской отчётности, величина отношения A_0 / M_0 варьируется в пределах от 3 до 4. Это означает, что материальные активы в несколько раз превышают размер ежегодного бюджета учреждения. При таких параметрах модель указывает на необходимость направления приблизительно 75 % текущих финансовых ресурсов на обеспечение фонда оплаты труда. Указанный уровень распределения бюджетных средств подтверждает доминирующее

значение человеческого капитала в структуре факторов, определяющих образовательный результат при наличии устойчивой материально-технической базы.

Также важно отметить, что данные практические выводы применимы, если общеобразовательная организация максимизирует образовательный результат на текущий рассматриваемый год.

3.4. Гипотеза о наибольшем влиянии научно-лабораторного оборудования на значение целевой функции общеобразовательные организации

Механизм «затраты-эффект» является важным в нашей модели и имеет решающее значение (см. параграф 1.2). Предположим, что общеобразовательная организация может приобрести несколько единиц оборудования, имеющего определенное влияние на образовательный результат. В рамках данной работы был проанализирован список из более чем 464 видов товаров (на основе Общероссийского классификатора видов экономической деятельности), которые все средние учебные заведения закупили в России за 2019-2020 годы (данные собраны авторами с российского сайта государственных закупок). Все закупленные товары сгруппированы на 22 укрупненных ключевых группы. Этими группами являются:

1. конструкторское и исследовательское оборудование;
2. вычислительное оборудование/компьютеры;
3. учебная литература и гаджеты;
4. мебель;
5. офисное оборудование;
6. развлечения и игрушки;
7. устройства ввода/вывода данных;
8. телевизоры, экраны, видео, фотографии;

9. спорт;
10. предметы изобразительного искусства;
11. устройства хранения данных + работа с данными;
12. звуковое оборудование;
13. предметы для рисования и канцелярские принадлежности;
14. столовая/кухня;
15. компьютерные программы;
16. музыкальные инструменты;
17. товары для технологии (мужчины) /строительные инструменты;
18. телекоммуникационное оборудование;
19. товары для технологии (женщины);
20. лабораторное оборудование;
21. прочие услуги;
22. прочее.

Соответственно, у нас есть 22 варианта расходования средств на материальную базу.

Оценку того, что необходимо закупать в первую очередь можно оценить согласно приоритету влияния на образовательный результат. При таком подходе более высокая оценка эффекта покупки соответствует более высокому приоритету закупки. Если была проведена оценка средств, которые необходимо потратить на каждую покупку, то, в этом случае, становится возможным упорядочить существующий список потенциальных инвестиций и определить последовательность их осуществления, сформировав иерархию покупок.

В целях определения приоритетных направлений бюджетных расходов, оказывающих наибольшее влияние на результативность образовательной деятельности, был проведён комплексный анализ данных, охватывающих как показатели учебных достижений выпускников, так и сведения о материально-финансовом обеспечении общеобразовательных организаций Санкт-Петербурга. В качестве эмпирической базы использовалась агрегированная выборка, включающая сведения о количестве учащихся, достигших различных диапазонов

балльных результатов по итогам Единого государственного экзамена (ЕГЭ), а также информация о контрактных закупках указанных образовательных учреждений, зафиксированных в государственной системе размещения заказов.

Рассматриваемая база данных содержит детализированную классификацию выпускников по четырём категориям в зависимости от суммарного количества набранных баллов на трёх профильных экзаменах: от 0 до 160 баллов, от 161 до 220 баллов, от 221 до 250 баллов и от 251 до 300 баллов включительно. Такая градация позволяет провести стратифицированный анализ, направленный на выявление связи между распределением финансовых ресурсов и качественными характеристиками образовательного результата. При этом под результатом понимается не усреднённый балл, а распределение учащихся по диапазонам балльной успешности, что позволяет более точно оценить вклад различных факторов в достижение высоких или, напротив, низких учебных результатов.

Сведения о закупках были получены из открытых источников, агрегирующих данные о государственных контрактах, заключённых общеобразовательными учреждениями. Эти данные включают типы приобретённых товаров и услуг, объёмы и направления расходов, а также временные характеристики проведённых закупок, что предоставляет возможность оценить актуальные бюджетные приоритеты каждой конкретной школы. Сопоставление этих параметров с уровнем результативности выпускников позволило сформировать эмпирическую основу для последующего корреляционного анализа с целью выявления наиболее значимых переменных, определяющих эффективность функционирования образовательных организаций.

Следует обратить особое внимание на закупки оборудования, влияющие на появление «супербалльников» - учащихся, набравших более 251 балла. Для этого были построены корреляции между количеством супербалльников в общеобразовательной организации и стоимостью приобретенного оборудования в указанных выше областях (22 ключевых области). Результаты количественного анализа приведены в таблице 6.

Таблица 13 – Корреляции между количеством супербалльников в школах Санкт-Петербурга и тратами на направления приобретаемого оборудования

Категория товара	Корреляция с ЕГЭ
Лабораторное оборудование	0,74
Телевизоры, экраны, видео, фото	0,566
Телекоммуникационное оборудование	0,565
Устройства для хранения данных и работа с данными	0,529
Прочие услуги	0,404
Офисное оборудование	0,36
Вычислительное оборудование/компьютеры	0,28
Компьютерные программы	0,2
Устройства ввода/вывода данных	0,169
Учебная литература и гаджеты	0,139
Спорт	0,119
Развлечения и игрушки	0,11
Мебель	0,0969
Конструкторское и исследовательское оборудование	0,0933
Звуковое оборудование	0,0183
Прочее	-0,0173
Предметы изобразительного искусства	-0,09
Предметы для рисования и канцелярия	-0,09
Столовая/кухня	-0,109
Технология для мальчиков/строительство	-0,109
Технология для девочек	-0,12
Музыкальные инструменты	-0,25

Из результатов количественного анализа, можно выдвинуть гипотезу, что наиболее существенное влияние на появление супербалльников оказывают закупки лабораторного и телекоммуникационного оборудования, а также компьютерных технологий. Эти выводы могут подтверждаться текущей тенденцией к цифровизации образования и внедрению исследовательских дисциплин, которые играют высокую роль в подготовке школьников. Также эта гипотеза может подтверждаться качественными исследованиями STEM (наука-технология-инженерия-математика) образования, проведенными ранее.

Более того, интересно, что покупка учебной литературы практически не коррелирует с появлением супербалльников, что может свидетельствовать о гипотезе недостаточного качества учебной литературы в российских школах.

Таким образом, мы можем определить различные гипотетические области расходов, которые положительно влияют на значения функции полезности школ,

что может быть рекомендациями для ОО при проведении закупок. В зависимости от влияния покупки на результат обучения может оценивать покупки в рамках реализации механизма затраты-эффект.

В рамках данной главы разработаны математические модели взаимодействий участников мультиорганизационной системы общего образования. Таким образом в главе 3 разработаны модели взаимодействия участников мультиорганизационной системы общего образования на основе реальных данных с целью оптимального распределения ресурсов и управления, а также осуществлена алгоритмизация процесса принятия решений в учреждении общего образования, в том числе с применением информационных технологий.

Глава IV. Основные практические результаты

4.1. Перечень практических рекомендаций для учреждений общего образования и программный комплекс для поддержки принятия решений

В выше представленных главах разработан широкий спектр математического обеспечения для работы общеобразовательных учреждений Российской Федерации внутри мультиорганизационной системы.

Во-первых, проанализированы теоретические основы, в рамках которых общеобразовательная организация является полноценным участником образовательной системы и имеет широкое число взаимодействий с ее участниками. В рамках методического подхода представлены и структурированы модели механизмов управления, которые позволяют количественно измерить влияние решений директора на управление образовательной организацией. Данные модели, в частности механизмы управления, могут быть использованы для моделирования взаимодействий учреждений общего образования с внешней средой.

Так, к примеру, анализ моделей конкуренции за закупку показал, что более конкурентными на рынке будут организации, максимизирующие выручку, а также в рамках работы разработана формула, по которой компании-поставщики могут определять, на сколько стоит опускать цену в рамках торгов. Анализ моделей конкуренции ОО за бюджет подтвердил, что органы власти, контролирующие бюджет, лидируют при разделении бюджета, а также школа, которая собрала директоров-единомышленников, может предлагать программы развития, при принятии которых она будет получать максимальные привилегии. Также описанные модели предлагают широкий ряд механизмов взаимодействия и стимулирования поставщиков (например, стимулирование за результат или комплексное оценивание).

Важной частью работы является определение целевой функции общеобразовательной организации. Предложена и апробирована функция образовательного результата, которая позволяет получить распределение бюджета между МТО и затратами на труд. Фактически, определенная функция полезности позволяет школам определять оптимальное распределение ресурсов. Более того, разработано приложение (код для ЭВМ), которое позволяет по массовым данным ОО по ЕГЭ и бюджетам определять функцию полезности школ.

Также в рамках работы выдвинута гипотеза о том, что закупка лабораторного оборудования наибольшим образом влияет на образовательные результаты. Непосредственное практическое применение результатов описано в данной главе III ниже, что также подтверждено актами о внедрении.

Отдельным важным результатом работы является разработка программного комплекса, в рамках которого директор школы может определять оптимальные параметры для управления школой. Модель выдаёт два набора данных в зависимости от выбранного алгоритма (по генетическому алгоритму и алгоритму градиентного спуска). Программа написана на языке Python, внешний вид программы представлен на рисунке 42. В программе доступен формульный движок, который позволяет оперативно оценивать пригодность тех или иных формул для моделирования функций полезности. Также код программы доработан для удобства пользователя. Код программы можно увидеть в Приложении Б.

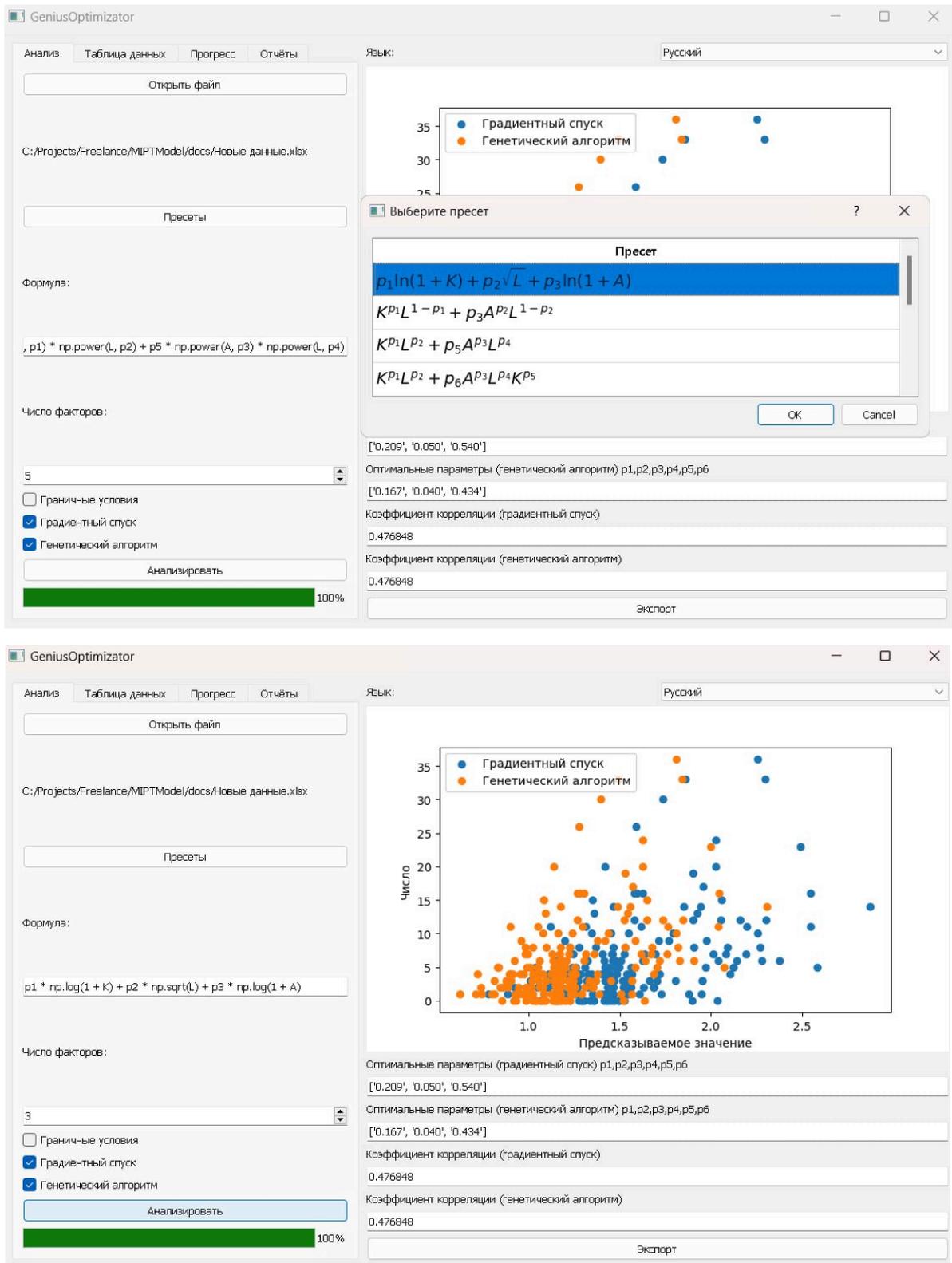


Рисунок 42 – Интерфейс программного комплекса для корреляционного моделирования

Градиентный спуск (Gradient Descent) – это метод оптимизации, используемый для нахождения минимума целевой функции. В контексте данного приложения он применяется для нахождения набора параметров,

максимизирующего коэффициент корреляции между предсказанными и фактическими значениями. В программе используется алгоритм градиентного спуска L-BFGS-B, оптимизационный метод, используемый для минимизации функций, особенно если они зависят от множества переменных и имеют ограничения (границы) на значения этих переменных.

