

# МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ АГЕНТОВ СИЛЬНО СВЯЗАННОЙ СИСТЕМЫ РАЗРАБОТКИ ИННОВАЦИЙ

**Выборнова Л.А.**

*Поволжский государственный университет сервиса, Тольятти, Россия*

rector@tolgas.ru

**Ростова Е.П.**

*Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева,*

*Самара, Россия*

rostova.ep@ssau.ru

*Аннотация. В статье представлено описание системы разработки инновационного продукта, включающей таких агентов, как инвестор, разработчик и пользователь инноваций. Разработаны модели функционирования агентов в сильно связанной системе (сильно связанными являются инвестор и пользователь) и сформулирована задача определения условий взаимодействия агентов.*

*Ключевые слова: взаимодействие, агенты, система, модель, технологическое лидерство, технологические инновации, разработка, коммерциализация, денежные потоки.*

## **Введение**

Развитие инновационного производства в Российской Федерации в настоящее время позволит решить вопросы импортозамещения, повысить конкурентоспособность отечественной продукции, что соответствует актуальным задачам экономического развития в условиях санкций и изменчивости внешнеэкономической ситуации. Отечественные инновации в настоящий момент показывают недостаточно эффективную организацию по их разработке и коммерциализации – об этом говорит соотношение роста затрат на инновационную деятельность и инновационной активности предприятий: затраты выросли в 1,9 раза [2], а активность – на 1,4% [1]. Подобная динамика за последние десять лет свидетельствует о неэффективности произведенных работ и удорожании инновационной продукции.

В настоящее время ведется работа по совершенствованию механизмов управления процессами разработки и выведения на рынок инновационных продуктов. Разрабатываются и запускаются документы стратегического планирования, совершенствуется законодательная база и меры поддержки субъектов технологического предпринимательства на всех уровнях реализации государственной политики. Поддержка технологических инноваций направлена на обеспечение технологического лидерства российской экономики.

Национальные цели развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года [3] предопределили показатели новых национальных проектов, большинство из которых реализуются с 2025 года. «Технологическое лидерство» входит в число семи приоритетных направлений развития и является одной из национальных целей развития Российской Федерации.

Выполнение целевых показателей и задач, характеризующих достижение национальной цели «Технологическое лидерство» – это увеличение к 2030 году доли отечественных высокотехнологичных товаров и услуг, созданных на основе собственных линий разработки, в общем объеме потребления таких товаров и услуг в Российской Федерации в полтора раза по сравнению с уровнем 2023 года; и увеличение к 2030 году выручки малых технологических компаний не менее чем в семь раз по сравнению с уровнем 2023 года [3].

Национальный проект «Эффективная и конкурентная экономика» относится к проектам технологического лидерства и направлен на стимулирование роста малого и среднего предпринимательства, расширение инфраструктуры промышленных, техно- и бизнеспарков. Особое внимание в реализации проекта отводится развитию «малых технологических компаний» (далее – МТК), которые могут выступить катализатором на рынке открытых инноваций. В силу мобильности и отличия от инертных бюрократических механизмов крупных корпораций, МТК наиболее оперативно реагируют на потребности рынка. В условиях необходимости развития инновационной деятельности МТК являются активными участниками рынка открытых инноваций как заказчики и разработчики инновационной продукции и/или технологии, а также как фирмы, коммерциализирующие результаты инновационной деятельности [4]. Правительство Российской Федерации определило критерии отнесения технологических компаний к МТК [5], на основании которого осуществляется включение в реестр МТК, что открывает перед компаниями широкие перспективы для развития и роста, обеспечивая доступ к финансовым ресурсам и инвестициям. Основными преимуществами включения

в реестр МТК являются возможность получения кредита под ставку 3% годовых, сроком до трех лет и суммой до 1 млрд рублей.

Разработка механизмов управления инновационной деятельностью в системе субъектов технологических инноваций от этапа идеи до коммерциализации позволит повысить эффективность данного процесса.

