

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

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Воронеж – 2026

Работа выполнена в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)» (МФТИ, Физтех).

Научный
руководитель

Щепкин Александр Васильевич доктор
технических наук, профессор

Официальные
оппоненты

Минаев Владимир Александрович, доктор
технических наук, профессор, ФГКОУ ВО
«Московский ордена Почета университет
Министерства внутренних дел Российской
Федерации имени В.Я. Кикотя», г. Москва,
профессор кафедры специальных
информационных технологий

Шинкевич Алексей Иванович, доктор
технических наук, профессор, ФГБОУ ВО
«Казанский национальный исследовательский
технологический университет», г. Казань,
заведующий кафедрой логистики и управления,
почетный работник сферы образования
Российской Федерации.

Ведущая
организация

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего
образования «Южно-Уральский
государственный университет
(национальный исследовательский
университет)», г. Челябинск

Защита состоится «26» июня 2026 года в 12:00 часов в конференц-зале на заседании диссертационного совета 24.2.286.04, созданного на базе ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», по адресу: г. Воронеж, Московский просп., д. 14, ауд. 216.

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет» и на сайте <https://cchgeu.ru/>

Автореферат разослан «04» мая 2026 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Гусев Константин Юрьевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

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, единовременно 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 индексируются 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.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** диссертационной работы приводится обоснование актуальности темы исследования, формулируются цель и задачи, определяется научная новизна диссертационного исследования. Характеризуются степень разработанности темы и методологическая база, обосновываются теоретическая и практическая значимость работы, раскрывается степень достоверности результатов исследования. Также представляются основные положения, выносимые на защиту, сведения о публикациях по теме исследования и апробация основных положений диссертации.

В первой главе диссертации приведен анализ объекта исследования (учреждение общего образования). Определено понятие мультиорганизационной системы общего образования, включающей в себя учреждение общего образования, ее составляющие части и окружение. Детально описан взгляд социальных и гуманитарных наук на общее образование как систему.

В главе представлена характеристика сферы общего образования, а также учреждения общего образования как цельного объекта исследования. Ретроспективно прослеживаются тенденции и особенности отрасли на разных этапах ее развития. Затем детально рассматривается понятие мультиорганизационной системы общего образования.

На Рис.1 представлены ключевые субъекты, участвующие в мультиорганизационной системе и предложено ее описание посредством метода СПРУКАР.