L (Limited-memory) — метод использует ограниченное количество памяти, что делает его эффективным для задач с большим числом переменных.

BFGS — это классический метод оптимизации, использующий приближение к кривизне функции (градиент и гессиан, но без хранения полной матрицы гессиана).

B (Bounded) — означает, что алгоритм поддерживает граничные условия переменных (например, переменная “альфа” должна оставаться в пределах от 0 до 1. Алгоритм начинает свою работу с некоторого начального приближения решения).

Сам метод использует информацию о кривизне (как изменяется градиент) для более “умного” выбора направления. Если во время обновления переменные выходят за границы, алгоритм корректирует эти переменные в соответствии с границами. Процесс повторяется до тех пор, пока не будет достигнута сходимость (функция почти не меняется). Этот метод часто используется в машинном обучении (например, для настройки нейросетей) и в других задачах численной оптимизации. Он работает быстрее, чем обычный градиентный спуск, особенно для больших задач, так как не требует хранения полной информации о кривизне.

Генетический алгоритм (Genetic Algorithm, GA) – это эвристический метод оптимизации, имитирующий процесс естественного отбора. Он применяется в приложении для поиска глобально оптимального набора параметров.

Ниже представлена детализированная структура (техническое описание) программного комплекса поддержки процессов принятия решений руководителями неоднородных образовательных организаций – приложение на основе PyQt5, предназначенное для анализа данных и оптимизации параметров с использованием градиентного спуска и генетического алгоритма.

1. Структура проекта

Файл: `analysis_app.py`

Основной файл приложения, содержащий:

- Графический интерфейс (PyQt5);
- Обработку данных (`pandas`, `numpy`);
- Оптимизационные методы (`scipy`, `random`);
- Построение графиков (`matplotlib`);
- Работу с `PresetsDialog` (предустановленные формулы).

2. Функциональные возможности

2.1 Интерфейс

Приложение включает в себя:

- Окно с вкладками:
 - o `Analysis` (основной анализ данных);
 - o `Data Table` (таблица загруженных данных);
 - o `Progress` (логирование и прогресс выполнения анализа);
- График для отображения результатов;
- Поля ввода формул и параметров;
- Поля для отображения оптимизированных значений.

2.2 Основные функции

- Загрузка данных из Excel (`load_file()`)
- Выбор и ввод формулы для оптимизации;
- Настройка границ параметров;
- Запуск анализа (градиентный спуск / генетический алгоритм);
- Отображение результатов на графике;
- Экспорт результатов (PDF, MATLAB).

2.3 Поддерживаемые методы оптимизации

1. Градиентный спуск (L-BFGS-B) (`objective_function()`)
 - Минимизация отрицательного коэффициента корреляции (Pearson);
 - Выбор лучших параметров путем численной оптимизации.
2. Генетический алгоритм (`genetic_algorithm()`)

- Создание популяции случайных решений;
- Скрещивание и мутация параметров.
- Отбор лучших решений по коэффициенту корреляции

3. Используемые библиотеки

Библиотека Назначение

PyQt5	Графический интерфейс
numpy	Численные вычисления
pandas	Обработка данных
matplotlib	Визуализация данных
scipy.stats	Корреляционный анализ
scipy.optimize	Оптимизация (L-BFGS-B)

4. Запуск приложения

4.1 Установка зависимостей

Перед запуском установите необходимые библиотеки:

```
pip install numpy pandas matplotlib scipy PyQt5
```

4.2 Запуск

```
python analysis_app.py
```

5. Ключевые классы

5.1 AnalysisApp (Основное окно)

Методы:

- `initUI()` – Инициализация интерфейса;
- `load_file()` – Загрузка данных;
- `start_analysis()` – Запуск анализа;
- `run_analysis()` – Оптимизация параметров;
- `update_graph()` – Обновление графика;
- `export_results()` – Экспорт данных.

Описание алгоритмов выглядит следующим образом

1. Алгоритм градиентного спуска.

Алгоритм работы в коде:

1. Инициализация параметров – выбирается начальный набор параметров (в коде это `initial_params = [0.1] * factors`);
2. Вычисление градиента целевой функции (`objective_function()`) – метод минимизирует отрицательный коэффициент корреляции Пирсона (т.е. – максимизирует корреляцию);
3. Далее используется численный метод L-BFGS-B (`minimize(self.objective_function, ...)`) для нахождения локального минимума;
4. Обновляются параметры и завершаются итерации при достижении сходимости.

2. Генетический алгоритм.

Алгоритм работы в коде:

1. Инициализация случайной популяции (`np.random.uniform(...)`) – создается множество наборов параметров;
2. Оценка приспособленности – вычисляется коэффициент корреляции (`objective_function()`);
3. Отбор лучших решений – выбираются 25 лучших из 50 особей;
4. Скрещивание и мутация – оставшиеся параметры смешиваются, а часть особей случайно мутирует (`child += np.random.normal(...)`);
5. Проверка границ параметров (`clip_params()`) – параметры остаются в допустимом диапазоне;
6. Повторение цикла – алгоритм выполняется 100 итераций.

Использование программы позволило ускорить процесс моделирования, более точно оценить функции полезности при разных параметрах.

4.2. Применение результатов работы на примере Фонда развития Физтех-школ и АНОО «Физтех-лицей» им. П.Л. Капицы

Фонд развития Физтех-школ является Фондом развития и тиражирования «системы Физтеха» для среднего образования, как примера практической реализации инновационной модели школьного и дополнительного образования в рамках территориального кластера МФТИ. Фонд реализует большое число программ общего среднего образования, нацеленных на развитие учащихся в сфере технических и естественных наук, занимается подготовкой педагогов, талантливых школьников по физике, математике, информатике, химии, биологии, проектной деятельности, проводит обучение педагогическим практикам. Через образовательные программы Фонда прошло более 180 000 педагогов и учеников с 2009 по 2023 год [87, 88].

Фонд ведет большое число образовательных программ, к числу которых относятся:

- Программа «Наука в регионы» по созданию сети профильных классов и кружков в регионах Российской Федерации после обучения педагогов предметной специальности, а также с дистанционным сопровождением деятельности учителя [89];
- Программа «Классы Физтех XXI», в рамках которой обучается педагог (1-6 класс), после чего обученный педагог ведет занятия в муниципальной ОО в рамках «продленки» [90];
- Старт в инновации – проектная конференция для учащихся, в рамках которой они могут показать свои научные и инженерные разработки, победители конкурса получают возможность поступить в университеты РФ [91];
- Курсы повышения квалификации для педагогического состава школ;
- Консультирование образовательных учреждений об организации ОО (образовательный консалтинг);

– Иные программы.

Основным барьером образовательных организаций при продвижении своих собственных образовательных проектов является слабое понимание того, как работает рынок, как действуют образовательные организации и как принимают решения.

Фактически, в базовом варианте, Фонд развития Физтех-школ является поставщиком образовательного контента для образовательных учреждений страны, а также поставщиков образовательных услуг. В рамках схемы взаимодействия для механизмов управления Фонд развития Физтех-школ является классическим поставщиком, только происходит поставка не образовательного оборудования, а образовательных услуг. При этом все поставки осуществляются по аналогичным механизмам.

Особую важность для продвижения проектов Фонда развития Физтех-школ и их продвижения сыграло использование механизма затраты-эффект, а также позиционирование проектов Фонда как механизма увеличения целевой функции общеобразовательные организации, а именно значения образовательного результата.

В 2021 году в рамках мероприятий, направленных на повышение эффективности реализации программ, поддерживаемых Фондом, был проведён комплекс аналитических мероприятий, охватывающих как количественные, так и качественные параметры образовательной динамики участников. Одним из ключевых направлений мониторинга стал проект «Наука в регионы», ориентированный на стимулирование познавательной активности и развитие научно-исследовательской компетенции среди школьников в различных субъектах Российской Федерации.

Результаты анализа, выполненного на основе сопоставления контрольных и экспериментальных групп, продемонстрировали существенное улучшение образовательных показателей у школьников, прошедших обучение по указанной программе. Так, средний балл по результатам Единого государственного экзамена у участников программы вырос с исходного значения порядка 60 баллов до

диапазона 75–80 баллов, что свидетельствует о значительном приросте учебной успеваемости. Помимо академических успехов, было зафиксировано увеличение числа школьников, вовлечённых в олимпиадное движение, конкурсы научно-технической направленности и иные формы внеучебной интеллектуальной активности.

Дополнительным подтверждением положительного влияния проекта служат данные, полученные на основе опросов и обратной связи от обучающихся. В частности, свыше половины школьников, ранее не проявлявших интереса к участию в научных конкурсах и предметных олимпиадах, после участия в проекте впервые включились в соответствующую деятельность. Этот результат получен по итогам анкетирования, охватившего более 1500 школьников, обучающихся в профильных и предуниверситетских классах, участвующих в инициативе.

Более того, прирост образовательных результатов, измеряемый по стандартным оценочным инструментам (КИМ — контрольно-измерительные материалы ОГЭ и ЕГЭ), в среднем достигает 20 баллов в течение полутора — двух лет после завершения участия в проекте. Данный эффект позволяет рассматривать инициативу «Наука в регионы» как эффективную форму воздействия на качество общего образования и как действенный механизм ранней профориентации в сфере научных и инженерных специальностей.