Отечественные и зарубежные авторы рассматривают вопросы управления и развития инноваций, их внедрения и оценки эффективности с применением различных методов исследования. Ставенко Ю.А. и Громов А.И. отмечают нецелесообразность применения линейных моделей для описания данного процесса [6]. Цепная модель инновационного процесса предложена С.Дж. Клайном и Н. Розенбергом [7, 8] – она позволяет учитывать взаимосвязь основного процесса с исследованиями и разработками, выступающими в качестве внешних возмущающих факторов. Авторы исследования, посвященного вопросам импортозамещения и инноваций используют для моделирования методы искусственного интеллекта [9] для анализа и управления рисками проектов. С помощью структурных уравнений исследуется влияние инноваций на организационную структуру, компетентность и эффективность сотрудников предприятия [10]. В статье представлено моделирование на основании агентного подхода, используемого для описания экономических систем [11, 12, 13].

Применение разнообразного математического аппарата к моделированию процесса технологических инноваций в целом и к анализу его отдельных составляющих говорит о возможности рассмотрения инновационной деятельности организаций различных размеров, правовых форм и сфер деятельности с различных точек зрения. Также следует отметить интерес исследователей к инновациям в различных сферах экономики – от производства и сельского хозяйства до деятельности в сфере культуры и искусства. Каждый объект исследования вносит свою специфику в параметры анализа, показатели эффективности, модели и т.д.

Данная статья посвящена моделированию взаимодействия участников процесса разработки инновации на всех этапах. Предлагаемая модель является универсальной и может применяться в любых отраслях экономики и сферах деятельности. В частности, для описания взаимодействия крупных корпораций и разработчиков инновационных продуктов, технологий, услуг. Возможность отражения специфики проекта реализована в модели путем детализации отдельных функций. В [14] были представлены модели, описывающие функции агентов, действующих на рынке открытых инноваций, а также сформулирована задача определения условий согласованного взаимодействия агентов слабо связанной системы разработки инноваций. Данное исследование рассматривает сильно связанную систему участников инновационного процесса – инвестор и пользователь могут представлять одну организацию, взаимодействующую с разработчиком.

## 1. Описание системы

Технологические инновации (technological innovations) приводят к появлению новых или улучшенных продуктов (услуг) и обеспечивают рост конкурентоспособности компании и ее продуктов на рынке. Технологические инновации могут быть результатом исключительно собственных исследований и разработок организации (условия «закрытых инноваций») или в том числе результатом привлечения внешних знаний и технологий (условия «открытых инноваций»).

Рынок открытых инноваций (open innovation market) – модель ведения бизнеса, при которой компании не только генерирует идеи внутри, но и активно привлекают внешние идеи, знания и ресурсы для ускорения внутренних инновационных процессов, создания и вывода новых продуктов (услуг) на рынок [15]. Это предполагает обмен знаниями, сотрудничество с внешними партнерами – субъектами технологических инноваций: инвесторами, университетами, стартапами, исследовательскими институтами и другими организациями, а также использование внешних платформ и инструментов для привлечения инновационных идей и вовлечения широкой аудитории, таких как хакатоны, онлайн-конкурсы и других инструментов. В настоящее время подобная модель рынка инноваций представлена наиболее широко и в качестве участников можно перечислить стартап-центры, научно-исследовательские лаборатории, корпорации и производственные предприятия. Предприятия могут выступать в роли заказчиков инновационных разработок, спонсоров исследований и испытаний, а также владельца, получающего выручку от коммерциализации инновационной продукции. В данном случае разработчики инноваций выполняют заказ предприятия и осуществляют научно-исследовательскую работу.

Рассмотрим систему взаимодействия агентов в рамках разработки технологических инноваций в условиях рынка открытых инноваций. В качестве агентов в системе присутствуют инвестор (investor –  $I$ ), разработчик (developer –  $D$ ) и пользователь (user –  $U$ ), которые участвуют в разработке

инновационного продукта (innovative product –  $IP$ ). Инвестором  $I$  является агент, предоставляющий финансовую поддержку разработчику  $D$  с целью получения в последующем доходов от коммерциализации разработки. Разработчик  $D$  – это агент, разрабатывающий инновационный продукт за свой счет либо прибегнув к финансовой помощи инвестора. Пользователь  $U$  – агент, который приобретает инновационный продукт на условиях полного отчуждения исключительного права или путем заключения лицензионного договора [16]. Под  $IP$  для краткости будем понимать результат инновационной деятельности – инновационный продукт, услугу, технологию, созданные с использованием результатов интеллектуальной деятельности, права на которые принадлежат правообладателям.

