

5.2. ЭКОНОМИКА

5.2. ECONOMY

Научная статья

УДК 330.42

DOI: 10.25683/VOLBI.2026.75.1628

Lyudmila Vladimirovna Glukhova

Doctor of Economics, Professor,
Professor of the Institute of Finance,
Economics, and Management,
Togliatti State University
Togliatti, Russian Federation
prof.glv@ya.ru

Anton Andreevich Gudkov

Postgraduate of the Higher School
of Intelligent Systems and Cybertechnologies,
scientific specialty
5.2.2 — Mathematical, statistical,
and instrumental methods in economics,
Volga Region State University of Service
Togliatti, Russian Federation
tonyg.ya@yandex.ru

Людмила Владимировна Глухова

д-р экон. наук, профессор,
профессор института финансов,
экономики и управления,
Тольяттинский государственный университет
Тольятти, Российская Федерация
prof.glv@ya.ru

Антон Андреевич Гудков

аспирант Высшей школы
интеллектуальных систем и кибертехнологий,
научная специальность
5.2.2 — Математические, статистические
и инструментальные методы в экономике,
Поволжский государственный университет сервиса
Тольятти, Российская Федерация
tonyg.ya@yandex.ru

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СОГЛАСОВАННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ УЧАСТНИКОВ ПРОЦЕССА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

5.2.2 — Математические, статистические и инструментальные методы в экономике

Аннотация. Статья посвящена разработке математического инструментария для управления процессом проектирования интеллектуальных информационно-аналитических систем (ИИАС). В условиях перехода к экономике данных ИТ-проекты характеризуются высокой неопределенностью и рисками превышения затрат, вызванными активным поведением участников и асимметрией информации между руководителем проекта (Центром) и исполнителями (Агентами).

Методологическую основу работы составил синтез аппарата теории активных систем, развитого в трудах В. Н. Буркова и Д. А. Новикова, и теории кооперативных игр с передаваемой полезностью. В рамках нормативного подхода авторы формализуют проектирование ИИАС как двухуровневую иерархическую систему. Ключевым методом исследования является дизайн механизмов, позволивший разработать систему уравнений, связывающую плановые показатели трудоемкости, фактическое состояние исполнителей и стимулирующие воздействия. В отличие от традиционных моделей, метод учитывает стохастическую природу НИОКР и нелинейность вклада интеллектуального капитала.

Основным результатом стал синтез нелинейного механизма стимулирования, удовлетворяющего условиям индивидуальной рациональности и совместимости стимулов. Применение принципа выявления позволило математически доказать, что сообщение истинной информации о сложности алгоритмов становится для Агента доминантной стратегией. Это нейтрализует эффект манипулирования данными и устраняет избыточную информационную ренту.

Научная новизна заключается в адаптации теоретико-игровых моделей к специфике наукоемкого программного обеспечения, включая учет рисков обучения и штрафов за переключение контекста. Практическая значимость состоит в создании методики, позволяющей ИТ-организациям повысить точность метрических оценок и минимизировать транзакционные издержки за счет автоматизации контроля согласованности интересов.

Ключевые слова: теория активных систем, согласованное взаимодействие, математическая модель управления, проектирование интеллектуальных информационно-аналитических систем, механизм стимулирования, теория игр, управление ИТ-проектами, одноуровневая система, минимизация затрат, информационная асимметрия

Для цитирования: Глухова Л. В., Гудков А. А. Математическая модель согласованного взаимодействия участников процесса проектирования интеллектуальных информационных систем // Бизнес. Образование. Право. 2026. № 2(75). С. 13—21. DOI: 10.25683/VOLBI.2026.75.1628.

Original article

MATHEMATICAL MODEL OF COORDINATED INTERACTION BETWEEN PARTICIPANTS IN THE DESIGN PROCESS OF INTELLIGENT INFORMATION SYSTEMS

5.2.2 — Mathematical, statistical, and instrumental methods in economics

Abstract. *The article is devoted to the development of mathematical tools for managing the design process of intelligent information and analytical systems (IIAS). In the context of the transition to a data economy, IT projects are characterized by high uncertainty and risks of cost overruns, driven by the active behavior of participants and information asymmetry between the project manager (the Center) and the executors (the Agents).*

The methodological framework of the study is a synthesis of the theory of active systems, as developed in the works of V.N. Burkov and D.A. Novikov, and cooperative game theory with transferable utility. Within a normative approach, the authors formalize IIAS design as a two-level hierarchical system. The core research method is mechanism design, which facilitated the development of a system of equations linking planned labor intensity indicators, the actual state of executors, and stimulating impacts. Unlike traditional models, this method accounts for the stochastic nature of R&D and the non-linearity of intellectual capital contribution.

The primary result is the synthesis of a non-linear incentive mechanism that satisfies the conditions of individual rationality and incentive compatibility. The application of the revelation principle allowed for a mathematical proof that reporting true information regarding algorithmic complexity becomes a dominant strategy for the Agent. This neutralizes the effects of data manipulation and eliminates excessive information rent.

The scientific novelty lies in the adaptation of game-theoretic models to the specifics of science-intensive software, including the consideration of learning risks and context-switching penalties. The practical significance consists in the development of a methodology that enables IT organizations to improve the accuracy of metric estimations (supplementing COCOMO II and FPA methods) and minimize transaction costs by automating the control of interest coordination.

Keywords: *theory of active systems, coordinated interaction, mathematical management model, intelligent systems design, incentive mechanism, game theory, IT project management, single-level system, cost minimization, information asymmetry*

For citation: Glukhova L. V., Gudkov A. A. Mathematical model of coordinated interaction between participants in the design process of intelligent information systems. *Biznes. Obrazovanie. Pravo = Business. Education. Law.* 2026;2(75):13—21. DOI: 10.25683/VOLBI.2026.75.1628.