СРЕДНИЕ БАЛЛЫ КИМ

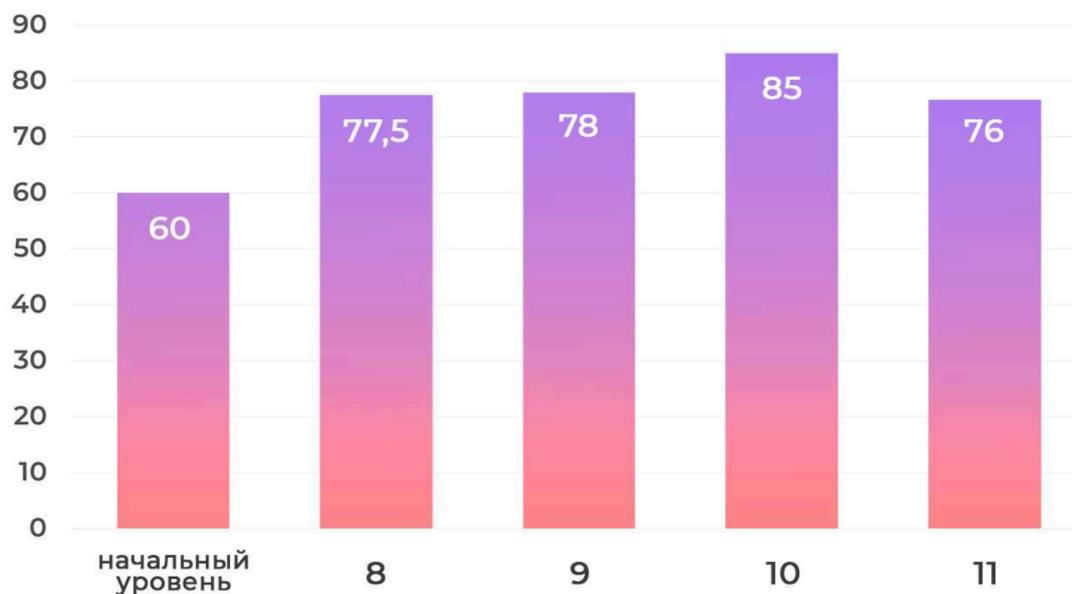


Рисунок 43 – Рост баллов КИМ по параллелям у участников проекта Наука в
регионы

СТАТИСТИКА УЧЕНИКОВ 10 КЛАССА

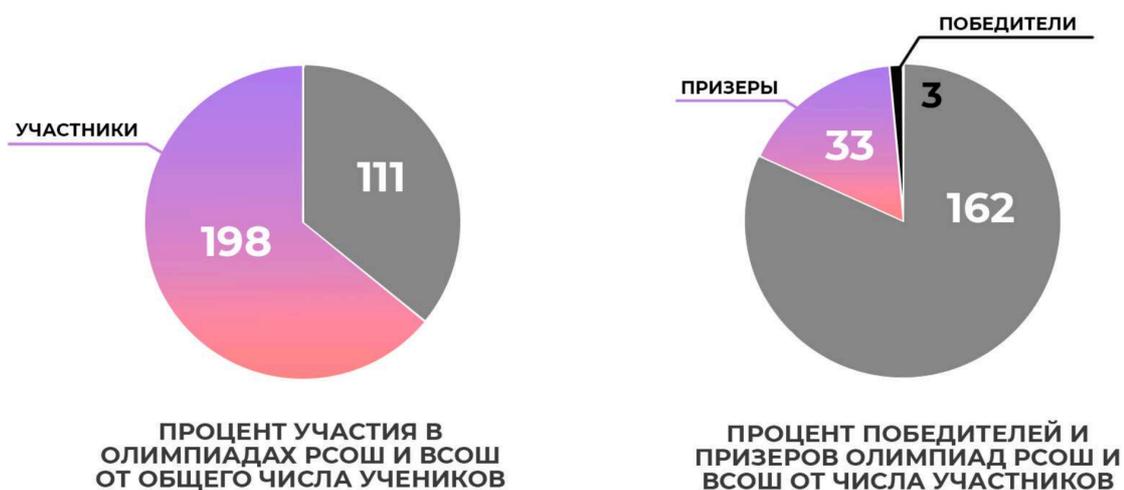


Рисунок 44 – Число участников олимпиад и конкурсов среди опрошенных
участников программы Наука в регионы (10 класс)

СТАТИСТИКА УЧЕНИКОВ 11 КЛАССА

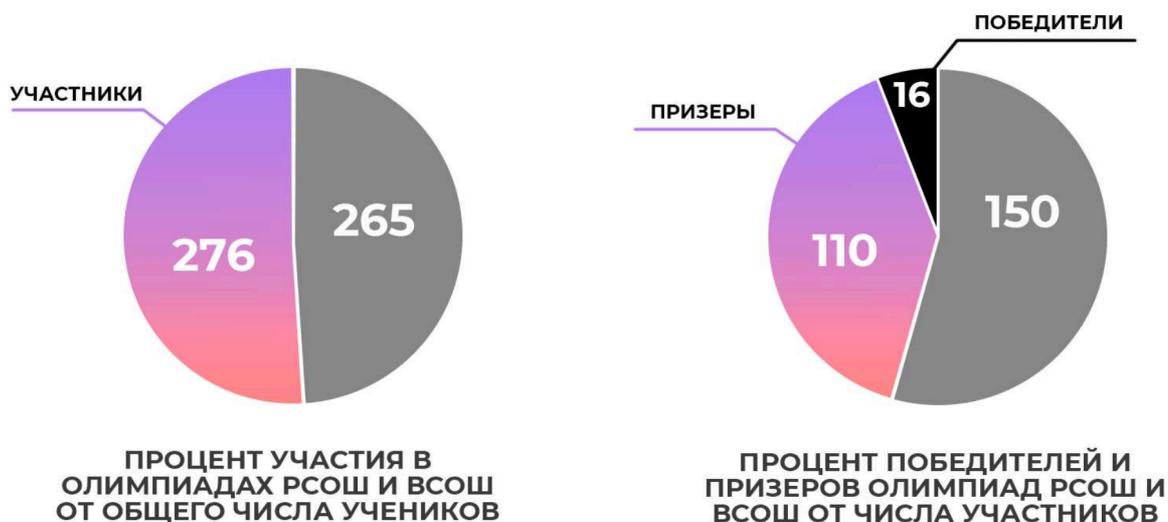


Рисунок 45 – Число участников олимпиад и конкурсов среди опрошенных участников программы Наука в регионы (11 класс)

Аналогично, была проведена процедура по фиксации образовательного результата участников проекта Классы Физтех XXI. Так, привязка внедрения образовательного проекта к рейтингу общеобразовательных организаций Московской области (методике рейтинга), в частности к внедрению ОО полного дня, позволило увеличить число классов-участников проекта в Московской области с 12 в 2021 году до 49 в 2023 году.

Именно понимание и перестройка продуктов Фонда под фиксацию образовательного результата или рейтинга и приведение данного результата к финансовым результатам ОО позволило увеличить выручку Фонда развития Физтех-школ со 133 млн рублей в 2020 году до 285 млн рублей за 2022 год.

Отдельно стоит коснуться проекта создания Технопарка Физтех-лицея им. П.Л. Капицы, который открылся в сентябре 2023 года. В рамках проведения базовой закупки в объеме 1.1 млрд рублей активно использовались механизмы управления в рамках взаимодействия с поставщиками и модели конкуренции между поставщиками за закупку (глава II). В-частности, процесс обеспечения наибольшей эффективности закупки наилучшим образом обеспечивают механизм стимулирования (активно применялись штрафы за просрочку поставки),

конкурсный механизм, особую роль в поставке оборудования сыграл механизм активной экспертизы. Все закупки, которые должен был провести Технопарк проходили через экспертную комиссию из представителей МФТИ и членов Попечительского совета Физтех-лицея. Также для целей понижения цены со стороны поставщиков был организован процесс раскрытия информации о потенциальных ценах в рамках процесса торга там, где это было разрешено нормативной базой. Это привело к общей экономии в размере 165 млн рублей в рамках проведения закупочных процедур, а также к проведению большей части закупок до сентября 2023 года.

4.3. Применение результатов работы на примере федеральных органов исполнительной власти

Применение аналитики в государственном управлении в сфере образования имеет огромное значение. Это позволяет собирать и анализировать данные о студентах, учителях, школах и других факторах, которые влияют на качество образования, выявить проблемные области в системе образования и разработать стратегии для улучшения качества обучения. Она также может использоваться для оценки эффективности программ и проектов в области образования. Применение аналитических инструментов может помочь государственным органам принимать более информированные решения по поводу распределения бюджетных средств, формирования политики в сфере образования и разработки новых программ. Это помогает государству адаптироваться к изменяющимся условиям и реагировать на них своевременно.

Помимо аналитического подхода важно не просто пользоваться результатами количественных аналитических исследований, статистикой, а понимать, как работает отрасль, какие механизмы, какие научно обоснованные методики существуют. Научный подход означает использование системного и

логического мышления, основанного на эмпирических данных и принципах научного метода. Один из основных принципов научного подхода — это ориентация на факты и доказательства. В контексте государственного управления в сфере образования это означает, что принимаемые решения должны быть основаны на объективных данных и исследованиях. Например, при разработке политики в области образования необходимо учитывать результаты исследований, проведенных в данной области, а также международные практики и опыт других стран, а также теоретические исследования.

Другой принцип научного подхода – это применение логического мышления и анализ причинно-следственных связей. В контексте государственного управления в сфере образования это означает, что необходимо анализировать и оценивать эффективность различных программ и проектов, чтобы определить, какие из них приводят к наилучшим результатам.

В рамках системы государственного управления, управлением отраслью среднего образования занимается Министерство просвещения Российской Федерации. Именно оно формирует основные нормативно-правовые акты, определяет формат внутреннего управления отраслью, фиксирует направления расходования федерального финансирования и определяет стратегические национальные проекты. Отрасль среднего образования имеет пересекающиеся направления работы с рядом федеральных органов исполнительной власти, таких как Министерство высшего образования и науки (работа с абитуриентами, содержание образовательных программ, связь с высшей школой), Министерство промышленности и торговли (поставки оборудования для школ, поддержка производителей), Минэкономразвития и Минтруд (развитие российской экономики, подготовка кадров под нужды экономики), Минцифры (развитие цифровизации в сфере образование и обучение IT-профессиям).

Также важную роль в государственном управлении и определении механизмов их регулирования играют так называемые Think Tank, аналитические центры и агентства, институты развития, которые создают системы государственного управления. Think tank являются важным инструментом для

разработки и анализа политических решений. Они могут проводить исследования по различным вопросам, оценивать эффективность правительственных программ и предлагать новые идеи для улучшения государственной политики. Think tank также могут выступать в качестве консультантов для правительства и помогать ему принимать обоснованные решения.

К Think Tank, которые играют роль на управленческие решения в России в сфере общего среднего образования, можно отнести Российскую академию образования, Российскую академию наук, Иннопрактику, Национальную технологическую инициативу (Агентство стратегических инициатив) и иные центры.

Базово система управления образованием в России на верхнем уровне выглядит следующим образом:



Рисунок 46 – Схема взаимодействия верхнеуровневых участников системы общего среднего образования

С декабря 2022 года Негосударственный институт развития Иннопрактика, Фонд развития Физтех-школ при участии более 40 организаций реального сектора

экономики создавали проект Стратегии развития дополнительного технологического образования школьников [92]. Данный проект нацелен на:

- выявление ключевых драйверов и барьеров в школьном дополнительном образовании технологической направленности в России;
- создание стратегии развития школьного дополнительного технологического образования РФ;
- реализацию стратегии при участии Минпросвещения, Миннауки, Минпромторга, Минцифры России и негосударственных организаций-представителей сферы образования;
- сопровождение при реализации стратегии и контроль целевых показателей в долгосрочной перспективе.

Данный проект нацелен на переосмысление национального проекта Образование и на создание предложений по развитию именно технологического сегмента реального сектора экономики, развитие человеческого капитала.

Частью данной аналитической работы [92] является также целый перечень рекомендаций, который включает в себя:

- развитие частного образовательного сектора с целью увеличения числа проектов, нацеленных на подготовку технологических кадров;
- внедрение централизованной системы аналитики сферы образования;
- выстраивание интеграции общеобразовательной организации с учреждениями высшего образования и реальным сектором экономики;
- расширение штата педагогов, в особенности по технологическим дисциплинам, через вовлечение специалистов, закончивших непедагогические специальности.

Также данная работа нацелена на обновление аналитических материалов по современному состоянию отрасли технологического образования школьников.

Частью данной аналитической работы также являются рекомендации по структуризации отрасли поставок образовательного оборудования, в том числе основанные на механизмах управления, продемонстрированных в главе 1 данной работы. Также выдвинуты рекомендации по изменению системы мотивации школ,

отличной от системы мотивации «за экзаменационные результаты и олимпиады», с учетом результатов данной работы. Важным результатом аналитической работы является вывод о необходимости внедрения единой аналитической системы сферы образования. Результаты данной работы готовы внедрять Минэкономразвития, Минцифры, Министерство высшего образования и науки Российской Федерации.

Помимо использования результатов данной работы одним из российских Think Tank, Иннопрактикой, данная работа также принята как аналитическая работа при реализации проектов и определении нормативно-правовой базы Национальной технологической инициативой (НТИ).

4.4. Применение результатов работы на примере образовательных организаций

Основным объектом исследования данной работы является школа. Именно общеобразовательная организация является основной ячейкой образования и от ее эффективности зависит эффективность всей системы. Важно, что эффективность образовательного учреждения редко исследуется в российской литературе и науке со стороны использования математических инструментов. Теория управления, теория игр, теория полезности и математическое моделирование являются сильными инструментами при организации сложных систем, что показал многолетний опыт их использования в планировании, управлении государственными структурами и корпорациями, компаниями. Соответственно, возможно использовать этот опыт для описания такой сложной системы как школа.