Опишем деятельность агентов системы:

$$P_I = V - Z,$$

$$P_D = Z - C_D + S - V,$$

$$P_U = R - S - C_U,$$

где  $P_I$  – функция прибыли инвестора,  $P_D$  – функция прибыли разработчика,  $P_U$  – функция прибыли пользователя,  $V$  – доход от инвестиционных вложений,  $Z$  – инвестиционные вложения,  $C_D$  – затраты на разработку  $IP$ ,  $S$  – стоимость проданной пользователю  $IP$ ,  $R$  – доход пользователя от коммерциализации  $IP$ ,  $C_U$  – производственные затраты пользователя.

Представленные варианты функции прибыли агентов системы позволяют моделировать взаимодействие в слабо связанной системе. Однако, в практической деятельности инвестор и будущий владелец результатов могут представлять одну организацию, которая заказывает инновационный продукт разработчику. В подобной ситуации можно говорить о сильно связанной системе для инвестора и пользователя (агент  $IU$ ), поскольку они имеют общие затраты и доходы, выступают как единый агент системы (рисунок 1).

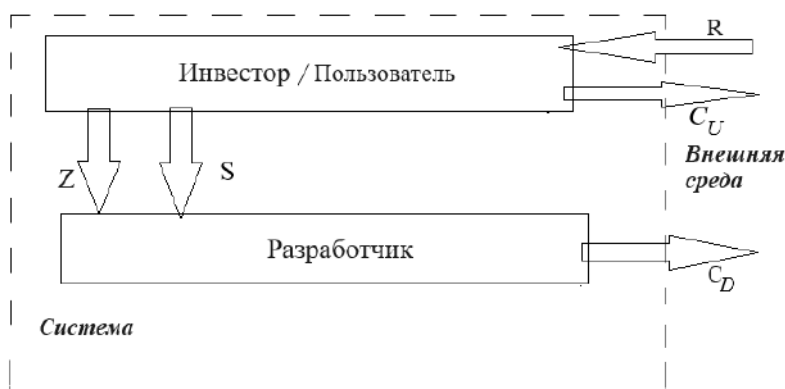


Рис. 1. Схема денежных потоков между агентами системы разработки инноваций

Примерами сильно связанных систем выступают технологические компании, готовые самостоятельно профинансировать разработку или купить готовый инновационный продукт на рынке открытых инноваций. В такой форме взаимодействия разработчик получает финансирование от организации, которая в последующем станет пользователем данного  $IP$ . Следовательно, отсутствует возврат инвестиций от разработчика  $D$  к  $IU$ :  $V = 0$ .

## 2. Постановка задачи

Представленная на рисунке 1 схема денежных потоков описана в модели функционирования агентов системы следующим образом:

$$P_{IU} = R - S - C_U - Z,$$

$$P_D = Z - C_D + S,$$

где  $P_{IU}$  – функция прибыли объединенного агента инвестора и пользователя.

Доход  $R$  агента  $IU$  от коммерциализации  $IP$  рассчитаем, как произведение цены  $p$  инновационного продукта и объема его производства  $Q$ . Стоимость  $S$  формируется на основании произведенных

разработчиком затрат  $C_D$  и будущих потенциальных доходов от коммерциализации  $IP$ . Коэффициент влияния затрат  $C_D$  на стоимость  $S$  обозначим  $\gamma_C$  ( $\gamma_C > 0$ ). Коэффициент влияния дохода  $R$ , ожидаемого пользователем, на стоимость  $IP$  обозначим  $\gamma_R$  ( $\gamma_R > 0$ ). С учетом введенных коэффициентов стоимость  $S$  запишем в следующем виде:

$$S = \gamma_C C_D + \gamma_R R.$$

Инвестиционные вложения  $Z$  не превышают затраты разработчика и составляют долю  $\alpha$  от  $C_D$ :  $S = \alpha C_D$ , ( $0 < \alpha \leq 1$ ). Распишем подробнее функции прибыли агентов  $IU$  и  $D$ :

$$P_{IU} = R - S - C_U - Z = R - \gamma_C C_D - \gamma_R R - C_U - \alpha C_D = (1 - \gamma_R)Qp - (\gamma_C + \alpha)C_D - C_U,$$

$$P_D = Z - C_D + S = \alpha C_D - C_D + \gamma_C C_D + \gamma_R R = (\alpha - 1 + \gamma_C)C_D + \gamma_R Qp.$$