Введение

В условиях реализации национального проекта «Экономика данных» и выполнения задач по достижению технологического суверенитета Российской Федерации (согласно Указу Президента РФ от 7 июля 2024 г. № 309), проектирование интеллектуальных информационно-аналитических систем (далее — ИИАС) становится приоритетным направлением развития экономики. Целесообразность изучения темы исследования продиктована необходимостью трансформации подходов к управлению стоимостью высокотехнологичных проектов в условиях перехода к экономике данных.

Совершенствование процессов управления проектами требует поиска новых оптимальных механизмов, облегчающих эффективное принятие управленческих решений. К таким инструментам сегодня относится теория активных систем (далее — ТАС), которая является структурным компонентом теории управления социально-экономическими системами и изучает механизмы влияния на их деятельность, обеспечиваемой активностью участников системы. Основными методами такого управления является математическое (теоретико-игровое) и имитационное моделирование.

В нашей стране основоположником ТАС был В. Н. Бурков. Сегодня у его учения есть много последователей. Получили развитие разделы экономико-математического моделирования, пропагандирующие программно-целевое планирование и скоординированное управление, в т. ч. управление проектами. Также стали развиваться теория контрактов (в основном, зарубежными учеными — Е. Maskin, R. Myerson и др.), а также теория реализуемости, изучаемая в разделе *mechanism design* и другие направления.

Актуальность исследования, таким образом, обусловлена необходимостью преодоления информационной асимметрии между руководителем проекта (Центром) и разработчиками (Агентами), которая может возникнуть ввиду отсутствия математически обоснованных механизмов согласования интересов, что позволяет исполнителям проекта проявлять оппортунистическое поведение, завышая оценки сложности ради получения информационной ренты.

Объект исследования: процесс технико-экономического обоснования и планирования затрат на проектирование ИИАС в условиях взаимодействия участников ИТ-организации.

Предмет исследования: экономико-математические модели и механизмы согласованного взаимодействия (стимулирования и распределения ресурсов), обеспечивающие достоверность метрических оценок при проектировании наукоемкого программного обеспечения.

Гипотеза исследования состоит в предположении о том, что повышение точности бюджетного планирования и снижение затрат на проектирование ИИАС возможно за счет внедрения механизма согласованного взаимодействия, основанного на аппарате ТАС. Предполагается, что синтез системы стимулирования, удовлетворяющей условию совместимости стимулов, позволит нейтрализовать оппортунистическое поведение разработчиков и сделает стратегию сообщения истинной информации о сложности задач экономически выгодной для всех участников процесса.

Разработка математической модели согласованного взаимодействия, основанной на аппарате ТАС и теории игр, является критически важной задачей. Это позволит обеспечить метрическую точность планирования ресурсов,

минимизировать нецелевые расходы и повысить эффективность управления распределенными интеллектуальными командами в масштабах цифровой экономики страны.

Изученность проблемы. Анализ современных исследований показывает, что проблема согласования интересов в социально-экономических системах является предметом глубокого изучения, однако ее адаптация к специфике проектирования интеллектуальных систем требует дальнейшей проработки.

В настоящем исследовании представлена модель скоординированного взаимодействия внутри инновационной проектной команды. Она основана на применении кооперативных игр для достижения поставленных целей. Исследование направлено на разработку целевой функции для руководителя проекта, которая обеспечивает минимизацию затрат за счет применения методов теории игр.

Теоретический фундамент исследования дополнен анализом актуальных зарубежных разработок. Математические аспекты и приложения теории были впервые представлены в классической книге 1944 г. «Теория игр и экономического поведения» Джона фон Неймана и Оскара Моргенштерна [1]. Этот механизм предполагает совместные многофункциональные усилия специалистов на различных уровнях для достижения определенных целей. Скоординированное взаимодействие включает в себя обмен знаниями, навыками и идеями, а также решение проблем, которое часто выходит за рамки одной профессиональной специализации.

Фундаментальные концепции «Качества командной работы» М. Хёгля и Х. Эрнста [2] и «гибкой координации» К. Чана [3] были включены в исследование для преодоления разрыва между ТАС и международными практиками управления ИТ-проектами. Синтез этих подходов с классической ТАС позволяет авторам расширить инструментарий согласованного управления проектированием ИИАС.

Фундаментальные основы механизмов согласованного взаимодействия заложены в работах Д. А. Новикова [4]. В монографии «Методология и теория управления» им обобщаются принципы создания неманипулируемых механизмов, что является базой для нашей модели.

Исследования В. Н. Буркова, А. К. Еналеева, Н. А. Коргина в плане согласованности взаимодействия при организационном управлении [5] развивают эти идеи, адаптируя математический аппарат ТАС к условиям цифровой экономики.

Специфика командной работы в инновационных проектах была подробно рассмотрена нами ранее. Была обоснована целесообразность применения ТАС для координации междисциплинарных групп [6], что прямо коррелирует с темой данного исследования в части одноуровневых систем с передаваемой полезностью. Роль интеллектуального капитала в таких системах подчеркивается в авторских работах А. А. Гудкова [7], где рассматриваются ИИАС как инструмент мониторинга знаний исполнителей проекта.

Проблемы асимметрии информации при оценке трудоемкости ИТ-проектов поднимаются в работах Н. Н. Скитер с соавторами [8]. В них проводится критический анализ ограничений модели применения традиционных метрик разработки программного обеспечения; показаны результаты процесса формирования трудозатрат на производство программного обеспечения в современных российских компаниях-разработчиках.

В отличие от предыдущих авторов, Х. П. Маташева и И. Р. Аббасов [9] изучают особенности информационной асимметрии в привязке к стимулированию агентов в цифровой экономике.