Глава 1 содержит большое число моделей механизмов управления, которые могут быть использованы директором образовательного учреждения. Механизмы планирования, особенно механизм затраты-эффект, может позволить ОО сделать правильный выбор по распределению своих ресурсов в условиях его ограниченности. Также в работе представлен целый ряд механизмов по работе с

поставщиками оборудования, например, механизм стимулирования за индивидуальные результаты, механизм оптимизации сети поставок, конкурсный механизм.

Отдельный блок рекомендаций можно выдвинуть по итогам анализа механизмов управления при взаимодействии с педагогическим коллективом. Во-первых, общеобразовательная организация может проводить поощрения для педагогического коллектива опираясь на цифровизацию образовательного результата и целевой функции и создавая четкие критерии поощрения коллектива. Также, если общеобразовательная организация занимается планированием бюджетов отдельных подразделений, для повышения эффективности планирования возможно использование механизма последовательного распределения ресурсов. Механизм комплексного оценивания является важным для понимания ОО, как ее оценивают вышестоящие органы, так как этот механизм часто применяется для этих целей.

Глава 2 имеет целый ряд полноценных моделей, которые ОО сразу может использовать для применения при распределении своего бюджета на различные направления. Базово, среднестатистическая общеобразовательная организация должна тратить от 70 до 80% на педагогический коллектив, на повышение квалификации, на зарплаты педагогов. При этом модель «двойного» Кобба-Дугласа, представленного в главе, позволяет сразу определять оптимум, в зависимости от оснащенности учреждения, бюджета, внутренних параметров общеобразовательной организации. Также, для определения оптимального распределения бюджетных средств общеобразовательная организация может использовать иные степенные или логарифмические модели, представленные в главе. Важно, что данные модели просчитаны в предположении, что учреждение максимизирует свой образовательные результаты, выраженный в результатах государственных экзаменов.

Глава 3 позволяет ОО понять, как происходит распределение бюджета со стороны вышестоящего органа, и как необходимо вести себя для получения наибольших финансовых ресурсов. Во-первых, проактивность и поиск

сторонников своей системы разделения бюджета помогает получить больше финансирования. Во-вторых, департамент образования всегда имеет больше преимуществ при разделении бюджета, так как первым предлагает схему разделения, но накопленное внебюджетное финансирование и управленческий и педагогический состав, который имеет наибольшее терпение в рамках торга, является важным преимуществом.

Указанные в работе рекомендации и модели могут являться хорошим инструментом управления ОО. В частности, это подтверждает использование данных моделей и подтверждения эффективности в Гимназии 84 г. Уфа.

Разработанные в исследовании математические модели и алгоритмы управления предоставляют мощный концептуальный каркас для развития аналитического модуля ФГИС «Моя школа». Формализованное описание школы как агента, взаимодействующего с поставщиками, педагогическим коллективом и органами власти, позволяет перейти от простого сбора данных к их системной интерпретации. Модели, учитывающие конкуренцию за ресурсы и асимметрию информации, дают основу для построения предиктивных сценариев: например, оценки влияния изменений в финансировании или новых регуляторных требований на образовательные результаты и эффективность распределения средств на уровне отдельных организаций и муниципалитетов.

К сожалению, несмотря на очевидную синергию, прямое внедрение разработанных моделей и алгоритмов в архитектуру ФГИС «Моя школа» на текущем этапе не состоялось. Это связано как с технической сложностью интеграции новых аналитических решений в уже развернутую масштабную платформу, так и с необходимостью дальнейшей адаптации моделей к строгим требованиям эксплуатации в единой федеральной системе. На момент публикации исследования идут на рабочем уровне консультации с представителями Министерства просвещения.

Несмотря на сказанное выше ценность исследования была признана на стратегическом уровне. Результаты работы нашли практическое применение в деятельности Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Адаптированные модели используются для аналитического обеспечения процессов управления в подведомственной сфере, в частности для оценки эффективности проектов развития технологического образования и анализа конкурентной среды.

Все вышеобозначенное позволяет подтвердить практическую значимость моделей и методов работы для создания автоматизированной системы управления.

Таким образом, в данной главе представлен программный комплекс поддержки принятия решений руководителями неоднородных образовательных организаций, отличающиеся адаптивностью под уникальные условия объектов и возможностью их встраивания в государственные информационные системы. Также детально раскрыты практические результаты работы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований получены следующие основные результаты:

1. С позиции системной методологии проведен анализ теоретических основ управления общеобразовательным учреждением в рамках мультиорганизационной системы.

2. Предложены средства формализованного описания ключевых взаимодействий учреждений общего образования с внешними агентами и определены ключевые механизмы управления через ранее известные модели. Для анализа взаимодействия общеобразовательной организации с внешними агентами применены методы теории игр и системного анализа, теории активных систем.

3. Разработаны функции взаимодействия и определены параметры эффективности неоднородных объектов в мультиорганизационной системе общего образования. Для задачи определения функций взаимодействия участников многоуровневой системы общего образования проведены глубинные интервью с руководителями образовательных учреждений и компаний-поставщиков оборудования и образовательных услуг. Было исследовано применение моделей механизмов управления к описанию образовательной отрасли, применительно к распределению ресурсов на кадры и материальную базу.

4. Разработаны модели взаимодействия участников мультиорганизационной системы общего образования на основе реальных данных с целью оптимального распределения ресурсов и управления. В качестве базовой модели функции полезности выделена модель «двойного» Кобба-Дугласа, а также рассмотрены ее применения для различных случаев. Определено, что функцией полезности поставщика является его выручка или прибыль, в зависимости от размера поставщика. Рассмотрено применение моделей механизмов «затраты-эффект», оптимизации сети поставок, стимулирования, конкурса, активной

экспертизы, информационного управления, и создания их модификаций для сферы образования.

5. Осуществлена алгоритмизация процесса принятия решений в учреждении общего образования, в том числе с применением информационных технологий, отличающиеся учетом влияния нефинансовых факторов. В рамках работы получен важный практический результат, который заключается в том, что большую часть бюджета в значительной части рассмотренных случаев необходимо тратить на педагогический состав и его квалификацию, а также разработана рекомендательная математическая модель, которая позволяет оценивать распределение бюджета между материальным оснащением и оплатой труда и его квалификации. Определено, какие скидки на свое оборудование может делать поставщик при проведении закупок в рамках аукциона. Определены количественно возможные распределения средств между общеобразовательной организацией и муниципалитетом при торге за бюджетные средства.

6. Разработан программный комплекс поддержки процессов принятия решений руководителями неоднородных образовательных организаций. Данный программный комплекс оформлен как код для ЭВМ, позволяющий применить его в условиях различных образовательных учреждений.

Рекомендации и перспективы дальнейшей разработки темы:

1. Результаты исследования рекомендуются к применению к задачам управления в сфере образования, отличительной чертой которых является неопределенность показателя эффективности образовательного учреждения, различие в квалификации исполнителей, а также высокая сложность управленческой системы;

2. Практический интерес представляет разработка полноценных информационных систем управления сферой образования, в которых могут быть использованы результаты работы;

3. Дальнейшей разработки требует глубокое рассмотрение не только образовательных факторов эффективности школы (не только образовательный

результат или бюджеты, а, например, качество образовательной среды или практическое применение образовательных навыков), а также создание и исследование более комплексных многофакторных моделей с разработанными новыми измеримыми метриками (включение в модели об эффективности школы качества учебных пособий и программ, вовлеченности родителей и т.д.);

4. Научный интерес представляет исследование внутренних взаимоотношений внутри школы с позиции теории управления и теории активных систем (например, взаимодействия внутри коллектива школы), а также более глубокое рассмотрение процессов принятия решений о работе мультиорганизационной системы общего образования на уровне высших уровней управления (региональный и федеральные органы власти).

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

- МТО – материально-техническое обеспечение
- ЕГЭ – единый государственный экзамен
- ОГЭ – основной государственный экзамен
- ОО – общеобразовательная организация
- STEM – модель образования, объединяющая естественные и инженерные науки (Science, Technology, Engineering, Mathematics)
- TIMSS – международное исследование (Trends in International Mathematics and Science Study)
- SAT – стандартизированный экзамен-тест Scholastic Aptitude Test
- ACT – стандартизированный тест American College Testing
- PISA – международный тест Programme for International Student Assessment

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дука С. И. Эволюция систем образования в контексте цивилизационных изменений // Вестник Санкт-Петербургского университета. Международные отношения. – 2004. – № 3. – С. 73–82.
2. Кленина Л. И., Макаров П. В. Исторические аспекты наставничества в образовании // История и педагогика естествознания. – 2023. – № 2. – С. 52–58.
3. Ханевская Г. В. Развитие системы воспитания и образования в первобытном обществе // Проблемы современного педагогического образования. – 2023. – № 80-3. – С. 280–283.
4. Мукушев Б. А. Синергетика в системе образования // Образование и наука. – 2008. – № 3. – С. 105–122.
5. Ferguson, F. N. The Handy History Answer Book. – Canton: Visible Ink Press, 2000. – 572 p.
6. Brown, C. A. Brief History of Education – From Ancient Greece to the Enlightenment – Educating Tomorrow, 2021. – Pp. 39-57. – Режим доступа: <https://www.researchgate.net/publication/350820391>.
7. Карпюк, С. Г. Секретари-магистраты и/или писцы-профессионалы в Древней Греции // Вестник РГГУ. – 2013. – № 17. – С. 171-180.
8. Василенко Н. В., Шапкин В. В. Образование в контексте институционализма // Теория и практика сервиса: экономика, социальная сфера, технологии. – 2011. – № 1 (7). – С. 4–17.
9. Шукурова Т. Ф. Учебный процесс в школах Древнего Рима // Вестник педагогического университета. Серия 2: Педагогики и психологии, методики преподавания гуманитарных и естественных дисциплин. – 2020. – № 1 (1). – С. 228–238.
10. Матвейчев О. А. Доступность образования в Древней Греции: от архаики до высокой классики // Современное образование. – 2018. – № 4. – С. 131–139.

11. Зимин А. В. Средневековые школы Западной Европы: образование и развитие // Форум молодых ученых. – 2019. – № 8 (36). – С. 98–106.
12. Акрамова Ш. М. Из истории образования в Китае // Oriental renaissance: Innovative, educational, natural and social sciences. – 2023. – Т. 3, № 21. – С. 557–563.
13. Фахрутдинова, Г. Ж. История педагогики: учебно-методическое пособие // Г. Ж. Фахрутдинова. Казань: Изд-во «Отечество», 2018. – 100 с.
14. Гринин Л. Е. Теория, методология и философия истории: очерки развития исторической мысли от древности до середины XIX века. Лекция 1. Древний Восток. Лекция 2. Античность // Философия и общество. – 2010. – № 1. – С. 167–203.
15. Богуславский М. В. Реформы российского образования XIX–XX вв. как глобальный проект // Вопросы образования. – 2006. – № 3. – С. 5–22.
16. Богачёв А. В., Захарова Л. Б. Концепция развития системы народного образования в советской России в 1920-е годы // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Психолого-педагогические науки. – 2015. – № 2 (26). – С. 21–28.
17. Деркач А.А. Социология образования. – М.: Академический проект, 2015. – С. 132.
18. Ляудис В.Я. Социальная психология управления. – М.: Логос, 2013. – С. 89
19. Беличева С.А. Социальные риски и институты образования. – М.: ИС РАН, 2017. – С. 74
20. Гидденс А. Конституция общества. – М.: Академический проект, 2003. – С. 66.
21. Федеральный закон от 29.12.2012 г. № 273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации» (последняя редакция) [Электронный ресурс] // СПС «КонсультантПлюс»: сайт. – Режим доступа: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_140174/.
22. Борытко Н.В. Управление качеством образования: личностно-ориентированный подход. – Волгоград: Перемена, 2006. – С. 91

23. Шиян Е.Н. Теория и практика педагогического управления. – М.: Просвещение, 2008. – С. 57
24. Шамова Т.И., Давыдов А.И., Тряпицына А.П. Управление образовательными системами. – М.: Академия, 2002. – С. 103.
25. Российские учителя в свете исследовательских данных / М. Л. Агранович [и др.]; отв. ред. И. Д. Фруммин, В. А. Болотов, С. Г. Косарецкий, М. Карной; Нац. исслед. ун-т Высш. шк. экономики, Ин-т образования. – Москва: Изд. дом Высш. шк. экономики, 2016. – 312 с.
26. Департамент образования и науки города Москвы [Электронный ресурс] // mos.ru: сайт. – Режим доступа: <https://www.mos.ru/donm/function/ratings-vklada-school/metodika-2023/>.
27. Распоряжение Министерства образования Московской области от 22.11.2023 № Р-1056 «Об организации работы по оценке эффективности механизмов управления качеством образовательных результатов и эффективности механизмов управления качеством образовательной деятельности в общеобразовательных организациях в Московской области за 2023/2024 учебный год» [Электронный ресурс] // СПС «КонсультантПлюс»: сайт. – Режим доступа:
<https://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=МОВ&n=393998&ysclid=1w1wml5ccf730618758#K8SMSCU6v54FGs3A>.
28. Методика формирования рейтингов государственных образовательных организаций Санкт-Петербурга, реализующих образовательные программы среднего общего образования [Электронный ресурс] // imc.kurobr.spb.ru: сайт. – Режим доступа:
https://imc.kurobr.spb.ru/images/РЦОКО/Методика_составления_рейтингов.pdf
.
29. Документы, регламентирующие проведение независимой оценки [Электронный ресурс] // minobr.nso.ru: сайт. – Режим доступа:
<https://minobr.nso.ru/page/8187>.