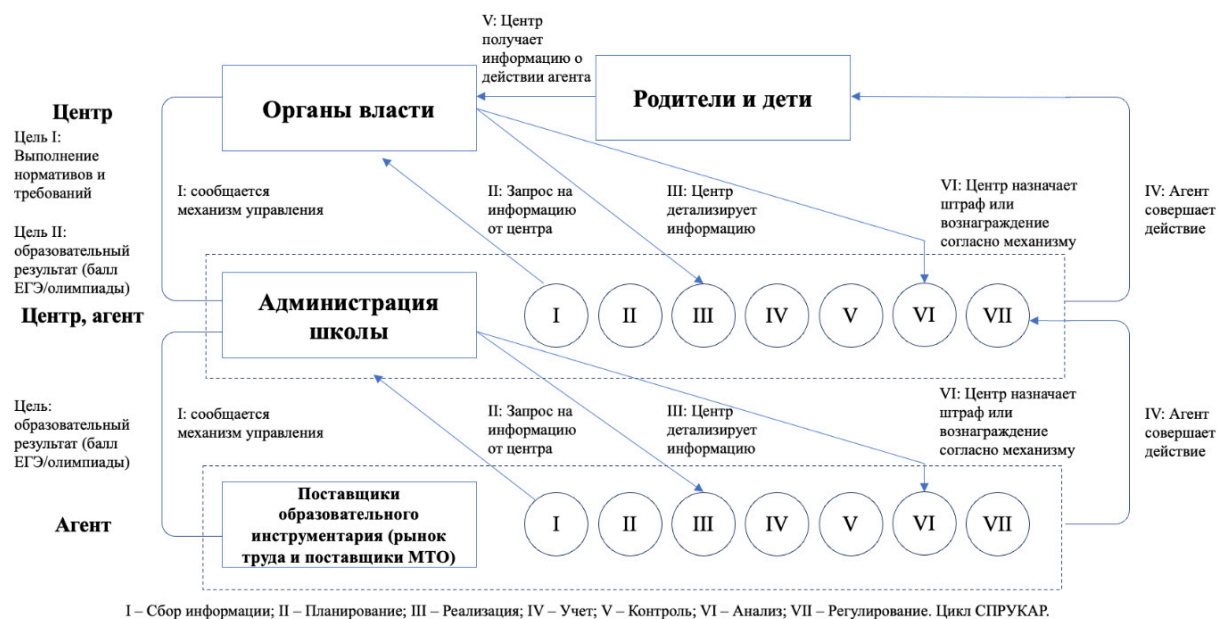


Рис. 1. Схема взаимодействия участников мультиорганизационной системы общего образования

Фактически общее образование является трехуровневой системой «вышестоящие органы» - школа - поставщики образовательного инструментария. Проведен анализ теоретических подходов, рассматривающих общее образование как цельную систему агентов и взаимодействий.

В главе анализируется сложность измерения таких категорий, как качество образования, подготовленность к жизни или удовлетворенность участников процесса, основными инструментами анализа выступают педагогика, психология и социология. В центре внимания находится переход от иерархической модели управления к мультиорганизационной, где образовательное учреждение рассматривается как открытая система, а ключевую роль играет взаимодействие множества акторов: учителей, учащихся, родителей, администрации и государства.

В работе выделяются две основные функции образовательного процесса — обучение и воспитание — и связанные с ними показатели эффективности. Эффективность обучения предлагается измерять, в частности, через академические результаты (экзамены, олимпиады). Особый акцент делается на факторах, влияющих на эти результаты: квалификации и оплате труда педагогов, содержании образовательных программ, материально-техническом оснащении (цифровые технологии, лаборатории) и вовлеченности учащихся. Приводятся исследования, подтверждающие значимость этих факторов, особенно измеримых инвестиций в кадры и материальное оснащение.

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.

Вторая глава диссертации посвящена результатам анализа и разработке алгоритмов оптимального управления неоднородным объектом в мультиорганизационной системе среднего общего образования, а также рассмотрению теоретических основ управления. Также предложен ряд математических моделей взаимодействий участников мультиорганизационной системы общего образования. Мультиорганизационная система общего образования и взаимодействия учреждения общего образования анализируются с точки зрения математических наук и моделей механизмов управления. Представлена декомпозиция целей образовательных учреждений, основанная на опросе директоров учреждений и предприятий. На основе данной декомпозиции целей рассматриваются алгоритмы взаимодействия директора образовательного учреждения с поставщиками в рамках проведения закупки и педагогическим составом. Определено, что функция полезности выражается как средний балл государственных экзаменов выпускников общеобразовательной организации. Предлагается применение в образовательной сфере механизмов управления, в поставках оборудования – механизма «затраты-эффект», механизма стимулирования, конкурсного механизма, механизма оптимизации сети поставок и механизма активной экспертизы, в управлении педагогическим коллективом – механизма управления при работе с кадровым составом, механизма стимулирования за коллективные результаты, механизма последовательного распределения ресурсов и механизма комплексного оценивания.

Далее рассматриваются различные модели и алгоритмы процессов взаимодействия образовательных организаций и поставщиков материально-технического обеспечения в рамках государственной закупки отдельной продукции, а также приводятся описания алгоритмов закупки, таких как модель, где существуют только учреждение общего образования и поставщик, модели с участием нескольких поставщиков, модели с участием контролирующих и регулирующих органов. Одной из наиболее применимых моделей является модель «Конкуренции между поставщиками с возможным субподрядом». Определено, что функцией полезности поставщика образовательной услуги или оборудования является прибыль или выручка.

x-количество товара
 p-цена товара
 AC-затраты на производство одной единицы нулевого качества
 q-показатель качества продукции, q=[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