А. В. Пономарев [10] также применяет теоретико-игровые модели для оценки согласованности в системах создания совместной продукции и предлагает стохастические модели оптимизации затрат, что подтверждает необходимость перехода от детерминированных метрик к теоретико-игровым моделям, предлагаемым в нашей статье.

Современные подходы к распределенному контролю в активных системах исследуются А. К. Еналеевым и А. Д. Новиковым [11].

Теоретико-игровые аспекты управления взаимодействием на основе работ И. А. Борисова [12], позволяют формализовать условия согласованности, используемые в нашей системе уравнений. Он предлагает адаптированный процессно-статистический подход, позволяющий сначала оценить, а в последующем минимизировать затраты ресурсов на проектное управление.

Модели согласованного и комплексного оценивания результатов в задачах принятия решений рассматриваются В. Н. и И. В. Бурковыми, Н. А. Коргиным и А. В. Щепкиным [13]. Ими оцениваются, в отличие от других исследователей, не только объективные, но и субъективные оценки об объекте исследования, что также учтено в нашем исследовании.

П. Б. Абрамов, Д. В. Игнатов, Е. А. Шпилова, С. С. Кушев предлагают для принятия решений интеграцию многих инструментов, например, системы массового обслуживания, имитационное моделирование, оптимизацию [14]. Их подход к управлению процессами проектирования сложных систем дополняет нашу модель в части учета динамики фактических состояний исполнителей на разных этапах проектирования.

Изложенное позволяет констатировать наличие существенного научно-методического разрыва между теоретическими достижениями в области дизайна механизмов и практическим инструментарием управления ИТ-проектами. Для снижения научно-методического разрыва необходимо наличие сформированной трансдисциплинарной компетентности, на это сделан акцент в работе [15].

Особой значимостью в этом исследовании следует считать «принцип выявления», сформулированный в теории механизмов нобелевскими лауреатами — Леонидом Гурвичем [16], Роджером Майерсоном [17] и Эриком Маскином [18]. Этот принцип рассматривает теорию механизмов проектирования (*mechanism design*), что концептуально близко к проектированию ИИАС (Проект ИТ) и к механизмам управления в ТАС. На основе его было принято утверждение, что при анализе механизмов взаимодействия экономических агентов в условиях асимметричной информации нет необходимости рассматривать все возможные формы стратегического поведения участников ИТ-проектов. Достаточно ограничиться рассмотрением так называемых «прямых механизмов», в которых агенты непосредственно сообщают свои типы (например, истинную сложность задачи, издержки или предпочтения [16—18]).

Несмотря на глубокую проработку фундаментальных основ теории активных систем и теории игр классиками отечественной и зарубежной науки, специфические аспекты метрического обоснования затрат на проектирование интеллектуальных систем в условиях высокой неопределенности остаются недостаточно исследованными.

Таким образом, выявленная научная проблема заключается в необходимости разработки и теоретического обоснования комплексной математической модели, которая бы интегрировала современные метрики программной инженерии

с механизмами согласованного взаимодействия. Это позволит перейти от директивного планирования к динамическому управлению, обеспечивающему достоверность бюджетных оценок и минимизацию транзакционных издержек при создании наукоемких информационных систем.

Цель исследования состоит в теоретическом обосновании и разработке математического инструментария для управления затратами на проектирование ИИС на основе механизмов согласованного взаимодействия, обеспечивающих достоверность метрических оценок в условиях асимметрии информации.

Для достижения поставленной цели в работе решаются следующие **задачи**:

1. Формализовать процесс проектирования ИИАС как иерархическую активную систему, выделив ключевые факторы неопределенности и источники возникновения информационной ренты исполнителей.

2. Синтезировать математическую модель целевой функции руководителя проекта (Центра), интегрирующую нелинейные метрики сложности интеллектуальных алгоритмов и затраты на стимулирование Агентов.

3. Разработать алгоритм согласования интересов участников проекта, удовлетворяющий условиям совместимости стимулов, при которых сообщение истинной информации о трудоемкости становится доминантной стратегией разработчика.

4. Провести имитационное моделирование или статистическую апробацию предложенного механизма для подтверждения его эффективности в снижении отклонений плановых затрат от фактических.

Положения, раскрывающие **научную новизну** исследования:

1. Разработана авторская математическая модель согласованного взаимодействия участников ИТ-проекта, которая, в отличие от существующих (модели Буркова, Новикова), адаптирована под специфику метрик проектирования интеллектуальных систем (учет сложности алгоритмов искусственного интеллекта, объемов обучающих выборок и неопределенности результатов НИОКР).

2. Синтезирован нелинейный механизм стимулирования в одноуровневой активной системе с передаваемой полезностью, обеспечивающий выполнение условия совместимости стимулов. Это позволяет математически доказать возможность нивелирования информационной ренты исполнителей и обеспечения правдивости сообщаемых ими метрических оценок.

3. Предложен комплексный алгоритм координации распределенных проектных команд, базирующийся на интеграции ТАС и современных методов программной инженерии. Алгоритм позволяет динамически корректировать плановые показатели трудоемкости на основе мониторинга фактических состояний агентов.

4. Обоснованы условия существования эффективного механизма управления, при котором суммарный экономический эффект от синхронизации интеллектуальной деятельности команды превышает затраты на реализацию стимулирующих воздействий, что расширяет теоретическую базу дизайна механизмов в цифровой экономике.

Теоретическая значимость работы состоит в развитии положений ТАС и дизайна механизмов применительно к задачам цифровой экономики.