30. Fullan M. *Leading in a Culture of Change*. – San Francisco: Jossey-Bass, 2001. – P. 68.
31. Wenger E. *Communities of Practice: Learning, Meaning, and Identity*. – Cambridge: Cambridge University Press, 1998. – P. 73.
32. Robinson K. *Creative Schools: The Grassroots Revolution That's Transforming Education*. – New York: Viking, 2015. – P. 101.
33. Factors influencing Students' Academic Success: The Mediating Role of Study Engagement / C. Smithikrai, T. Homklin, P. Pusapanich, [et al] // *International Journal of Behavioral Science*. – 2018. – Vol. 13. – Issue 1. – Pp. 1-14.
34. Коджаспирова Г.М. *Педагогика управления*. – М.: ИНФРА-М, 2011. – С. 64
35. Bourdieu P. *The State Nobility: Elite Schools in the Field of Power*. – Stanford: Stanford University Press, 1996. – P. 45
36. Coleman J.S. *Social Capital in the Creation of Human Capital* // *American Journal of Sociology*. – 1988. – Vol. 94. – P. 95
37. Baker, B. D. *Does Money Matter in Education?* Second edition. – Washington DC: Albert Shanker Institute, 2016. – 48 p.
38. Ferguson, R. F. *How and why money matters: An analysis of Alabama schools* / R. F. Ferguson, H. F. Ladd. In H. F. Ladd (Ed.), *Holding schools accountable: Performance-based reform in education*. – Washington, DC: The Brookings Institution, 1996. – Pp. 265-298.
39. *Teacher Preparation and Student Achievement* / D. Boyd, P. Grossman, H. Lankford, [et al] // *CALDER Working Paper*. – 2008. – № 20. – 46 p.
40. Kayan-Fadlelmula, F. *A systematic review of STEM education research in the GCC countries: Trends, gaps, and barriers* / F. Kayan-Fadlelmula, A. Sellami, N. Abdelkader [et al] [Электронный ресурс] // *International Journal of STEM Education*. – 2022. – № 9(2). – Режим доступа: <https://doi.org/10.1186/s40594-021-00319-7>.
41. *Students' skills and practices of using ICT: Results of a national assessment in Finland* / K. Hakkarainen, L. Lipponen, L. Ilomäki, [et al] // *Computers & Education*. – 2000. – № 34. – Pp. 103-117.

42. Katcha, M. A. Effects of laboratory equipment on secondary school students' performance and attitude change to biology learning in federal capital territory, Abuja, Nigeria / M. A. Katcha, D. I. Wushishi // Journal of Education Research and Behavioral Sciences. – 2015. – Vol. 4(9). – Pp. 250-256.
43. Latour B. Reassembling the Social: An Introduction to Actor-Network-Theory. – Oxford: Oxford University Press, 2005. – P. 107
44. Berlin I. Four Essays on Liberty. – Oxford: Oxford University Press, 1969. – P. 156
45. Богданов А. Д. Определение функции полезности и механизмов управления закупками дополнительного оборудования в средних общеобразовательных учреждениях / А. Д. Богданов, Д.В. Колобов, А.В. Щепкин // Труды 64-й Всероссийской научной конференции МФТИ. – 2021.
46. Модели управления общеобразовательной организацией в условиях реформ: опыт социологического анализа / Н. Г. Фахрутдинов, Н. И. Евстигнеева, Д. Ю. Куракин, В. М. Малик // Вопросы образования. – 2015. – № 2. – С. 196-219.
47. Приказ от 17 декабря 2010 г. № 1897 «Об утверждении федерального государственного образовательного стандарта основного общего образования» [Электронный ресурс] // ФГОС: сайт. – Режим доступа: <https://fgos.ru/fgos/fgos-ooo/>.
48. Механизмы управления: учебное пособие / под ред. Д. А. Новикова. – Москва: УРСС (Editorial URSS), 2011. – 216 с.
49. Богданов А. Д. Моделирование механизмов управления в сфере материального обеспечения среднего образования / А. Д. Богданов, Д. В. Колобов, А. В. Щепкин, А. С. Изьюров, Т. А. Федина // Труды МФТИ. – 2024. – Т. 16. – No 1.
50. Метод «затраты-эффект» в задачах формирования многоцелевых программ / В. В. Зубарев, Е. А. Сидоренко, А. А. Христюк [Электронный ресурс] // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2011.

- Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/metod-zatraty-effekt-v-zadachah-formirovaniya-mnogotselevyh-programm?ysclid=lw23c3tbj11465370>.
51. Новиков Д. А. Теория управления организационными системами. – Москва: МПСИ, 2005. – 584 с.
 52. Новиков Д. А. Механизмы стимулирования в динамических активных системах // Автоматика и Телемеханика / Д. А. Новиков, Т. Е. Шохина. – 2003. – № 12. – С. 94-104.
 53. Новиков Д. А. Механизмы стимулирования в многоэлементных организационных системах / Д. А. Новиков, А. В. Цветков. – Москва: ОО «НИЦ «Апостроф», 2000. – 182 с.
 54. Новиков Д. А. Декомпозиция игры активных элементов в задачах стимулирования / Д. А. Новиков, А. В. Цветков // Автоматика и Телемеханика. – 2001. – № 2. – С. 163-170.
 55. Юревич С. Н., Санникова Л. Н., Левшина Н. И. Управление образованием: учебное пособие для вузов. – 2-е изд., стер. – Санкт-Петербург: Лань, 2024. – 424 с.
 56. Рапацкая, С. Т. Конкурсные механизмы управления активными системами: автореферат дис. ... канд. техн. наук: 05.13.10 / Рапацкая Светлана Тадеушевна. – Москва, 1990. – 20 с.
 57. Двухэтапный конкурсный механизм отбора проектов / В. И. Алферов, С. А. Баркалов, А. В. Сенюшкин, А. Е. Кравцов // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2009. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/dvuhetapnyu-konkursnyu-mehanizm-otbora-proektov?ysclid=lw23qvdkdg471290018>.
 58. Федеральный закон от 05.04.2013 г. № 44-ФЗ «О контрактной системе в сфере закупок товаров, работ, услуг для обеспечения государственных и муниципальных нужд» (последняя редакция) [Электронный ресурс] // СПС «КонсультантПлюс»: сайт. – Режим доступа: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_144624/.

59. Федеральный закон от 18.07.2011 г. № 223-ФЗ «О закупках товаров, работ, услуг отдельными видами юридических лиц» (последняя редакция) [Электронный ресурс] // СПС «КонсультантПлюс»: сайт. – Режим доступа: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_116964/.
60. Мамедова Н. А. Управление государственными и муниципальными закупками: учебник и практикум для среднего профессионального образования / Н. А. Мамедова, А. Н. Байкова, О. Н. Морозова. — 4-е изд., перераб. и доп. — М.: Издательство Юрайт, 2023. — С. 72.
61. Клейман Л.А. Повышение надежности вычислительных систем на основе динамического распределения диагностических задач: дис. ... кандидата технических наук 2.3.2. / Клейман Лев Александрович; [Место защиты: ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет»]. - Пермь, 2022. - С. 78.
62. Механизмы активной экспертизы в задачах комплексного оценивания / С.А. Баркалов, В.Н. Бурков, В.Л. Порядина // // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2009. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/mehanizmy-aktivnoy-ekspertizy-v-zadachah-kompleksnogo-otsenivaniya?ysclid=lw23wiiumh434542755>.
63. Механизмы стимулирования персонала / Д. А. Новиков, Н. А. Коргин [Электронный ресурс] // ИПУ РАН. – Режим доступа: <http://www.mtas.ru/about/smartman/mechanism/MU-2-24-incentive.pdf>.
64. Модели и механизмы распределения затрат и доходов в рыночной экономике / В. Н. Бурков, И. И. Горгидзе, Д. А. Новиков, Б. С. Юсупов. – Москва: ИПУ РАН, 1996. – 61 с.
65. Алексеев А. О. Классификация механизмов комплексного оценивания сложных объектов // Информационные и математические технологии в науке и управлении. – 2018. – № 2 (10). – С. 106–120. Алексеев, А. О.
66. Аксенов К. А., Динамическое моделирование мультиорганизационных процессов преобразования ресурсов [Текст] / К. А. Аксенов, Н. В. Гончарова; М-во образования и науки Российской Федерации, Уральский федеральный

- ун-т им. первого Президента России Б. Н. Ельцина. - 2 изд., испр. – Екатеринбург: УрФУ – 2014. – 310 с.
67. Нагоев З.В. Обоснование символов и мультиорганизационные нейрокогнитивные модели семантики естественного языка / З. В. Нагоев, О. В. Нагоева; Министерство науки и высшего образования РФ, Российская академия наук, Кабардино-Балкарский научный центр, Институт информатики и проблем регионального управления. – Нальчик: Изд-во КБНЦ РАН – 2022. – 148 с.
68. Богданова А. В. Возможности моделирования в диагностике качества образования на основе мультиорганизационных связей // Балтийский гуманитарный журнал. – 2015. – № 1 (10). – С. 109–113.
69. Литвиненко В. А., Ховансков С. А., Норкин О. Р. Оптимизация мультиорганизационной системы распределенных вычислений // Известия Южного федерального университета. Технические науки. – 2009. – Т. 93, № 4. – С. 226–234.
70. Анискин Ю.П. Реинжиниринг компании – мультиорганизационное управление развитием: учебник для магистратуры и аспирантуры по направлению «Менеджмент» / Анискин Юрий Петрович; Министерство образования и науки Российской Федерации, Национальный исследовательский университет "МИЭТ". – Москва: Ваш формат, 2023. – 199 с.
71. Быстров В. В., Самойлов Ю. О. Комплекс вспомогательных программ мультиорганизационной системы поддержки управления качеством образования // Труды Кольского научного центра РАН. – 2011. – № 7. – С. 254–260.
72. Романчева Н. И. Особенности использования мультиорганизационных технологий в киберсоциальных системах // Труды Международного симпозиума «Надежность и качество». – 2017. – Т. 1. – С. 79–82.