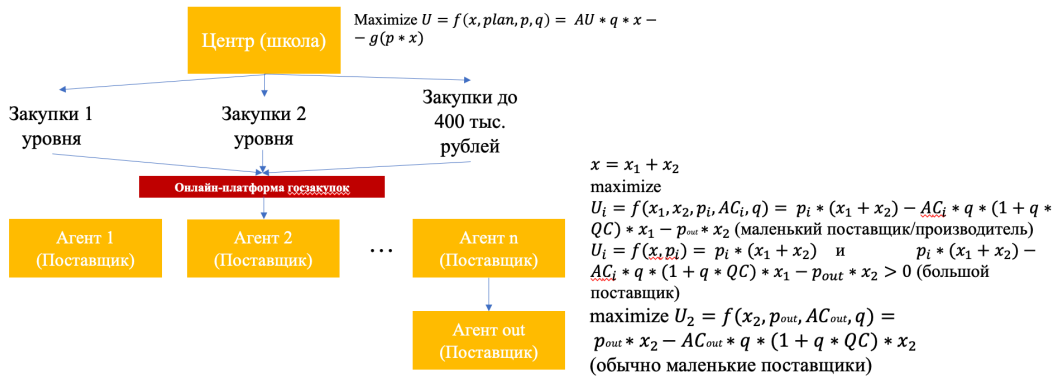


Рис. 2. Модель поставки одним поставщиком полного объема и конкуренции между поставщиками, когда поставщик может делать субподряд

Процесс конкуренции за закупку образовательного оборудования рассматривается для ситуации полной неинформированности поставщиков (игра с неполной информацией), а также рассматриваются алгоритмы закупок.

Схема конкуренции выглядит следующим образом.

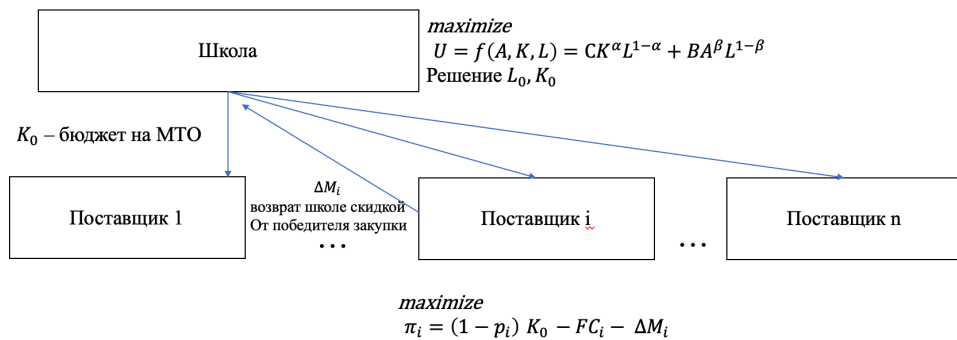


Рис. 3. Двухуровневая обобщенная схема конкуренции поставщиков за осуществление поставки

Скидка, которую будет делать поставщик будет равна

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

где n – число участников закупки, что также хорошо описывает монопольный и совершенно конкурентный случай, а также случай, когда поставщик не может делать скидку равную сумме закупки. Отдельно в главе рассмотрен случай, когда поставщики максимизируют и выручку, и прибыль. Конкурентные взаимоотношения поставщиков за закупку образовательного оборудования смоделированы для случаев частичной информированности и полной неинформированности.

С помощью теории игр моделируется взаимодействие общеобразовательного учреждения с вышестоящими органами и алгоритмы конкуренции организаций за бюджетные средства, распределяемые департаментом. Торги между двумя игроками (общеобразовательное учреждение и департамент) регулируются по модели Рубинштейна: департамент первым предлагает схему разделения, что отмечается в тексте работы как его однозначное преимущество, рычагом же воздействия общеобразовательного учреждения характеризуется возможность остановки образовательного процесса педагогическим составом и падение показателей департамента. Оптимальная стратегия для игрока предлагать оппоненту минимальный раздел, на который он согласится.

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

$$\delta_1 r_T \geq r_{T+1}$$

В заданных условиях игрок 1 предлагает раздел $r_1 = \frac{1-\delta_2}{1-\delta_1\delta_2}$

и соглашается не менее чем на $r_2 \geq \frac{\delta_1(1-\delta_2)}{1-\delta_1\delta_2}$

Торги между N игроками описываются моделью Бэрона и Фереджона: несколько учреждений общего образования с равными характеристиками имеют влияние на принятие департаментом управленческого решения. Выигрыши игроков в ней 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.

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).