В частности, теоретическая ценность исследования заключается:

1) в расширении понятийного и математического аппарата теории управления организационными системами за счет формализации специфических характеристик проектирования ИИАС как объектов с высокой долей интеллектуального риска и асимметрией метрических данных;

2) в обосновании возможности интеграции теоретико-игровых моделей согласования интересов с инструментальными методами программной инженерии (метриками сложности и трудоемкости), что создает теоретическую базу для синтеза «честных» механизмов планирования;

3) в разработке условий устойчивости и эффективности механизмов стимулирования в активных системах с передаваемой полезностью, что дополняет теорию коллективного принятия решений в условиях неопределенности.

Полученные результаты вносят вклад в развитие методологии математического моделирования сложных социально-экономических процессов, обеспечивая теоретический фундамент для создания адаптивных систем управления в ИТ-индустрии.

Практическая значимость работы состоит в возможности внедрения разработанного математического инструментария в деятельность ИТ-организаций для оптимизации процессов бюджетного планирования и управления персоналом.

Основные прикладные результаты исследования позволяют:

1) повысить точность финансового планирования: использование модели обеспечивает снижение отклонений фактических затрат от плановых за счет блокировки механизмов завышения смет. Это минимизирует риски кассовых разрывов и повышает инвестиционную привлекательность ИТ-проектов.

2) оптимизировать систему мотивации: разработанные алгоритмы стимулирования позволяют создать прозрачную систему *KPI* для Агентов, где вознаграждение напрямую коррелирует с достоверностью экспертных оценок и эффективностью командного взаимодействия.

3) снизить транзакционные издержки автоматизированного контроля на основе предложенных условий согласованности и сократить время на административные переговоры и проверку отчетов, что позволяет руководителю проекта (Центру) сосредоточиться на стратегических задачах.

Основная часть

Проводимое исследование было классифицировано на три этапа.

На первом этапе выполнялось освоение теоретического аппарата основ ТАС. Проект ИИАС рассматривался как конечный инновационный продукт, который авторы публикации изучали со стороны сложной активной системы взаимодействия множества участников. Акцент делался на нормативный подход. Фокусировалось внимание на требованиях ГОСТ как к самому процессу проектной деятельности, описывающему обязательных участников проекта, так и к документам, оценивающим качество и функциональность конечного продукта, включая его коммерциализацию. На этом этапе процесса проектирования была выявлена необходимость математического управления ходом согласованного взаимодействия участников, в частности, процессами планирования и координации всех этапов и стадий проекта ИИАС.

На втором этапе было выполнено обоснование необходимости применения аппарата теории игр, в частности, теории коалиционных игр. Игра называется кооперативной,

или коалиционной, если игроки могут объединяться в группы, взяв на себя некоторые обязательства перед другими игроками и координируя свои действия.

Было описано взаимодействие между руководителем ИТ-проекта и его исполнителями и описаны целевые функции каждого участника Проекта (План).

На третьем этапе исследования рассматривалась возможность управления устойчивостью процесса проектирования ИИАС. Была предложена авторская модель, отражающая функционирование участников проекта и оценки стимулирования их возможного взаимодействия между собой с учетом необходимости передачи полезности при достижении показателей целевых функций для новых условий контракта руководителя ИТ-проекта, в случае изменения или уточнения фактических условий выполнения проекта. Представленная модель скоординированного взаимодействия команды инновационного проекта базируется на аппарате кооперативных игр для достижения поставленных целей. Исследование направлено на разработку целевой функции руководителя проекта, обеспечивающей минимизацию затрат за счет использования методов теории игр.

Ниже показаны результаты исследования для процесса проектирования ИИАС. Вся деятельность рассмотрена как Проект ИТ.

Ограничения: процесс рассмотрен на стадии предварительного выявления Затрат на Проект ИТ.

Далее поэтапно рассмотрим результаты исследования.

Этап 1. Применение аппарата ТАС для моделирования взаимодействия участников проектирования. В терминах ТАС, организационная структура, реализующая ИТ-проект по созданию ИИАС, представляет собой двухуровневую иерархическую активную систему. Выделим базовые субъекты данной системы, отражающие управляющее воздействие на управляемые объекты, учитывающие обратную связь как оценку качества управления.

1. Управляющий орган (Центр) — Заказчик, Инвестор или Руководитель ИТ-проекта. Центр обладает финансовыми ресурсами, формирует требования к разрабатываемой системе (вектор метрик качества M_D) и принимает окончательное решение о бюджете проекта. *Глобальная цель Центра* — получить функционирующую ИИАС заданного качества при минимизации совокупных затрат (финансовых и временных).

2. Управляемые субъекты (Агенты) — системный архитектор, аналитик. Агенты непосредственно реализуют процесс проектирования (НИОКР, обучение алгоритмов). Агенты являются *активными элементами* системы: они обладают свойством целенаправленности, собственной функцией полезности и правом выбора своего состояния (уровня сообщаемой информации и прикладываемых усилий). *Цель Агента* — максимизация собственного вознаграждения при минимизации трудозатрат и рисков невыполнения задачи.

Ключевым свойством данной активной системы является информационная асимметрия, которая в ТАС описывается через понятие типа агента (или параметра его состояния). Пусть $r \in \Omega$ — истинный параметр сложности задачи по разработке аналитического модуля ИИАС (зависящий от векторов метрик M_D и M_A , здесь подробно не описанных). Параметр r определяет объективно необходимые затраты труда (человеко-часы) для достижения требуемого качества q . Фундаментальная проблема заключается в том,

что значение r известно только Агенту (после проведения им первичного аудита данных). Центр обладает лишь априорным вероятностным представлением о множестве возможных состояний Ω , но не знает точного значения r .

Рассмотрим теоретико-игровую модель процесса оценки затрат (эффект манипулирования информацией). Процесс планирования бюджета и оценки затрат в традиционных методологиях (например, при использовании экспертных оценок или параметрических моделей, где параметры задаются исполнителями) можно описать как игру с неполной информацией.