Задача определения оптимальных условий функционирования объединенного агента  $IU$  будет иметь вид:

$$P_{IU} \rightarrow \max, \quad (1)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} P_{IU} = (1 - \gamma_R)Qp - (\gamma_C + \alpha)C_D - C_U, \\ 0 < \alpha \leq 1, \\ \gamma_C > 0, \\ \gamma_R > 0. \end{array} \right. \quad (2)$$

Аналогично задача определения оптимальных условий функционирования агента разработчика  $D$  будет иметь вид:

$$P_D \rightarrow \max, \quad (3)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} P_D = (\alpha - 1 + \gamma_C)C_D + \gamma_R Qp, \\ 0 < \alpha \leq 1, \\ \gamma_C > 0, \\ \gamma_R > 0. \end{array} \right. \quad (4)$$

Целесообразность инновационной разработки и ее экономическая эффективность зависят от объема производства. Объем производства, достаточный для того, чтобы окупилась затраты и инвестиции в инновационную разработку стали экономически эффективными, является важным параметром системы. В зависимости от масштабности будущего производства процесс разработки и внедрения может потребовать различные средства и время  $C_D = C_D(Q)$ ,  $C_U = C_U(Q)$ . Инновационная продукция подразумевает исключительность и некоторое время может продаваться в условиях монополистического рынка, не имея аналогов, что позволяет оказывать влияние на цену  $IP$ :  $p = p(Q)$ .

Введенные функции определяются на основе статистических данных и могут отличаться для различных отраслей, предприятий, технологий. Однако, указанные функции обладают определенными свойствами – функции затрат возрастают с увеличением объема производства, цена убывает при увеличении количества товара на рынке:

$$\frac{dC_D}{dQ} > 0, \quad \frac{dC_U}{dQ} > 0, \quad \frac{dp}{dQ} < 0.$$

Сформулируем постановку задачи определения объема производства инновационной продукции в системе с учетом интересов каждого из агентов.

$$\operatorname{argmax}_{Q \in \Omega(IU)} (P_{IU}, P_D), \quad (5)$$

$$\Omega(IU) = \{Q | (Q > 0) \cap (P_{IU} > 0) \cap (P_D > 0)\}, \quad (6)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} P_{IU} = (1 - \gamma_R)Qp(Q) - (\gamma_C + \alpha)C_D(Q) - C_U(Q), \\ P_D = (\alpha - 1 + \gamma_C)C_D(Q) + \gamma_R Qp(Q), \\ 0 < \alpha \leq 1, \\ \gamma_C > 0, \\ \gamma_R > 0, \\ C_D = C_D(Q), \\ C_U = C_U(Q), \\ p = p(Q). \end{array} \right. \quad (7)$$

Разработанные задачи определения оптимальных условий деятельности агентов системы (1) – (4) позволяют сформировать стратегию поведения каждого агента без учета интересов других участников системы. Однако, необходимость взаимодействия агентов в системе накладывает условия, при которых следует учесть одновременно требования к экономической эффективности обоих агентов. Множество Парето, получаемое в результате решения задачи (5) – (7) позволяет определить объем производимой инновационной продукции и/или продукции с использованием инновационной технологии, при котором будут выполняться условия экономической эффективности всех агентов системы. Функции и параметры задачи (5)–(7) индивидуальны для каждого объекта исследования и позволяют сформировать экономико-математическую модель, отражающую ситуацию функционирования и взаимодействия агентов в целях разработки и использования инновационного продукта IP для разных предприятий и отраслей.

### 3. Заключение

В статье рассматриваются современные аспекты развития инновационной деятельности, формирование системы технологических компаний, в том числе малых технологических компаний, в целях их встраивания в кооперационные цепочки крупных компаний и национальных проектов по обеспечению технологического лидерства российской экономики.

В целях разработки механизмов управления инновационной деятельностью представлено описание системы разработки инноваций в условиях рынка открытых инноваций. Определены субъекты технологических инноваций в условиях рынка открытых инноваций. Данная система подразумевает взаимодействие инвестора, разработчика и пользователя в рамках процесса разработки, внедрения и коммерциализации инновационного продукта. Под инновационным продуктом в широком смысле понимается инновационная услуга, продукция, технология, которая разрабатывается одним из участников системы, финансируется инвестором и приобретает для дальнейшего использования и масштабирования пользователем.

Описанная система может иметь различную структуру и число участников. Слабо связанная система подразумевает функционирование агентов системы как самостоятельных экономических субъектов, взаимодействующих по вопросам разработки и коммерциализации инновационного продукта. Формализация данной системы представлена в статье в виде функций прибыли агентов.