В третьей главе предложены целевые функции участников многоуровневой системы общего образования. Также проведены вычислительные и натурные эксперименты с целью повышения эффективности многоуровневой системы общего образования, отличающиеся рассмотрением случаев полной и частичной информированности поставщиков, конкуренции за бюджет, а также влияния нефинансовых факторов на школу.

В качестве целевой функции общеобразовательной организации в зависимости от распределения ресурсов рассмотрена функция «двойного» Кобба-Дугласа:

$$U = f(A, K, L) = CK^\alpha L^{1-\alpha} + BA^\beta L^{1-\beta}, 0 < \alpha < 1, 0 < \beta < 1$$

В тексте диссертационного исследования выделены четыре случая решения учреждением общего образования поставленной перед ней задачи:

I. Максимизация образовательного результата в текущем учебном году (функция приобретает вид: $U = f(L) = C(M_0 - L)^\alpha L^{1-\alpha} + BA_0^\beta L^{1-\beta}$). Максимизируя данную функцию полезности, мы можем получить уравнение $\gamma C_2 C = C_1 ((1 - \alpha) + \gamma)^{\alpha - \beta} (\alpha - \gamma)^{1 - \alpha} C_2^{1 - \beta}$, $\gamma \in (-(1 - \alpha); \alpha)$, которое решаемо относительно γ в численном виде. Так, для частного случая $\alpha, \beta = 0.5$ мы получим следующее решение. ($\gamma = \frac{L}{M_0} - 0.45$)

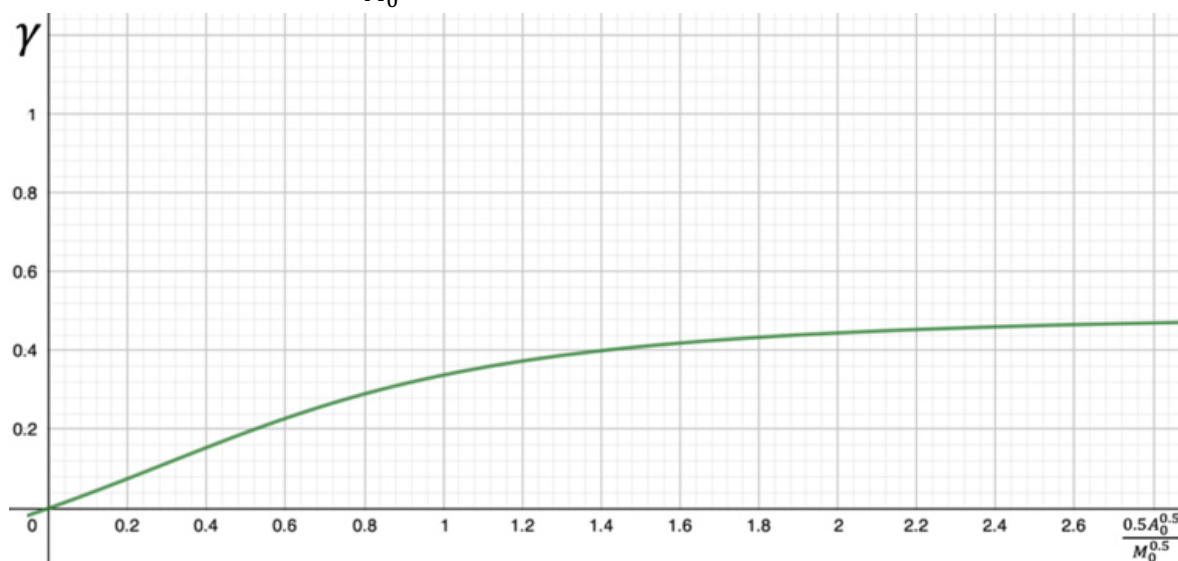


Рис. 4. Решение уравнения для $\alpha = 0.5, \beta = 0.5$

II. Максимизация образовательного результата через n лет (функция приобретает вид: $U_n = C(M_n - L_n)^\alpha L_n^{1-\alpha} + B(A_0 + \sum_{i=1}^{n-1} (M_i - L_i))^\beta L_n^{1-\beta}$).