Введем базовые переменные математической модели:

– $s \in \Omega$ — оценка сложности (трудоемкости), которую Агент официально сообщает Центру (заявка Агента);

– x — план работ (объем финансирования или выделенного времени), который Центр утверждает для Агента на основе его сообщения s . Функция планирования: $x = \pi(s)$;

– z — вознаграждение Агента (заработная плата, премия), определяемое Центром. Функция стимулирования: $z = f(s, x, y)$, где y — фактический результат работы;

– $c(x, r)$ — функция затрат (усилий) Агента на выполнение плана x при истинной сложности r . Для ИИАС функция $c(x, r)$ монотонно возрастает по x и r .

Целевая функция (функция полезности) Агента U_A в общем виде представляет собой разность между полученным вознаграждением и понесенными затратами усилий:

$$U_A(s, r) = f(s, \pi(s), y) - c(\pi(s), r) \rightarrow \max_s$$

Целевая функция Центра U_C заключается в максимизации эффекта от внедрения ИИАС $H(y)$ за вычетом выплаченного вознаграждения z :

$$U_C(x, z) = H(y) - f(s, x, y) \rightarrow \max_{\pi, f}$$

Анализ равновесия в традиционных системах оценки, например, в классической практике управления ИТ-проектами, предполагает, что функция планирования и стимулирования устроена так, что бюджет и вознаграждение Агента монотонно возрастают в зависимости от заявленной им сложности:

$$\frac{\partial \pi(s)}{\partial s} > 0 \text{ и } \frac{\partial f(s)}{\partial s} > 0.$$

Проектирование ИИАС включает разработку алгоритмов ИИ и носит стохастический характер, поэтому Агент стремится застраховать себя от риска моделирования. Решая задачу максимизации своей полезности U_A , Агент выбирает такую стратегию сообщения s^* , при которой:

$$s^* = \operatorname{argmax}_{s \in \Omega} [f(s, \pi(s)) - c(\pi(s), r)].$$

Из свойств функции полезности очевидно, что в традиционных механизмах оптимум достигается при $s^* > r$. То есть Агент преднамеренно сообщает Центру завышенную оценку сложности (требует больше времени, серверов, бюджета). Отметим, что в терминах ТАС этот феномен называется эффектом манипулирования информацией (или проявлением оппортунистического поведения). Разница $\Delta = s^* - r$ представляет собой скрытый резерв (буфер) Агента. Для Центра этот резерв трансформируется в прямые экономические потери (транзакционные издержки асимметрии информации) и необоснованное раздувание бюджета проекта ИИАС.

Этап 2. Применения аппарата коалиционных игр к синтезу механизма управления затратами на Проект ИТ. Постановка задачи. Осознавая активную природу Агентов, Центр не должен пытаться административно «угадать» истинную сложность r (что невозможно из-за отсутствия компетенций в Data Science) или директивно урезать бюджет (что приведет к невыполнению задачи, т. к. Агент откажется работать, если $U_A < 0$).

Центр должен разработать такие правила игры — механизм управления $\Sigma = \langle \pi(\cdot), f(\cdot) \rangle$, — при которых Агенту станет экономически невыгодно обманывать.

Математическая постановка задачи синтеза оптимального механизма метрического обоснования затрат для Центра формулируется как задача оптимизации на множестве допустимых механизмов:

$$\max_{\pi, f} E_r[\mathbb{H}(y(\pi(r))) - f(r, \pi(r))]$$

при соблюдении двух фундаментальных ограничений:

1. Условие индивидуальной рациональности — условие участия. Механизм должен обеспечивать Агенту полезность не ниже его резервной (альтернативной) полезности U_0 (например, среднерыночной зарплаты Аналитика и Системного архитектора), иначе Агент покинет проект:

$$U_A(f(s^*), \pi(s^*), r) \geq U_0, \quad \forall s \in \Omega.$$

2. Условие совместимости стимулов — условие согласованности. Это ключевое ограничение механизма. Функция вознаграждения f и функция планирования π должны быть сконструированы таким образом, чтобы сообщение истинной информации ($s = r$) доставляло Агенту глобальный максимум его функции полезности при любом возможном истинном состоянии r :

$$U_A(f(r), \pi(r), r) \geq U_A(f(s), \pi(s), r), \quad \forall s \neq r, \forall r \in \Omega.$$

Если механизм Σ удовлетворяет ограничению IC, он называется механизмом согласованного взаимодействия (или механизмом прямого выявления правды).

Для подтверждения работоспособности разработанной математической модели и демонстрации ее прикладного значения в области управления ИТ-проектами далее приводится расчетный пример на основе реальных метрик трудозатрат.

Для верификации теоретических положений и оценки эффективности предлагаемого механизма (Σ) рассмотрим процесс планирования трудоемкости разработки программного модуля классификации данных в рамках ИИАС. Предположим, что истинная трудоемкость задачи (r), известная исключительно исполнителю (Агенту), составляет 100 чел.ч при ставке оплаты 2 тыс. руб./ч. В условиях традиционного планирования, характеризующегося высокой информационной асимметрией, Агент склонен к проявлению оппортунистического поведения, заявляя прогнозную оценку $S = 150$ ч. Целью такой манипуляции является формирование резерва времени на доработку, что при отсутствии внешнего контроля ведет к неэффективному расходованию бюджета Центра в размере 300 тыс. руб.

При внедрении механизма согласованного взаимодействия вознаграждение Агента (z) определяется через нелинейную функцию стимулирования вида:

$$z = f(s, y) = W - \alpha \cdot (s - y)^2 + \beta \cdot (R_{base} - s).$$

В данной модели параметр W (200 тыс. руб.) соответствует базовой оплате при условии $s = r$, коэффициент $\alpha = 50$ устанавливает штрафные санкции за неточность прогнозирования, а $\beta = 0,5$ определяет долю участия Агента в экономии бюджета относительно априорной оценки Центра R_{base} (150 ч.).