Практические ситуации взаимодействия агентов на рынке инноваций делают возможными различные изменения структуры рассматриваемой системы. В частности, инвестор и пользователь инновационного продукта могут представлять собой одну организацию. Данная ситуация описана в статье с использованием схемы денежных потоков между агентами и в виде модели определения условий взаимодействия агентов сильно связанной системы.

Разработанная модель универсального вида и позволяет применять ее для моделирования взаимодействия агентов разработки инновационного продукта в любой сфере экономики. Детализация модели и учет отраслевых особенностей достигается путем формирования функций затрат и цены, зависящих от объема производства, а также за счет определения параметров модели.

### Литература

1. Официальный сайт Федеральной службы государственной статистики. Раздел «Наука. Инновации. Технологии». Материал «Уровень инновационной активности организаций». <https://rosstat.gov.ru/statistics/science#> (дата обращения 30.04.2025).
2. Официальный сайт Федеральной службы государственной статистики. Раздел «Наука. Инновации. Технологии». Материал «Затраты на инновационную деятельность организаций, по субъектам Российской Федерации». <https://rosstat.gov.ru/statistics/science#> (дата обращения 30.04.2025).
3. Указ Президента Российской Федерации от 07.05.2024 № 309 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года». <http://www.kremlin.ru/acts/bank/50542> (дата обращения 30.04.2025).
4. Федеральный закон от 04.08.2023 № 478-ФЗ «О развитии технологических компаний в Российской Федерации». <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202308040087> (дата обращения 30.04.2025).
5. Постановление Правительства РФ от 02.11.2023 № 1847 «Об отнесении технологических компаний к малым технологическим компаниям и о прекращении статуса малых технологических компаний, формировании и ведении реестра малых технологических компаний и об информационном взаимодействии». <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202311090031> (дата обращения 30.04.2025).
6. *Ставенко Ю.А., Громов А.И.* Эволюция моделей управления инновационными процессами в организации // Бизнес-информатика. 2012. № 4 (22). – С. 3–9.

7. *S.J. Kline*. Research, Invention, Innovation and Production: Models and Reality, Report INN-1, March 1985, Mechanical Engineering Department, Stanford University, P. 275–305.
8. *Kline, S.J. & N. Rosenberg* An overview of innovation // *The Positive Sum Strategy: Harnessing Technology for Economic Growth*. Washington, D.C.: National Academy Press. 1986. – P. 275–305.
9. *Бульгина О.В., Емельянов А.А., Росс Г.В., Яшин Е.С.* Инвестиции, инновации, импортозамещение: имитационное моделирование с элементами искусственного интеллекта в управлении проектными рисками // *Прикладная информатика*. 2020. – Т. 15. – № 1 (85). – С. 68–102.
10. *Xiaoyan H.* The impact of the organizational innovation on organizational performance based on the structural equation modeling // *The World Economics*. 2022. – № 5. – P. 383–397.
11. *Enaleev A.* Correct and Coordinated Planning and Incentive Mechanisms in Systems with Two Agents //2024 17th International Conference on Management of Large-Scale System Development (MLSD). – IEEE, 2024. – P. 1–5. DOI: 10.1109/MLSD61779.2024.10739433.
12. *Ereshko F.* Hierarchical Compromise // 2024 17th International Conference on Management of Large-Scale System Development (MLSD). – IEEE, 2024. – P. 1–4. DOI: 10.1109/MLSD61779.2024.10739474.
13. *Romancheva N.I.* Multi-agent Management Architecture under Conditions //2023 16th International Conference Management of large-scale system development (MLSD). – IEEE, 2023. – P. 1–4. DOI: 10.1109/MLSD58227.2023.10304035.
14. *Выборнова Л.А., Ростова Е.П.* Моделирование взаимодействия агентов системы разработки технологических инноваций // В сборнике: XIV Всероссийское совещание по проблемам управления. сборник научных трудов. Москва, 2024. – С. 1970–1972.
15. *Chesbrough H. W.* Open Innovation: The New Imperative for Creating and Profiting from Technology. — Cambridge, MA: Harvard Business School Publishing, 2003. – 227 p.
16. Гражданский кодекс Российской Федерации. <http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&nd=102033239> (дата обращения 30.04.2025).