Задача сводится к случаю, описанному в пункте I, то есть к задаче максимизации образовательного результата за один год:

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

III. Максимизация усредненного за n лет образовательного результата (функция приобретает вид: $U_0 = C(M_0 - L)^\alpha L^{1-\alpha} + BA_0^\beta L^{1-\beta}$, $0 < \alpha < 1, 0 < \beta < 1$).

Задача максимизации в этом общем виде будет выглядеть следующим образом:

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

Локальное решение для $M_0 = 50$ млн рублей, $A_0 = 150$ млн рублей ($\alpha, \beta = 0.5$) представлено ниже.

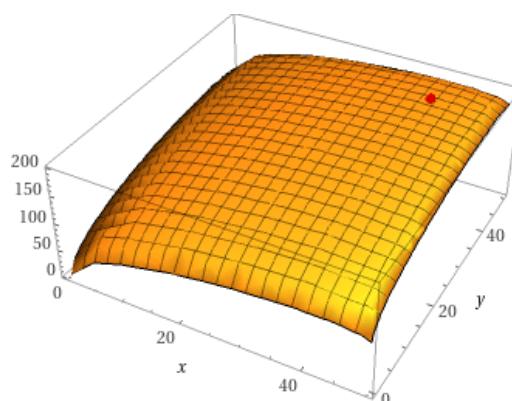


Рис. 5. График функции образовательного результата за 2 года и точка локального экстремума.

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

IV. Достижение минимально требуемого образовательного результата (функция приобретает вид: $U_{j\dots j+n}(\bar{L}) \rightarrow \max$).

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

максимизации упрощается до следующего вида:

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

Для $\alpha = 0.5$, $\beta = 0.5$, то мы получим следующее решение.

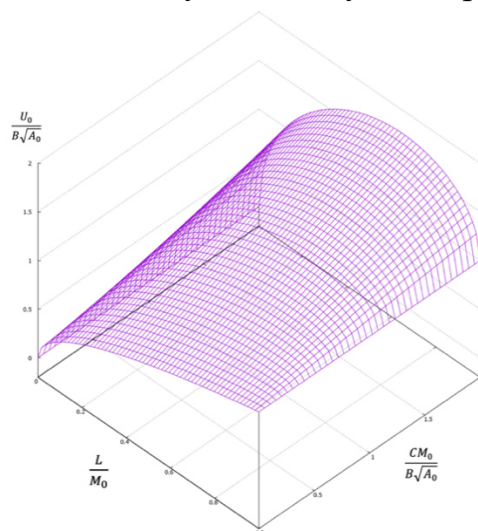


Рис. 6. Решение уравнения для $\alpha = 0.5$, $\beta = 0.5$

В работе количественное обоснование вида целевой функции, а также рассмотрены девять потенциальных моделей, которые могут описывать её. Для представлен корреляционный анализ (Таблица 1). Для проведения корреляционного анализа были взяты данные 376 школ Санкт-Петербурга,

проверенные на нормальность выборки, но без данных о средних баллах ЕГЭ вследствие закрытости данных (использовалось число учащихся сдавших ЕГЭ в разных диапазонах).

Таблица 1 – Результаты корреляционного анализа

№	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

Аналогичные операции проведены для данных школ Свердловской и Нижегородской областей.

На основании результатов анализа в качестве потенциальной модели для теоретического рассмотрения в качестве гипотезы выдвигаются модель «двойного» Кобба-Дугласа и степенная функция, как коррелирующая с реальными данными. В исследование вводится гипотеза: функция полезности неоднородного объекта является степенной функцией от трех переменных (трат на МТО, трат на оплату труда и поставленного в объект исследования оборудования). Низкая корреляция связана с тем, что измерялась корреляция не со средним баллом ЕГЭ (данные отсутствовали), а с числом «супербалльников», которые отличаются сильной дискретностью и сильно отличаются от средних баллов.

В работе проанализировано использование функции «двойного» Кобба-Дугласа на основе реальных данных:

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

График решения представлен ниже.