Сравнительный анализ сценариев поведения Агента демонстрирует следующее. В случае манипулирования данными ($s = 150, y = 100$) итоговое вознаграждение, с учетом штрафа за отклонение фактических затрат от заявленных, составит 75 000 руб., что делает стратегию сокрытия резервов экономически нецелесообразной. Напротив, при сообщении истинной информации ($s = 100, y = 100$) Агент получает премию за точность прогноза и участие в экономии, что увеличивает его полезность до 225 тыс. руб.

В табл. 1 представлен сравнительный анализ двух стратегий сценарного поведения Агента.

Таблица 1

Сравнительный анализ двух стратегий сценарного поведения Агента

Параметр / Сценарий	Традиционный подход ($S = 150$)	Согласованный механизм ($S = 100$)
Заявка Агента (S), ч.	150	100
Выплата Агенту (Z), тыс. руб.	75	225
Затраты Центра, тыс. руб.	300	225
Экономия бюджета, %	0	25

Таким образом, сообщение истины становится для исполнителя доминантной стратегией. Эффект для Центра выражается в снижении общих затрат на 25 % (с 300 до 225 тыс. руб.) при одновременном получении достоверных метрик для корпоративной базы знаний.

Этап 3. Обоснование необходимости применения механизмов согласованного взаимодействия для ИИАС. Применение принципов согласованного взаимодействия критически необходимо именно для проектов разработки ИИАС по следующим причинам:

1. Нейтрализация информационной ренты в НИОКР. В разработке алгоритмов машинного обучения разрыв в знаниях между Центром и Агентом максимален. Агент легко может обосновать завышенные затраты необходимостью «дополнительного обучения нейросети». Традиционный аудит кода здесь бессилён. Согласованный механизм (например, механизм открытого управления Буркова или механизм внутренних цен) математически перестраивает систему мотивации так, что премия Агента за экономию бюджета в случае честной оценки превышает выгоду от создания скрытого «буфера» времени.

2. Справедливое распределение стохастических рисков. Разработка ИИАС сопровождается риском ϵ . В классических контрактах весь риск несет Агент, что вынуждает учитывать маржу в оценку s . В контрактах весь риск несет Центр, оплачивая бесконечные исследовательские итерации Агента. Механизмы ГАС позволяют синтезировать контракты с разделением рисков, где функция стимулирования $f(s, x, y)$ нелинейно зависит от точности первоначального прогноза Агента.

3. Выявление объективных метрик для базы знаний. Внедрение согласованных механизмов решает стратегическую задачу ИТ-предприятия. Когда Агенты начинают сообщать истинные оценки $s = r$, Центр получает достоверную статистику о реальной стоимости разработки

различных классов ИИАС (пополняет базу данных метрик M_D, M_A, M_Q). Это позволяет в будущих проектах использовать откалиброванные регрессионные модели для стратегического планирования.

Опираясь на принцип выявления, доказанный в теории механизмов, мы можем утверждать, что для любой игры с неполной информацией, в которой Агенты манипулируют оценками, существует эквивалентный согласованный механизм прямой связи, в котором сообщение правды является равновесием Нэша (или равновесием в доминирующих стратегиях).

В рамках данного исследования, на базе аппарата ТАС был предложен специализированный комплексный механизм метрического обоснования затрат на ИИАС. Его архитектура представлена на рисунке.



Рис. Согласованный механизм прямой связи

В аналитическом виде вышеописанный механизм будет включать следующие блоки:

1. Метрический базис: функцию преобразования векторов сложности данных и алгоритмов \vec{M} в базовую оценку трудоемкости C_{base} .
2. Механизм планирования π : алгоритм распределения задач и бюджетов на основе заявок Агентов с учетом ограничений Центра.

3. Механизм стимулирования (компенсации) f : математическую функцию расчета вознаграждения, которая штрафует Агента за расхождение между заявленной оценкой s , истинной сложностью r (выявляемой апостериорно по косвенным признакам) и фактическим результатом u .

Ниже показаны итоговые результаты исследования. Была исследована деятельность компании, занимающейся проектированием и разработкой ИТ-проектов. Предложена модель управления взаимодействием коллектива исполнителей в процессе реализации проектных задач, обеспечивающая устойчивость системного решения в его новом состоянии при переходе к новым условиям Заказа. Следует отметить, что в таких командах исполнителей заказных проектов деятельность коллектива условно рассматривается с учетом перераспределяемой полезности, где последняя подразумевает возможность перераспределения или передачи выигрыша между членами команды в рамках реализуемого проекта.

Процесс практической имплементации данного механизма в деятельность организации предлагается структурировать в виде трех последовательных этапов, представленных в табл. 2.

В рамках практической реализации авторской модели механизма согласованного взаимодействия между Агентами и Центром при разработке проекта ИИАС следует отметить, что делегирование функций настройки системному архитектору и аналитику для мониторинга хода проектирования руководителю проекта (Центр) позволяет сформировать устойчивый контур обратной связи, превращая статичную модель в самообучающуюся систему управления знаниями команды исполнителей проекта.