73. Debreu, G. Representation of a preference ordering by a numerical function. In *Mathematical Economics*. – Cambridge: Cambridge University Press, 1954. – Pp. 159-165.
74. Богданова А. В. Мультиорганизационные связи в диагностике качества образования // *Азимут научных исследований: педагогика и психология*. – 2015. – № 1 (10). – С. 14–17.
75. Гайнанов Д. А., Минязев А. И. Управление поведением человека в мультиорганизационной системе рынков труда и образовательных услуг // *Экономика труда*. – 2021. – Т. 8, № 6. – С. 615–630.
76. Письмо Министерства образования и науки РФ от 13.09.2006 г. № АФ213/03 «О подготовке и направлении модельных методик» [Электронный ресурс] // ГАРАНТ : справочно-правовая система. – Режим доступа: <https://base.garant.ru/190592/?ysclid=lw1zhss1bz23847365>.
77. Шагин, В. Л. Теория игр. – Москва : Юрайт, 2023. – 223 с.
78. Rubinstein, A. Perfect equilibrium in a bargaining model // *Econometrica: Journal of the Econometric Society*. – 1982. – Vol. 50. – Is. 1. – Pp. 97-109.
79. Fréchette, G. R. Gamson's Law versus non-cooperative bargaining theory / G. R. Fréchette, J. H. Kagel, M. Morelli // *Games and Economic Behavior*. – 2005. – Т. 51. – №. 2. – Pp. 365-390.
80. Debreu, G. Representation of a preference ordering by a numerical function. In *Mathematical Economics*. – Cambridge : Cambridge University Press, 1954. – Pp. 159-165.
81. Ахметжанова Ю. Д. Система диагностики качества образования на основе мультиагентных связей в информационно-коммуникационном пространстве вуза (теоретический аспект) // Г. В. Ахметжанова, А. В. Богданова; М-во образования и науки Российской Федерации, Тольяттинский гос. ун-т. – Тольятти: Изд-во ТГУ – 2014. – 141 с.
82. Симонова Е.В. Моделирование информационных систем : учебное пособие для обучающихся по основной образовательной программе высшего образования по направлению подготовки 09.04.01 Информатика и

- вычислительная техника / Е. В. Симонова; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С. П. Королева» (Самарский университет). – Самара: Изд-во Самарского ун-та, 2022 – Ч. 1: Адаптивное управление сложными системами на основе мультиагентных технологий. – 2022. – 201 с.
83. Пантелеев А.В. Мультиагентные и биоинспирированные методы оптимизации технических систем: монография / А. В. Пантелеев, М. М. С. Каранэ; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет). – Москва: Доброе слово и Ко, 2024. – 335 с.
84. Управление системой образования на разных уровнях: вертикаль власти, трансфер полномочий и региональное сотрудничество / Я. Де Гроф, С. В. Янкевич. – Москва: Издательский дом Высшей школы общеобразовательные организации экономики – 2019. – 338 с.
85. Леонтьева, А.В. Мультиагентные модели динамики интеллектуальных ресурсов в системе формирования кадрового потенциала горной промышленности: автореферат дис. ... кандидата технических наук: 05.13.01 / Леонтьева Альбина Валерьевна; [Место защиты: Моск. гос. гор. ун-т]. – Москва, 2013. – 24 с.
86. Основные итоги проведения ЕГЭ в Санкт-Петербурге в 2021 году [Электронный ресурс] // ГИА 9-11 Санкт-Петербург : официальный информационный портал. – Режим доступа: [https://www.ege.spb.ru/index.php?option=com_k2&view=item&layout=item&id=865 &Itemid=230](https://www.ege.spb.ru/index.php?option=com_k2&view=item&layout=item&id=865&Itemid=230).
87. Отчет Фонда развития Физтех-школ за 2022 год [Электронный ресурс] // Фонд развития Физтех-школ: сайт. – Режим доступа: <https://go2phystech.ru/wp-content/uploads/2023/07/itogi-frfsh-2022.pdf>.

88. Отчет Фонда развития Физтех-школ за 2021 год [Электронный ресурс] // Фонд развития Физтех-школ: сайт. – Режим доступа: https://go2phystech.ru/wp-content/uploads/2021/12/otchet_fonda_razvitiya_fizteh_shkol_2021.pdf.
89. Наука в регионы 3.0 [Электронный ресурс] // Фонд развития Физтех-школ: сайт. – Режим доступа: <http://science-to-regions.go2phystech.ru>.
90. Классы КФ 2021 [Электронный ресурс] // Фонд развития Физтех-школ: сайт. – Режим доступа: <https://klass21.go2phystech.ru>.
91. Старт в инновации [Электронный ресурс] // Фонд развития Физтех-школ: сайт. – Режим доступа: <https://starttoinnovate.go2phystech.ru>.
92. Стратегия развития технологического образования [Электронный ресурс] // Фонд развития Физтех-школ: сайт. – Режим доступа: <https://go2phystech.ru/wp-content/uploads/2024/04/strategiya-razvitiya-tehnologicheskogo-obrazovaniya.pdf>.

СПИСОК РИСУНКОВ

Рисунок 1 – Неинституциональные формы управления в античном образовании
Рисунок 2 – Эволюция мультиорганизационной системы управления общим образованием в СССР (1917–1991)
Рисунок 3 – Схема взаимодействия участников общеобразовательного процесса
Рисунок 4 – Схема взаимодействия всех участников мультиорганизационной системы общего образования (метод СПРУКАР)
Рисунок 5 – Декомпозиция основные процессов
Рисунок 6 – Краткая схема взаимодействия всех участников образовательного процесса, с кем взаимодействует школа
Рисунок 7 – Первичная декомпозиция целей центра управления общеобразовательной организацией
Рисунок 8 – Декомпозиция целей центра управления общеобразовательной организации по материальному обеспечению
Рисунок 9 – Порядок функционирования механизма «затраты-эффект» в случае поставки оборудования
Рисунок 10 – Эффективность опций в рамках механизма затраты-эффект
Рисунок 11 – График зависимости полезности закупки оборудования от трат в рамках механизма «затраты-эффект»
Рисунок 12 – Порядок функционирования механизма стимулирования в случае поставки оборудования
Рисунок 13 – Решение задачи стимулирования для взаимоотношений «образовательная организация -поставщики»
Рисунок 14 – Процесс проведения государственных закупок в общеобразовательной организации
Рисунок 15 – Порядок функционирования конкурсного механизма в случае поставки оборудования

Рисунок 16 – Механизмы управления, применяемые для управления педагогическим коллективом
Рисунок 17 – Порядок функционирования механизма стимулирования педагогов за коллективный результат
Рисунок 18 – Порядок функционирования механизма последовательного распределения ресурсов в рамках работы с учителями
Рисунок 19 – Модельная декомпозиция целей для механизма комплексной оценки в рамках работы с педагогами
Рисунок 20 – Простая модель закупки МТО
Рисунок 21 – Модель поставки одним поставщиком полного объема и конкуренции между поставщиками
Рисунок 22 – Модель поставки одним поставщиком полного объема и конкуренции между поставщиками, когда поставщик может делать субподряд
Рисунок 23 – Простая модель закупки с закупкой нескольких позиций у одного поставщика
Рисунок 24 – Простая модель закупки с отложенным платежом за поставку
Рисунок 25 – Простая модель закупки с влиянием центров – вышестоящих органов
Рисунок 26 – Трехуровневая обобщенная схема распределения бюджетов на МТО
Рисунок 27 – Двухуровневая обобщенная схема конкуренции поставщиков за осуществление поставки
Рисунок 28 – График плотности вероятности распределения ΔM_i
Рисунок 29 – График плотности вероятности распределения ΔM_i в реальной ситуации
Рисунок 30 – Двухуровневая схема конкуренции двух поставщиков за осуществление поставки (поставщик 1 максимизирует прибыль, поставщик 2 максимизирует выручку)

Рисунок 31 – Вероятность предоставить для поставщика n большую скидку, чем некоторый конкурент i
Рисунок 32 – Решение уравнения для $\alpha = 0.5, \beta = 0.5$
Рисунок 33 – Решение уравнения для $\alpha = 0.5, \beta = 0.5$
Рисунок 34 – График функции образовательного результата за 2 года и точка локального экстремума
Рисунок 35 – Распределение суммарных бюджетов ОО по первоначальной выборке
Рисунок 36 – Распределение подушевых бюджетов ОО по первоначальной выборке
Рисунок 37 – Распределение ОО в отсортированной выборке
Рисунок 38 – Распределение суммарных бюджетов ОО по первоначальной выборке (Нижегородская и Свердловская области)
Рисунок 39 – Распределение подушевых бюджетов ОО по первоначальной выборке (Нижегородская и Свердловская области)
Рисунок 40 – Распределение школ по бюджетам ОО в выборке 191 школ
Рисунок 41 – Функция полезности общеобразовательных организаций («Двойной» Кобба-Дуглас) на основе данных Санкт-Петербурга
Рисунок 42 – Интерфейс программного комплекса для корреляционного моделирования
Рисунок 43 – Рост баллов КИМ по параллелям у участников проекта Наука в регионы
Рисунок 44 – Число участников олимпиад и конкурсов среди опрошенных участников программы Наука в регионы (10 класс)
Рисунок 45 – Число участников олимпиад и конкурсов среди опрошенных участников программы Наука в регионы (11 класс)
Рисунок 46 – Схема взаимодействия верхнеуровневых участников системы общего среднего образования

СПИСОК ТАБЛИЦ

Таблицы

- Таблица 1 – Генезис компонентов управления в античном образовании
- Таблица 2 – Иерархическая структура управления в общеобразовательной организации
- Таблица 3 – Сравнение терминологии работы и международных исследований
- Таблица 4 – Модель управления педагогическим составом в условиях СОС
- Таблица 5 – Таблица подсчета эффективностей в рамках реализации механизма затраты-эффект
- Таблица 6 – Многоуровневая модель механизма «затраты-эффект» в управлении закупками ОО
- Таблица 7 – Модель цифрово-инфраструктурного управления школой в мультиорганизационной системе
- Таблица 8 – Характеристики конечной отсортированной выборки бюджетов школ
- Таблица 9 – Данные теста Пирсона для определения нормальности выборки бюджетов общеобразовательных организаций
- Таблица 10 – Результаты корреляционного анализа по моделям функции полезности
- Таблица 11 – Данные теста Пирсона для определения нормальности выборки бюджетов общеобразовательных организаций (Нижегородская и Свердловская области)
- Таблица 12 – Результаты корреляционного анализа по моделям функции полезности для данных Свердловской и Нижегородской областей.
- Таблица 13 – Корреляции между количеством супербалльников в школах Санкт-Петербурга и тратами на направления приобретаемого оборудования

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Акты и справки о внедрении результатов диссертационной работы

1. Акт о внедрении НИР Иннопрактика

Фонд поддержки научно-проектной деятельности студентов, аспирантов и молодых ученых «Национальное интеллектуальное развитие»

Ломоносовский пр-т, д. 27, кор. 1
Тел.: +7 (495) 212-18-46
E-mail: info@innopraktika.ru



Иннопрактика

АКТ
о внедрении (использовании) результатов
кандидатской диссертационной работы
Богданова Андрея Дмитриевича

Настоящий акт свидетельствует о том, что результаты диссертационной работы Богданова Андрея Дмитриевича «Алгоритмизация процессов оптимального управления неоднородными объектами в мультиорганизационной системе общего образования» использованы для аналитики рынка дополнительного технического и инженерного образования школьников Российской Федерации, в частности, в аналитической работе, выполняемой НИР «Иннопрактика» совместно с Фондом развития Физтех-школ на контрактной основе.

Результатом совместной аналитической работы также стало поручение Заместителя Председателя Правительства РФ Д.Н. Чернышенко №ДЧ-П13-3320 от 05.02.2024 «О целесообразности увеличения возможного числа дополнительных баллов для абитуриентов за победы в проектных олимпиадах, конкурсах и соревнованиях, в том числе международного уровня, и за прочие индивидуальные достижения для приема на обучение по образовательным программам высшего образования – программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры, по инженерным специальностям, формирования порядка проведения указанных олимпиад, конкурсов и соревнований».

С уважением,
Исполнительный директор



П.В. Попов

21.01.2026

2. Акт о внедрении Министерство науки и высшего образования РФ



**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
(МИНОБРНАУКИ РОССИИ)**

Тверская ул., д. 11, стр. 1, 4, Москва, 125009, телефон: (495) 547-13-16,
e-mail: info@minobrnauki.gov.ru, http://www.minobrnauki.gov.ru

№ _____

АКТ

**о внедрении (использовании) результатов
кандидатской диссертационной работы
Богданова Андрея Дмитриевича**

Настоящим актом сообщаяю, что результаты работы Богданова Андрея Дмитриевича «Алгоритмизация процессов оптимального управления неоднородными объектами в мультиорганизационной системе общего образования» являются уникальными и используются федеральным государственным автономным образовательным учреждением высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)» (далее - МФТИ). Полученные данные, модели и численные результаты представленного исследования актуальны для создания концепций государственной политики в сфере дополнительного образования в этой сфере, а также могут быть масштабированы в рамках аналитики при принятии решений в сфере государственного управления отраслью школьного образования при взаимодействии высшей и средней школы.