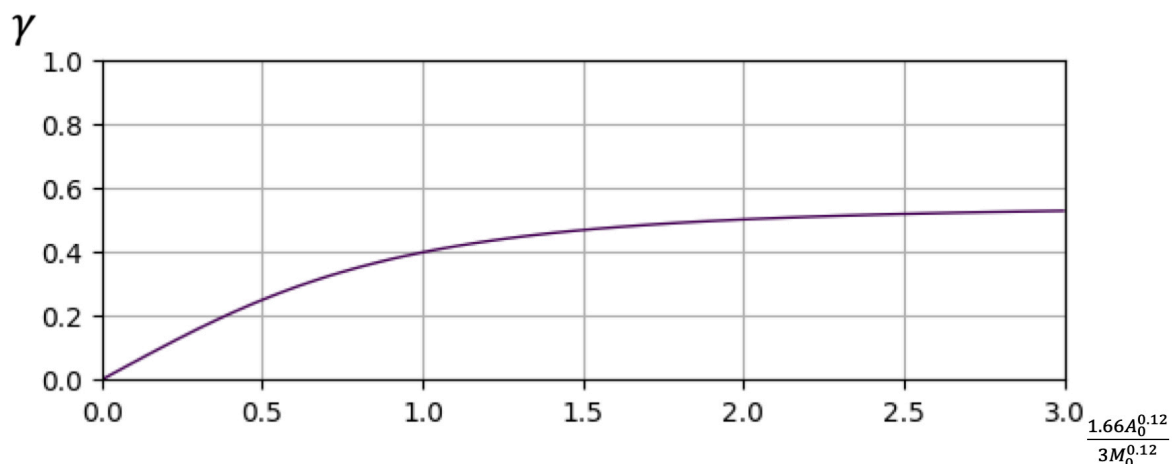


Рис. 7. Функция полезности «двойного» Кобба-Дугласа на реальных данных

Вывод: чем больше оснащенность ($\frac{A_0}{M_0}$) тем больше организация должна тратить на педагогов. Если оснащенность высокая ($\frac{A_0}{M_0}$ стремится к ∞), общеобразовательное учреждение должно тратить на педагогов вплоть до всего бюджета (так как асимптота графика находится на уровне $\gamma = 0.55$). Если оснащенность низкая, то необходимо тратить 45% от бюджета на материальное оснащение. Посредством построения корреляций между количеством «супербалльников» и стоимостью закупленного оборудования в ходе количественного анализа подтверждается гипотеза о наибольшем влиянии закупок научно-лабораторного и цифрового оборудования на значение целевой функции.

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.

В четвертой главе рассмотрена структура разработанного программного комплекса поддержки процесса принятия управленческих решений. Данный программный комплекс позволяет подобрать параметры функций для конкретной выборки с помощью методов градиентного спуска и генетического алгоритма. На алгоритм получено свидетельство о регистрации ЭВМ.

Основные программные модули базируются на реализации методов градиентного спуска и генетического алгоритма. Модель формирует два набора данных в зависимости от выбранного алгоритма (в итоговых данных использован метод на основе генетического алгоритма). Программные модули написаны на языке Python, пользовательский интерфейс представлен на рисунке 8. В структуре комплекса доступен формульный движок, позволяющий оперативно оценивать пригодность тех или иных формул для моделирования функций полезности.