Таблица 2

Содержание этапов внедрения механизма согласованного взаимодействия

Этап	Содержание мероприятий	Ответственные субъекты	Целевой результат
I. Регламентация и нормативное обеспечение	Пересмотр KPI, фиксация параметров стимулирования (α, β) в локальных актах	Руководитель ИТ-проекта (Центр)	Нормативно-правовая база, минимизирующая конфликты интересов между Центром и Агентами
II. Инструментально-технологическая интеграция	Настройка ИИАС: конфигурация полей, автоматизация формул расчета, создание инструментов мониторинга трудозатрат	Системный архитектор (Агент)	Единая цифровая среда планирования с обратной связью
III. Апробация и мониторинг	Пилотный запуск, сбор статистики, калибровка коэффициентов и базы знаний историческими данными (R_{base})	Аналитик (Агент)	Снижение информационной асимметрии информации

Выводы

Полученная авторская модель, хотя и опирается на классический аппарат ТАС, имеет ряд принципиальных отличий, обусловленных спецификой ИТ-отрасли. Перечислим основные направления, по которым можно выделить научную новизну авторского подхода:

1. Классические модели часто ориентированы на производственные или организационные системы, где результат (ok) более материален или линейно зависим от усилий. В авторской модели в центре внимания — интеллектуальный капитал. Состояние исполнителя (ok) — это не просто «часы работы», а уровень сложности архитектурных решений, или качество кода. Эта модель может учитывать, что вклад одного «звездного» разработчика может быть на порядок выше, чем группы обычных исполнителей (нелинейная полезность).
2. Авторская модель может включать механизмы динамического перераспределения бонусов внутри кросс-

функциональной группы в зависимости от критичности задач на конкретном спринте, т. к. в ИТ-командах преобладает командная ответственность.

3. ИТ-заказы часто требуют освоения новых технологий (стеков). Авторская модель может содержать дополнительную компоненту в функции стимулирования, которая компенсирует затраты на обучение. Это делает участие в рискованном инновационном проекте выгодным для исполнителя.

4. В классической ТАС Центр (директор) максимизирует свою прибыль. В описанном в статье варианте руководитель ИТ-проекта выступает координатором, чья задача — минимизировать затраты при сохранении качества (стабильности кода). Поэтому целевая функция может быть больше ориентирована на долгосрочную устойчивость команды (удержание талантов), а не на разовую прибыль.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Morgenstern O. The Collaboration between Oskar Morgenstern and John von Neumann on the Theory of Games // Neumann J. von, Morgenstern O. *Theory of Games and Economic Behavior*: 60th Anniversary Commemorative Edition. Princeton: Princeton University Press, 2007. Pp. 712—726. DOI: 10.1515/9781400829460.712.
2. Hoegl M., Gemuenden H. G. Teamwork Quality and the Success of Innovative Projects: A Theoretical Concept and Empirical Test // *Organization Science*. 2001. Vol. 12. No. 4. Pp. 435—449.
3. Chan H. K. Flexibility or adaptability? Which one is more suitable for distributed supply chain? // 2009 7th IEEE International Conference on Industrial Informatics. IEEE, 2009. Pp. 740—743. DOI: 10.1109/INDIN.2009.51958954.
4. Новиков Д. А. *Методология и теория управления*. М.: Инфра-М, 2021. 274 с.
5. Бурков В. Н., Еналеев А. К., Коргин Н. А. Согласованность и неманипулируемость механизмов организационного управления: текущее состояние проблемы, ретроспектива, перспективы развития теоретических исследований // *Автоматика и телемеханика*. 2021. № 7. С. 5—37. DOI: 10.31857/S0005231021070023.
6. Гудков А. А., Глухова Л. В. Модель согласованного взаимодействия команды IT-проекта и его экономических последствий // *Наука и бизнес: пути развития*. 2025. № 12(174). С. 134—138.
7. Гудков А. А. Управление знаниями исполнителей проекта при разработке интеллектуальных систем // *Вестник Волжского университета им. В. Н. Татищева*. 2025. № 6(115). С. 40—50.
8. Скитер Н. Н., Кетько Н. В., Симонов А. Б., Хошимжонов А. Р. У. Анализ и оценка влияния асимметрии информации на эффективность инновационной деятельности, с использованием модели, основанной на теории игр // *Евразийское пространство: экономика, право, общество*. 2022. № 4. С. 40—42.
9. Маташева Х. П., Аббасов И. Р. Теория информационных асимметрий в цифровой экономике // *Экономика и управление: проблемы, решения*. 2025. № 3(156). Т. 14. С. 212—219. DOI: 10.36871/ek.up.p.r.2025.03.14.026.
10. Пономарев А. В. Применение теоретико-игровых методов и моделей при проектировании систем масштабных человеко-машинных вычислений // *Управление большими системами*. 2021. Вып. 89. С. 73—105. DOI: 10.25728/ubs.2021.89.3.
11. Enaleev A., Novikov D. Sustainable Control of Active Systems: Decentralization and Incentive Compatibility // *IFAC-PapersOnLine*. 2021. Vol. 54. Iss. 13. Pp. 13—18. DOI: 10.1016/j.ifacol.2021.10.410.
12. Борисов И. А. Адаптированный процессно-статистический подход для оценки ресурсоемкости процессов проектного управления // *Современная математика и концепции инновационного математического образования*. 2024. Т. 11. № 1. С. 157—166. DOI: 10.54965/24129895_2024_11_1_157.
13. Бурков В. Н., Буркова И. В., Коргин Н. А., Щепкин А. В. Модели согласованного комплексного оценивания в задачах принятия решений // *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника*. 2020. Т. 20. № 2. С. 5—13. DOI: 10.14529/ctcr200201.
14. Абрамов П. Б., Игнатов Д. В., Шипилова Е. А., Кущев С. С. Оценка трудоемкости моделирования динамики сложных систем // *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*. 2022. Т. 84. № 3. С. 276—287. DOI: 10.20914/2310-1202-2022-3-276-287.
15. Филиппова О. А., Глухова Л. В., Сыротюк С. Д., Мунирова Ю. С. Реализация трансдисциплинарного подхода в процессе подготовки кадров для смарт-систем // *Вестник Волжского университета им. В. Н. Татищева*. 2024. № 1(53). Т. 2. С. 182—191.
16. Hurwicz L. Optimality and informational efficiency in resource allocation processes // *Studies in Resource Allocation Processes* / eds. K. J. Arrow, L. Hurwicz. Cambridge University Press, 1977. Pp. 393—460. DOI: 10.1017/CBO9780511752940.014.
17. Myerson R. B. Incentive Compatibility and the Bargaining Problem // *Econometrica*. 1979. Vol. 47. No. 1. Pp. 61—73. DOI: 10.2307/1912346.
18. Maskin E. Nash Equilibrium and Welfare Optimality // *The Review of Economic Studies*. 1999. Vol. 66. Iss. 1. Pp. 23—38. DOI: 10.1111/1467-937X.00076.