Заместитель Министра науки
и высшего образования
Российской Федерации,
кандидат социологических наук, доцент

О.В. Петрова

3. Акт о внедрении АНОО «Физтех-лицей» им. П.Л. Капицы

Автономная некоммерческая общеобразовательная организация
«Физтех-лицей» имени П.Л. Капицы
(АНОО «Физтех-лицей» им. П.Л. Капицы)
Адрес: 141707, Московская область, г. Долгопрудный, ул. Летная, дом 7
Электронная почта: mo_fiztechlic@mosreg.ru сайт: phtl.ru
Тел/факс: 8(495)1479952
ОГРН: 1195000003131; ОКАТО: 46416000000; ОКОГУ 4210014;
ОКФС 16; ОКОПФ 71400 ИНН/КПП 5047227140/504701001

Исх. № БИ от «дт» сентября 2026 г.

АКТ
о внедрении (использовании) результатов
кандидатской диссертационной работы
Богданова Андрея Дмитриевича

Настоящий акт свидетельствует о том, что результаты диссертационной работы Богданова Андрея Дмитриевича «Алгоритмизация процессов оптимального управления неоднородными объектами в мультиорганизационной системе общего образования», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук, использованы в организационной и управленческой деятельности АНОО «Физтех-лицей» им. П.Л. Капицы. Результаты диссертационной работы Богданова Андрея Дмитриевича:

1. разработана математическая модель закупок оборудования и взаимодействия школ с поставщиками, а также конкуренции между поставщиками за закупку, что позволило увеличить эффективность взаимодействия с поставщиками оборудования и образовательных услуг Технопарка «Физтех-лицей» им. П.Л. Капицы;
2. с помощью моделей организован процесс раскрытия информации о потенциальных ценах в рамках процесса торга при закупке оборудования;
3. применен экспертный механизм при проведении закупок оборудования (в лице экспертной комиссии Попечительского совета Физтех-лицей);

Заключение: Использование указанных результатов позволило повысить эффективность закупок при создании Технопарка Физтех-лицей, а также способствовало экономии бюджетных средств.

С уважением,
директор АНОО «Физтех-лицей» им. П.Л. Капицы



М.Г. Машкова

4. Акт о внедрении Фонд развития Физтех-школ

Фонд развития Физтех-школ

ул. Первомайская, д. 18, г. Долгопрудный, Московская область, Россия, 141701

тел.: +7 (495) 795-95-44, ОКПО 63559748

ОГРН 1095000007300 ИНН/КПП 5008053130/500801001

АКТ

о внедрении (использовании) результатов

кандидатской диссертационной работы

Богданова Андрея Дмитриевича

В рамках диссертационной работы Богданова Андрея Дмитриевича «Алгоритмизация процессов оптимального управления неоднородными объектами в мультиорганизационной системе общего образования» для повышения уровня операционной эффективности использованы модели взаимодействия поставщиков образовательных услуг со школами, выводы о необходимости работы с педагогами школ и о влиянии затрат школ на их образовательные результаты. Также к деятельности Фонда применены модели взаимодействия с органами власти при разделении бюджета. Данные модели позволили создать и модифицировать линейку образовательных продуктов Фонда, что способствовало увеличению выручки Фонда развития Физтех-школ со 133 млн рублей в 2020 году до более 285 млн рублей к 2022 году.

С уважением,
Председатель Совета Фонда развития Физтех-школ,
к. ф.-м. н., доцент МФТИ



С.А. Гуз

5. Акт о внедрении Гимназия №84, г. Уфа

БАШКОРТОСТАН РЕСПУБЛИКАНЫ

ӨФӨ КАЛАНЫ КАЛА ОКРУГЫ
ХАКИМИЯТЕНЕН
МӘҒАРИФ ИДАРАЛЫҒЫӨФӨ КАЛАНЫ КАЛА ОКРУГЫНЫҢ
«84-СЕ ТАТАР ГИМНАЗИЯНЫ»
МУНИЦИПАЛЬ АВТОНОМИЯЛЫ
ДӘЙӨМ БЕЛЕМ БИРЕУ УЧРЕЖДЕНИЕНЫБаязит Бикбай ур., 31-се й., 1-се корпус, Өфө к., 450105
Тел.: (347) 236-41-38, 234-89-64, факс: 236-41-38
E-mail: gimnaziya-84@yandex.ru

ИНН 0276033589, ОГРН: 1030204209474

РЕСПУБЛИКА БАШКОРТОСТАН

УПРАВЛЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
АДМИНИСТРАЦИИ
ГОРОДСКОГО ОКРУГА ГОРОД УФАМУНИЦИПАЛЬНОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБЩЕОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«ТАТАРСКАЯ ГИМНАЗИЯ № 84»
ГОРОДСКОГО ОКРУГА ГОРОД УФАул. Баязита Бикбая, д. 31, корп. 1, г. Уфа, 450105
Тел.: (347) 236-41-38, 234-89-64, факс: 236-41-38
E-mail: gimnaziya-84@yandex.ru

АКТ

об использовании результатов диссертационной работы
Богданова А.Д. «Алгоритмизация процессов оптимального управления
неоднородными объектами в мультиорганизационной системе общего
образования»

Настоящим актом подтверждаем, что результаты диссертационного исследования Богданова А.Д. на тему «Алгоритмизация процессов оптимального управления неоднородными объектами в мультиорганизационной системе общего образования» были получены и учтены при составлении закупок на электронной торговой площадке, а также при принятии управленческих решений при распределении бюджета гимназии.

В частности:

- при выборе оборудования для закупки была учтена повышающая стоимость неликвидных товаров в условиях увеличения кредитной ставки банковских учреждений. Полученная информация используется при закупке электронного оборудования и медиа-техники;
- изменено описание лотов закупки для привлечения большего числа поставщиков. Обновленное объявление также содержит дополнительную контактную и транспортную информацию для привлечения к закупке крупных поставщиков;
- использованы рекомендации о покупке лабораторного и цифрового оборудования, что привело к повышению уровня подготовки учащихся;
- использованы рекомендации по распределению бюджета гимназии на материальное оснащение и персонал, что привело к повышению уровня образовательных результатов учащихся школы.

Образовательное учреждение МАОУ «Татарская гимназия №84» подтверждает, что результаты диссертационного исследования Богданова Андрея Дмитриевича применяются при планировании закупок на электронных площадках, а также модели используются при принятии управленческих решений.

Директор



Р.Р. Идрисов

ПРИЛОЖЕНИЕ Б**Код программы-приложения для определения функции полезности
общеобразовательного учреждения.**

```
import sys
import numpy as np
import pandas as pd
import matplotlib.pyplot as plt
from PyQt5.QtWidgets import (QApplication, QWidget, QPushButton, QVBoxLayout,
                             QHBoxLayout, QFileDialog, QLabel, QTabWidget, QTableWidgetItem,
                             QTableWidgetItem, QLineEdit, QCheckBox, QSpinBox, QTextEdit,
                             QDialog, QVBoxLayout, QListWidget, QDialogButtonBox,
                             QSizePolicy, QMessageBox, QProgressBar, QPlainTextEdit)
from PyQt5.QtCore import QThread, pyqtSignal
from matplotlib.backends.backend_qt5agg import FigureCanvasQTAgg as
FigureCanvas
from scipy.stats import pearsonr
from scipy.optimize import minimize
import random

from presets_dialog import PresetsDialog

class AnalysisApp(QWidget):
    def __init__(self):
        super().__init__()
        self.initUI()
        self.data = None
        self.X = None
        self.y = None
```

```
self.K0 = None
self.L0 = None
self.A0 = None
self.analysis_thread = None

def initUI(self):
    layout = QHBoxLayout(self)
    self.setWindowTitle("GeniusOptimizer")
    # Left panel with tabs
    self.tabs = QTabWidget()
    self.tab1 = QWidget()
    self.tab2 = QWidget()
    self.tab3 = QWidget() # New tab for progress
    self.tabs.addTab(self.tab1, "Analysis")
    self.tabs.addTab(self.tab2, "Data Table")
    self.tabs.addTab(self.tab3, "Progress") # Add Progress tab

    self.initTab1()
    self.initTab2()
    self.initTab3() # Initialize Progress tab
    layout.addWidget(self.tabs, 3)

    # Right panel with graph and results
    right_panel = QVBoxLayout()

    # Matplotlib Figure
    self.figure, self.ax = plt.subplots()
    self.canvas = FigureCanvas(self.figure)
    self.canvas.setSizePolicy(QSizePolicy.Expanding, QSizePolicy.Expanding)
    self.canvas.updateGeometry()
```

```

right_panel.addWidget(self.canvas, stretch=1) # Maximize height

# Result fields
self.result_fields = {}
for label in ["Optimal parameters (gradient descent) p1,p2,p3,p4,p5,p6", "Optimal
parameters (genetic algorithm) p1,p2,p3,p4,p5,p6",
              "Correlation coefficient (gradient descent)", "Correlation coefficient
(genetic algorithm)"]:
    lbl = QLabel(label)
    txt = QLineEdit()
    txt.setReadOnly(True)
    right_panel.addWidget(lbl)
    right_panel.addWidget(txt)
    self.result_fields[label] = txt

self.export_button = QPushButton("Export")
self.export_button.clicked.connect(self.export_results)
right_panel.addWidget(self.export_button)

layout.addLayout(right_panel, 5)

def initTab1(self):
    layout = QVBoxLayout()

    self.file_button = QPushButton("Open File")
    self.file_button.clicked.connect(self.load_file)
    self.file_label = QLabel("No file selected")
    layout.addWidget(self.file_button)
    layout.addWidget(self.file_label)
    # Add Presets button

```

```

self.presets_button = QPushButton("Presets")
self.presets_button.clicked.connect(self.show_presets_modal)
layout.addWidget(self.presets_button)
self.formula_input = QLineEdit("p1 * np.log(1 + K) + p2 * np.sqrt(L) + p3 *
np.log(1 + A)")
layout.addWidget(QLabel("Formula:"))
layout.addWidget(self.formula_input)

self.factors_label = QLabel("Factors number:")
self.factors_spin = QSpinBox()
self.factors_spin.setRange(1, 6)
self.factors_spin.setValue(3)
self.factors_spin.valueChanged.connect(self.update_boundaries_visibility) #
Connect event
layout.addWidget(self.factors_label)
layout.addWidget(self.factors_spin)

self.boundaries = []
for i in range(6):
    min_input = QLineEdit()
    max_input = QLineEdit()
    label_input = QLabel(f"Factor {i+1} (min, max):")
    min_input.setPlaceholderText("Min")
    min_input.setText("0")
    max_input.setPlaceholderText("Max")
    max_input.setText("1")
    layout.addWidget(label_input)
    layout.addWidget(min_input)
    layout.addWidget(max_input)
    self.boundaries.append((label_input, min_input, max_input))

```

```

self.grad_desc_check = QCheckBox("Gradient Descent")
self.genetic_algo_check = QCheckBox("Genetic Algorithm")
layout.addWidget(self.grad_desc_check)
layout.addWidget(self.genetic_algo_check)
self.grad_desc_check.setChecked(True) # Default active
self.genetic_algo_check.setChecked(True) # Default active

self.analyze_button = QPushButton("Analyze")
self.analyze_button.clicked.connect(self.start_analysis)
layout.addWidget(self.analyze_button)
# Progress bar
self.progress_bar = QProgressBar()
self.progress_bar.setValue(0)
layout.addWidget(self.progress_bar)

self.update_boundaries_visibility() # Set initial visibility
self.tab1.setLayout(layout)

def initTab2(self):
    layout = QVBoxLayout()
    self.table = QTableWidgetItem()
    layout.addWidget(self.table)
    self.tab2.setLayout(layout)

def initTab3(self):
    """Initialize the Progress tab."""
    layout = QVBoxLayout()

# Log console