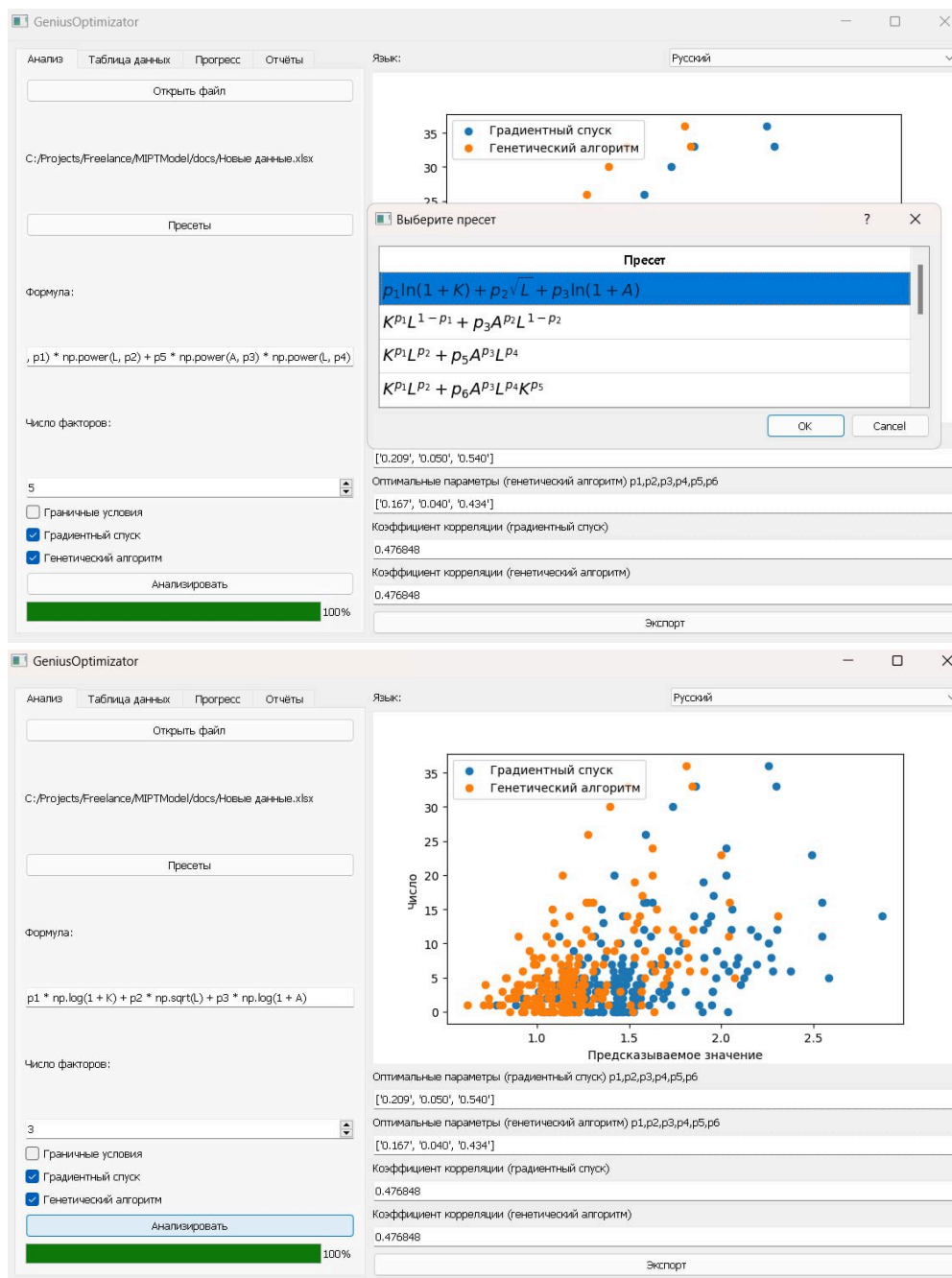


Рис. 8. Интерфейс приложения для корреляционного моделирования

В работе приведены результаты разработки практико-ориентированных технологий принятия решений, рассматривает реализацию методов и моделей теории управления, теории полезности, теории игр в рамках образовательного и организационного процесса Фонда развития Физтех-школ и Физтех-лицей, российских органов федеральной исполнительной власти и образовательных учреждений.

Далее в диссертации изложены результаты моделирования процессов управления образовательной организацией на примере Фонда развития Физтех-школ и АНОО «Физтех-лицей» им. П.Л. Капицы. В данной части диссертации описываются процедуры принятия решений и взаимодействий в рамках реализации

Фондом инфраструктурных и аналитических проектов, а также реализации процесса взаимодействия с образовательными учреждениями, а также применение в рамках цифровизации управления.

Также рассматривается практический пример федеральных органов исполнительной власти в части моделирования управления образовательной организацией. Представляется применение результатов работы в рамках аналитических исследований Национальной технологической инициативы, Министерства промышленности и торговли, Министерства экономического развития Российской Федерации, а также применение представленных в диссертации моделей для принятия управленческих решений. В исследовании подробно описываются возможности использования методик, основанных на представленных в работе методах моделирования, в управлении образовательной организацией, а также возможность применения методик для цифровизации управления образовательной организацией.

Таким образом, в данной главе представлен программный комплекс для 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).