REFERENCES

1. Morgenstern O. The Collaboration between Oskar Morgenstern and John von Neumann on the Theory of Games. Neumann J. von, Morgenstern O. *Theory of Games and Economic Behavior*, 60th Anniversary Commemorative Edition. Princeton, Princeton University Press, 2007. Pp. 712—726. DOI: 10.1515/9781400829460.712.
2. Hoegl M., Gemuenden H. G. Teamwork Quality and the Success of Innovative Projects: A Theoretical Concept and Empirical Test. *Organization Science*. 2001;12(4):435—449.
3. Chan H. K. Flexibility or adaptability? Which one is more suitable for distributed supply chain?. *2009 7th IEEE International Conference on Industrial Informatics*. IEEE, 2009:740—743. DOI: 10.1109/INDIN.2009.51958954.
4. Novikov D. A. Methodology and theory of management. Moscow, Infra-M, 2021. 274 p. (In Russ.)
5. Burkov V. N., Enaleev A. K., Korgin N. A. Incentive Compatibility and Strategy-Proofness of Mechanisms of Organizational Behavior Control: Retrospective, State of the Art, and Prospects of Theoretical Research. *Automation and Remote Control*. 2021;82(7):1119—1143. DOI: 10.1134/S0005117921070018.
6. Gudkov A. A., Glukhova L. V. A model of coordinated interaction of it project team and its economic consequences. *Nauka i biznes: puti razvitiya = Science and business: development ways*. 2025;12(174):134—138. (In Russ.)
7. Gudkov A. A. Knowledge management of project executors in the development of intelligent systems. *Vestnik Volzhskogo universiteta im. V. N. Tatishcheva = Vestnik of Volzhsky University named after V. N. Tatishchev*. 2025;6(115):40—50. (In Russ.)
8. Skeeter N. N., Ketko N. V., Simonov A. B., Hoshimjonov A. R. U. Analysis and evaluation of the influence of information asymmetry on the efficiency of innovation activity using a model based on game theory. *Evraziiskoe prostranstvo: ekonomika, pravo, obshchestvo = Eurasian space: economics, law, society*. 2022;4:40—42. (In Russ.)

9. Matasheva Kh. P., Abbasov I. R. Theory of information asymmetries in the digital economy. *Ekonomika i upravlenie: problemy, resheniya*. 2025;3(156)-14:212—219. (In Russ.) DOI: 10.36871/ek.up.p.r.2025.03.14.026.
10. Ponomarev A. V. Application of game-theoretic methods and models to the design of large-scale human-machine computing systems. *Upravlenie bol'shimi sistemami = Large-Scale Systems Control*. 2021;89:73—105. (In Russ.) DOI: 10.25728/ubs.2021.89.3.
11. Enaleev A., Novikov D. Sustainable Control of Active Systems: Decentralization and Incentive Compatibility. *IFAC-PapersOnLine*. 2021;54(13):13—18. DOI: 10.1016/j.ifacol.2021.10.410.
12. Borisov I. A. An adapted process-statistical approach for evaluating the resource intensity of project management processes. *Sovremennaya matematika i kontseptsii innovatsionnogo matematicheskogo obrazovaniya*. 2024;11(1):157—166. (In Russ.) DOI: 10.54965/24129895_2024_11_1_157.
13. Burkov V. N., Burkova I. V., Korgin N. A., Shchepkin A. V. Models for coordinated integrated assessment in decision-making problems. *Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Komp'yuternye tekhnologii, upravlenie, radioelektronika = Bulletin of the South Ural state university. Computer technologies, automatic control, radio electronics*. 2020;20(2):5—13. (In Russ.) DOI: 10.14529/ctr200201.
14. Abramov P. B., Ignatov D. V., Shipilova E. A., Kushev S. S. Evaluation of the complexity of modeling the dynamics of complex systems. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernykh tekhnologii = Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies*. 2022;84(3):276—287. (In Russ.) DOI: 10.20914/2310-1202-2022-3-276-287.
15. Filippova O. A., Glukhova L. V., Syrotiuk S. D., Munirova Yu. S. Realization of transdisciplinary approach in the process of training staff for smart systems. *Vestnik Volzhskogo universiteta im. V. N. Tatishcheva = Vestnik of Volzhsky University named after V. N. Tatishchev*. 2024;1(53)-2:182—191. (In Russ.)
16. Hurwicz L. Optimality and informational efficiency in resource allocation processes. *Studies in Resource Allocation Processes*. K. J. Arrow & L. Hurwicz (eds.). Cambridge University Press, 1977. Pp. 393—460. DOI: 10.1017/CBO9780511752940.014.
17. Myerson R. B. Incentive Compatibility and the Bargaining Problem. *Econometrica*. 1979;47(1):61—73. DOI: 10.2307/1912346.
18. Maskin E. Nash Equilibrium and Welfare Optimality. *The Review of Economic Studies*. 1999;66(1):23—38. DOI: 10.1111/1467-937X.00076.

Статья поступила в редакцию 02.04.2026; одобрена после рецензирования 30.04.2026; принята к публикации 04.05.2026.
The article was submitted 02.04.2026; approved after reviewing 30.04.2026; accepted for publication 04.05.2026.