

doi: 10.17586/2226-1494-2023-23-1-121-135

УДК 51-77: [519.865+330.16]

Ценностно-ориентированное моделирование принятия экономических решений в условиях нестационарности внешней среды

Валентина Юрьевна Гулева¹✉, Антон Николаевич Кованцев²,
Анатолий Георгиевич Суриков³, Пётр Владимирович Чунаев⁴,
Галина Владимировна Горнова⁵, Александр Валерьевич Бухановский⁶

^{1,2,3,4,5,6} Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация

¹ guleva@itmo.ru✉, <https://orcid.org/0000-0002-1555-9371>

² ankovantcev@itmo.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1765-7001>

³ anatoliy.surikov@itmo.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4411-271X>

⁴ chunaev@itmo.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8169-8436>

⁵ gornova@itmo.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6615-0701>

⁶ avbukhanovskii@itmo.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1588-8164>

Аннотация

Предмет исследования. Изменяющаяся среда формирует условия для изменения поведения людей, что в совокупности может приводить к кризисным ситуациям. В случае принятия экономических решений возникающая нестационарность динамики разных компонентов системы может представлять собой экономический кризис. Исследована возможность учета общечеловеческих ценностей при моделировании принятия решений в условиях изменения среды. Внутренние процессы агента, предшествующие принятию решения, отражены в концепции «убеждения-желания-намерения-действие-реакция» (Beliefs-Desires-Intentions-Actions-Reactions, BDIAR). **Метод.** Выполнен обзор закономерностей и существующих подходов к моделированию экономических решений и предложен новый, авторский подход. Выявлены механизмы влияния стресса на принятие решений, факторы ограничения рациональности и оценки рисков в контексте поведенческой экономики. Рассмотрены известные теории влияния ценностей на изменение структуры потребления в кризисной ситуации. Показаны способы учета эмоций в архитектуре агента. В предлагаемой модели ценности рассмотрены как социальный фактор принятия решений. В силу их субъективности они представлены математически как базис оценки объектов среды. Субъективность оценок объектов выбора отражена в функциях привлекательности объектов, функциях динамики состояния агента и субъективности влияния решения на удовлетворенность агента.

Основные результаты. Показана возможная модификация компонент модели агента с учетом влияния ценностей на динамику потребления. Предложен метод учета ценностей в архитектуре BDIAR при моделировании принятия решения агентом, где уровни архитектуры соответствуют ценностям, функциям предпочтения и динамике состояния агента. Проанализированы псевдонимизированные транзакционные данные по дебетовым картам клиентов банка-партнера «Санкт-Петербург» отдельно за 2017–2019 гг. и 2020 г. Продемонстрирована субъективность влияния среды в кризисной ситуации на динамику изменения ценностей и потребностей для разных групп потребителей с учетом кластеризации типов их поведения. Показаны различия динамики ценностей на индивидуальном уровне и уровне групп; подтверждено повышение приоритета ценностей выживания и продемонстрирована разная скорость возвращения к докризисному состоянию для различных поведенческих групп. **Практическая значимость.** Полученные результаты могут быть полезны для развития методов моделирования экономического поведения в условиях нестационарной внешней среды, в частности, в случае кризисов.

Ключевые слова

модель принятия решений, кризис, ценности, потребности, нестационарность, поведенческая экономика, BDIAR

Благодарности

Статья подготовлена по результатам работы, выполненной при поддержке Российского научного фонда (соглашение № 17–71–30029) и банка «Санкт-Петербург».

Ссылка для цитирования: Гулева В.Ю., Кованцев А.Н., Суриков А.Г., Чунаев П.В., Горнова Г.В., Бухановский А.В. Ценностно-ориентированное моделирование принятия экономических решений в условиях нестационарности внешней среды // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2023. Т. 23, № 1. С. 121–135. doi: 10.17586/2226-1494-2023-23-1-121-135

Value-based modeling of economic decision making in conditions of unsteady environment

Valentina Yu. Guleva^{1✉}, Anton N. Kovatsev², Anatoly G. Surikov³, Petr V. Chunaev⁴, Galina V. Gornova⁵, Alexander V. Boukhanovskiy⁶

^{1,2,3,4,5,6} ITMO University, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation

¹ guleva@itmo.ru✉, <https://orcid.org/0000-0002-1555-9371>

² ankovantcev@itmo.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1765-7001>