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

Публикации в изданиях списка SCOPUS

1. *Bogdanov A., Shchepkin A., Kolobov D.* Behavior Model of General Secondary Schools and Factors Influencing Their Results // 15th International Conference Management of large-scale system development (MLSD) (Moscow, RF, 26-28 September 2022). – 2022. – P. 1-4. doi:10.1109/MLSD55143.2022.9934285 – (индексируется Scopus)

Публикации в изданиях списка ВАК

2. *Богданов А.Д., Щепкин А.В.* Методический подход к управлению организацией общего образования через материальное обеспечение // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2025. – Т. 25, № 2. – С. 82-94 – (индексируется ВАК, категория К-2).

3. *Богданов А.Д., Колобов Д.В., Щепкин А.В.* Количественная валидация функции полезности средних общеобразовательных школ в зависимости от понесенных затрат и определение ее ключевых параметров // Труды МФТИ. – 2022. – Т. 14, № 4. – С. 42-51 – (индексируется RSCI-ВАК).

4. *Богданов А.Д., Колобов Д.В., Щепкин А.В.* Модели процессов закупки материально-технического обеспечения школ и конкуренции между поставщиками // Проблемы управления. – 2024. – № 1. – С. 35-42, doi: 10.25728/ru.2024.1.4 – (индексируется RSCI-ВАК, категория К-1).

5. *Богданов А.Д., Щепкин А.В., Лихолин М.П.* О моделировании закупки образовательного оборудования и бюджетной конкуренции школ // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2024. – № 2. – С. 97-106 – (индексируется ВАК, категория К-2).

Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ

6. **Свид. №2025617040 Российская Федерация.** Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ. Программа для многофакторной оптимизации параметров целевой функции общеобразовательных организаций на основе градиентного спуска и генетических алгоритмов / А.Д. Богданов; заявитель и правообладатель Богданов Андрей Дмитриевич. – №2025615501; заявл. 13.03.2025; опублик. 21.03.2025, Реестр программ для ЭВМ. – 1 с.

Статьи в журналах, сборниках трудов конференций

7. *Богданов А.Д., Поминов С.С.* Взгляд теории активных систем на управление школой. Как директору правильно распределить имеющиеся ресурсы // Вестник ГОУ ДПО ТО "ИПК и ППРО ТО". Тульское образовательное пространство. – 2023. – № 2. – С. 6-11. – EDN AFLQLU. – (индексируется РИНЦ)
8. *Богданов А.Д., Щепкин А.В., Колобов Д.В.* Моделирование поведения средних общеобразовательных школ и определение факторов, влияющих на их результаты // Управление развитием крупномасштабных систем (MLSD'2022) : Труды Пятнадцатой международной конференции, Москва, 26–28 сентября 2022 года / Под общей редакцией С.Н. Васильева, А.Д. Цвиркуна. – Москва: Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2022. – С. 1393-1400. – DOI 10.25728/mlsd.2022.1393. – EDN ICWZPO – (индексируется РИНЦ)
9. *Богданов А.Д., Колобов Д.В., Щепкин А.В.* Определение функции полезности и механизмов управления закупками дополнительного оборудования в средних общеобразовательных учреждениях // Прикладная математика и информатика. Труды 64-й Всероссийской научной конференции МФТИ (29 ноября – 03 декабря 2021 г., М. – Долгопрудный –Жуковский). – М.: МФТИ, 2021. – С.132-133. (индексируется РИНЦ)
10. *Богданов А.Д.* Проведение закрытых аукционов первой цены в сфере закупки материально-технического обеспечения для образования // Прикладная математика и информатика. Труды 65-й Всероссийской научной конференции МФТИ в честь 115-летия Л.Д. Ландау (3-8 апреля 2023 г.). – М.: Физматкнига, 2023. – С. 21-22. – (индексируется РИНЦ)
11. *Богданов А.Д., Лихолин М.П., Машалов Н.Е.* Оценка влияния кредитных условий на конкурентные предложения малых поставщиков в сфере образования // Прикладная математика и информатика. Труды 66-й Всероссийской научной конференции МФТИ (1-6 апреля 2024 г.). – М.: Физматкнига, 2024. – С. 30-32. – (индексируется РИНЦ)

Подписано в печать 24.04.2026 г.

Формат 60x84x16. Бумага для множительных аппаратов

Усл. печ. л. 1,25. Тираж 80 экз. Заказ №299

ФГАОУ ВО «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)»

141701, Московская область, г. Долгопрудный, Институтский переулок, д.9.