```

```

self.log_console = QPlainTextEdit()
self.log_console.setReadOnly(True)
layout.addWidget(self.log_console)

self.tab3.setLayout(layout)
def show_presets_modal(self):
    presets = [
        {"name": "Preset 0:  $p_1 * \ln(1 + K) + p_2 * \sqrt{L} + p_3 * \ln(1 + A)$ ",
"formula": " $p_1 * \ln(1 + K) + p_2 * \sqrt{L} + p_3 * \ln(1 + A)$ ", "factors": 3},
        {"name": "Preset 1.1:  $\ln(K^{p_1}) * L^{1-p_1} + p_3 * \ln(A^{p_2}) * L^{1-p_2}$ ", "formula":
"np.power(K,p1)*np.power(L,1-p1)+p3*np.power(A,p2)*np.power(L,1-p2)", "factors":
3},
        {"name": "Preset 1.2:  $\ln(K^{p_1}) * L^{p_2} + p_5 * \ln(A^{p_3}) * L^{p_4}$ ", "formula":
"np.power(K, p1) * np.power(L, p2) + p5 *
np.power(A, p3) * np.power(L, p4)", "factors": 5},
        {"name": "Preset 1.3:  $\ln(K^{p_1}) * L^{p_2} + p_6 * \ln(A^{p_3}) * L^{p_4} * \ln(K^{p_5})$ ", "formula":
"np.power(K, p1) * np.power(L,
p2) + p6 * np.power(A, p3) * np.power(L, p4) * np.power(K, p5)", "factors": 6},
        {"name": "Preset 1.4:  $\ln(K^{p_1}) * L^{p_2} * \ln(A^{p_3})$ ",
"formula": " $\ln(K^{p_1}) * L^{p_2} * \ln(A^{p_3})$ ", "factors": 3},
        {"name": "Preset 2:  $\ln(K - K_0)^{p_1} * L^{1-p_1} + p_3 * \ln(A - A_0)^{p_2} * L^{1-p_2}$ ", "formula":
"np.power(K - K0, p1) * np.power(L - L0, 1 - p1) + p3 *
np.power(A - A0, p2) * np.power(L - L0, 1 - p2)", "factors": 3},
        {"name": "Preset 3.1:  $\min(p_1 * \ln(A^{p_2}) * K^{1-p_2}, p_3 * \ln(A^{p_4}) * L^{1-p_4})$ ", "formula":
"np.minimum(p1 *
np.power(A, p2) * np.power(K, 1 - p2), p3 * np.power(A, p4) * np.power(L, 1 - p4))",
"factors": 4},

```

```

    {"name": "Preset 4.1: np.log(K + 1) * np.log(L + 1) + p1 * np.log(A + 1) *
np.log(L + 1)", "formula": "np.log(K + 1) * np.log(L + 1) + p1 * np.log(A + 1) *
np.log(L + 1)", "factors": 1},
    {"name": "Preset 4.2: np.log(K + 1) * np.log(L + 1) + p1 * np.log(A + 1) *
np.log(K + 1) * np.log(L + 1)", "formula": "np.log(K + 1) * np.log(L + 1) + p1 *
np.log(A + 1) * np.log(K + 1) * np.log(L + 1)", "factors": 1},
    {"name": "Preset 4.3: np.log(A + 1) * np.log(K + 1) * np.log(L + 1)", "formula":
"np.log(A + 1) * np.log(K + 1) * np.log(L + 1)", "factors": 1},
]

```

```

dialog = PresetsDialog(presets, self)
if dialog.exec_() == QDialog.Accepted:
    selected_preset = dialog.selected_preset()
    if selected_preset:
        self.formula_input.setText(selected_preset["formula"])
        self.factors_spin.setValue(selected_preset["factors"])
def update_boundaries_visibility(self):
    """Show only the required number of factor boundary inputs."""
    num_factors = self.factors_spin.value()
    for i, (label_input, min_input, max_input) in enumerate(self.boundaries):
        visible = i < num_factors
        label_input.setVisible(visible)
        min_input.setVisible(visible)
        max_input.setVisible(visible)

def load_file(self):
    file_path, _ = QFileDialog.getOpenFileName(self, "Open Excel File", "", "Excel
Files (*.xlsx *.xls)")
    if file_path:
        self.file_label.setText(file_path)

```

```

self.data = pd.read_excel(file_path)
self.X = self.data[["K", "L", "A"]].values
self.y = self.data["Count"].values
self.K0 = min(self.X[:, 0])
self.L0 = min(self.X[:, 1])
self.A0 = min(self.X[:, 2])
self.populate_table()

```

```

def populate_table(self):
    if self.data is not None:
        self.table.setRowCount(self.data.shape[0])
        self.table.setColumnCount(self.data.shape[1])
        self.table.setHorizontalHeaderLabels(self.data.columns)

        for i in range(self.data.shape[0]):
            for j in range(self.data.shape[1]):
                self.table.setItem(i, j, QTableWidgetItem(str(self.data.iloc[i, j])))

```

```

def utility_function(self, params, X):
    # Get the number of factors
    num_factors = self.factors_spin.value()

    # Create a dictionary for parameters p1, p2, p3, ...
    param_dict = {f"p{i+1}": params[i] for i in range(num_factors)}

    # Get the formula text from the input field
    formula = self.formula_input.text()

    # Add variables K, L, A, and parameters to the local namespace
    K, L, A = X[:, 0], X[:, 1], X[:, 2]

```

```

local_vars = {
    "K": K,
    "L": L,
    "A": A,
    "K0": self.K0,
    "L0": self.L0,
    "A0": self.A0,
    "np": np, # Add numpy module
    "power": np.power, # Add power function
    "log": np.log, # Add log function
    "sqrt": np.sqrt, # Add sqrt function
    "minimum": np.minimum, # Add minimum function
}
local_vars.update(param_dict) # Add parameters p1, p2, p3, ...
try:
    # Evaluate the formula using eval
    result = eval(formula, {}, local_vars)
    return result
except Exception as e:
    self.log_console.appendPlainText(f"Error evaluating formula: {e}")
    return np.zeros_like(K) # Return a zero array in case of error

def objective_function(self, params):
    predictions = self.utility_function(params, self.X)
    correlation, _ = pearsonr(predictions, self.y)
    return -correlation # Minimize the negative correlation

def genetic_algorithm(self):
    factors = self.factors_spin.value()
    def clip_params(params):

```

```

return np.clip(params, [b[0] for b in self.bounds], [b[1] for b in self.bounds])

population = [clip_params(np.random.uniform(0, 1, factors)) for _ in range(50)]

for gen in range(100):
    scores = [self.objective_function(ind) for ind in population]

    best_score = min(scores)
    self.progress_bar.setValue(gen)
    self.log_console.appendPlainText(f'Generation {gen+1} of 100: Best score = {-
best_score:.6f}')

    sorted_population = [x for _, x in sorted(zip(scores, population), key=lambda
pair: pair[0])]
    new_population = sorted_population[:25]

    while len(new_population) < 50:
        p1, p2 = random.sample(new_population, 2)
        child = (p1 + p2) / 2
        if random.random() < 0.1:
            child += np.random.normal(0, 0.1, factors)
        child = clip_params(child)
        new_population.append(child)
    population = new_population
    QApplication.processEvents()
    best_params = sorted_population[0]
    self.log_console.appendPlainText(f'\nOptimal parameters: {-best_params}')
    return best_params

def run_analysis(self):

```

```

"""Run the analysis in the main thread."""
factors = self.factors_spin.value()
# Dynamically construct bounds from text fields
self.bounds = []
for i in range(factors): # Only consider the active number of factors
    min_input, max_input = self.boundaries[i][1], self.boundaries[i][2] # Get min
and max QLineEdit fields
    # Get min value (default to 0 if empty or invalid)
    try:
        min_val = float(min_input.text()) if min_input.text() else 0.0
    except ValueError:
        min_val = 0.0 # Default to 0 if input is invalid
    # Get max value (default to 1 if empty or invalid)
    try:
        max_val = float(max_input.text()) if max_input.text() else 1.0
    except ValueError:
        max_val = 1.0 # Default to 1 if input is invalid
    # Ensure min_val <= max_val
    if min_val > max_val:
        min_val, max_val = max_val, min_val # Swap values if min > max
    self.bounds.append((min_val, max_val)) # Add to bounds list

optimal_params_gd = []
optimal_params_ga = []
if self.grad_desc_check.isChecked():
    self.log_console.appendPlainText("Running Gradient Descent...")
    initial_params = [0.1] * factors
    result = minimize(self.objective_function, initial_params, method="L-BFGS-B",
bounds=self.bounds)
    optimal_params_gd = result.x

```

```

        correlation_gd, _ = pearsonr(self.utility_function(optimal_params_gd, self.X),
self.y)
        self.result_fields["Optimal parameters (gradient descent)
p1,p2,p3,p4,p5,p6"].setText(str(optimal_params_gd))
        self.result_fields["Correlation coefficient (gradient
descent)"].setText(f" {correlation_gd:.6f} ")
        self.log_console.appendPlainText("Gradient Descent completed.")

if self.genetic_algo_check.isChecked():
    self.log_console.appendPlainText("Running Genetic Algorithm...")
    optimal_params_ga = self.genetic_algorithm()
    correlation_ga, _ = pearsonr(self.utility_function(optimal_params_ga, self.X),
self.y)
    self.result_fields["Optimal parameters (genetic algorithm)
p1,p2,p3,p4,p5,p6"].setText(str(optimal_params_ga))
    self.result_fields["Correlation coefficient (genetic
algorithm)"].setText(f" {correlation_ga:.6f} ")
    self.log_console.appendPlainText("Genetic Algorithm completed.")

# Update the graph
self.update_graph(optimal_params_gd, optimal_params_ga, self.X, self.y)
self.log_console.appendPlainText("Analysis completed successfully.")

def start_analysis(self):
    """Start the analysis in a separate thread."""
    if self.data is None:
        QMessageBox.warning(self, 'Error', 'Please select a data file!')
        self.log_console.appendPlainText("Error: Please select a data file!")
        return
    if self.analysis_thread and self.analysis_thread.isRunning():

```

```

    self.log_console.appendPlainText("Analysis is already running.")
    return
self.analyze_button.setEnabled(False)
self.genetic_algo_check.setEnabled(False)
self.grad_desc_check.setEnabled(False)
self.log_console.clear() # Clear the log console
self.progress_bar.setValue(0) # Reset progress bar

try:
    # Run the analysis directly in the main thread
    self.run_analysis()
except Exception as e:
    self.log_console.appendPlainText(f"Error during analysis: {e}")
finally:
    # Re-enable UI elements after analysis
    self.analyze_button.setEnabled(True)
    self.genetic_algo_check.setEnabled(True)
    self.grad_desc_check.setEnabled(True)
    self.progress_bar.setValue(100) # Set progress bar to 100%
    self.log_console.appendPlainText("Analysis finished.")

def update_graph(self, optimal_params_gd, optimal_params_ga, X, y):
    """Update the graph in the main thread."""
    self.ax.clear()
    if self.grad_desc_check.isChecked():
        self.ax.scatter(self.utility_function(optimal_params_gd, X), y, label="Gradient
Descent")
    if self.genetic_algo_check.isChecked():
        self.ax.scatter(self.utility_function(optimal_params_ga, X), y, label="Genetic
Algorithm")

```

```

self.ax.set_xlabel("Predicted Value")
self.ax.set_ylabel("Count")
self.ax.legend()
self.canvas.draw()
QApplication.processEvents() # Ensure the event loop processes painting events

def export_results(self):
    pdf_path, _ = QFileDialog.getSaveFileName(self, "Save PDF", "", "PDF Files
(*.pdf)")
    if pdf_path:
        self.figure.savefig(pdf_path)

    mat_path, _ = QFileDialog.getSaveFileName(self, "Save MATLAB Figure", "",
"MAT Files (*.mat)")
    if mat_path:
        from scipy.io import savemat
        savemat(mat_path, {'x': np.linspace(0, 10, 100), 'y': np.sin(np.linspace(0, 10,
100))})

if __name__ == "__main__":
    app = QApplication(sys.argv)
    window = AnalysisApp()
    window.show()
    sys.exit(app.exec_())

from PyQt5.QtWidgets import QDialog, QVBoxLayout, QListWidget,
QDialogButtonBox

class PresetsDialog(QDialog):
    def __init__(self, presets, parent=None):

```

```
super().__init__(parent)
self.setWindowTitle("Select Preset")
self.presets = presets
self.initUI()
```

```
def initUI(self):
```

```
    layout = QVBoxLayout(self)
```

```
    self.list_widget = QListWidget()
```

```
    for preset in self.presets:
```

```
        self.list_widget.addItem(preset["name"])
```

```
    layout.addWidget(self.list_widget)
```

```
    buttons = QDialogButtonBox(QDialogButtonBox.Ok | QDialogButtonBox.Cancel)
```

```
    buttons.accepted.connect(self.accept)
```

```
    buttons.rejected.connect(self.reject)
```

```
    layout.addWidget(buttons)
```

```
def selected_preset(self):
```

```
    selected_item = self.list_widget.currentItem()
```

```
    if selected_item:
```

```
        return self.presets[self.list_widget.row(selected_item)]
```

```
    return None
```