³ anatoliy.surikov@itmo.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4411-271X>

⁴ chunaev@itmo.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8169-8436>

⁵ gornova@itmo.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6615-0701>

⁶ avbukhanovskii@itmo.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1588-8164>

Abstract

The changing environment creates the conditions for changing people's behavior which together can lead to crisis situations. In the case of making economic decisions, the emerging non-stationarity of the dynamics of different components of the system can represent an economic crisis. The possibility of universal human values consideration in modeling decision-making under conditions of changing environment has been studied. The internal processes of an agent prior to making a decision are reflected in the concept of Beliefs-Desires-Intentions-Actions-Reactions (BDIAR). The article reviews the regularities and existing approaches to modeling economic decisions, and proposes a new, author's approach. The mechanisms of influence of stress on decision-making, factors of rationality limitation, and risk assessment in the context of behavioral economics are revealed. The well-known theories of the influence of values on the change in the structure of consumption in a crisis situation are considered. Ways of taking into account emotions in the architecture of the agent are shown. In the proposed model, values are considered as a social factor in decision making. Due to their subjectivity, they are presented mathematically as the basis for assessing environmental objects. The subjectivity of the objects of choice assessments is reflected in the functions of attractiveness of the objects, the functions of the agent's state dynamics, and in the subjectivity of the decision influence on the satisfaction of the agent. A possible modification of the components of the agent model is shown, taking into account the influence of values on the dynamics of consumption. A method is proposed for taking into account values in the BDIAR architecture when modeling an agent's decision-making where the levels of the architecture correspond to values, preference functions, and functions of the agent's state dynamics. The pseudonymized transactional data on debit cards of the partner bank customers were analyzed separately for 2017–2019 and 2020. The subjectivity of the environment influence in a crisis situation on the dynamics of changes in values and needs for different consumer groups is demonstrated, taking into account the clustering of their behavior types. Differences in the dynamics of values at the individual level and the level of groups are shown; an increase in the priority of survival values and a different rate of return to the pre-crisis state for different behavioral groups are also shown. The results obtained are useful for developing methods for modeling economic behavior in a non-stationary external environment, in particular, in the case of crises.

Keywords

decision making model, crisis, values, needs, non-stationarity, behavioral economics, BDIAR

Acknowledgements

This research is financially supported by the Russian Science Foundation, Agreement No. 17–71–30029 with co-financing of the Bank “Saint Petersburg”.

For citation: Guleva V.Yu., Kovatsev A.N., Surikov A.G., Chunaev P.V., Gornova G.V., Boukhanovskiy A.V. Value-based modeling of economic decision making in conditions of unsteady environment. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2023, vol. 23, no. 1, pp. 121–135 (in Russian). doi: 10.17586/2226-1494-2023-23-1-121-135

Введение

Изменения среды формируют условия для изменения поведения людей, что в совокупности может приводить к кризисным ситуациям. В случае экономических решений возникающая нестационарность динамики разных компонент системы может наблюдаться как экономический кризис. Экономические кризисы оказывают огромное влияние на многие процессы в обществе, его благосостояние и развитие, что заставляет не только экономистов, политиков и научных работни-

ков, но и людей многих других профессий исследовать возможности упреждения, прекращения и управления кризисными ситуациями [1, 2], в которые оказываются втянутыми отдельные люди, домохозяйства, фирмы, банки и государства. Одна из таких проблем — преобразование систем потребления и производства для обеспечения устойчивого развития [3]. Решения, принимаемые любым из участников рынка, могут быть эмоциональными, не отражающими реальной ситуации, или рациональными. При этом каждое решение влияет на экономическую ситуацию на других масшта-

бах: шаблоны потребления для отдельных магазинов и микроуровневые поведенческие модели влияют на рынок и макроэкономические переменные.

Прогнозирование на основе статистических моделей может обеспечивать надежные результаты при незначительном числе параметров — они не требуют понимания моделируемых процессов на разных уровнях и способны воспроизводить ожидаемую динамику при наличии репрезентативной выборки наблюдений. Тем не менее, развитие критических ситуаций характеризуется сменой стационарности наблюдений, что не позволяет использовать для прогноза модели, ранее полученные по данным. В силу открытости экономических систем и своеобразности отдельных кризисов, возможности для множественного анализа и разработки методов их предупреждения ограничены [3–5]. Таким образом, именно понимание основополагающих процессов экономического поведения является ключевым для оценки причин итоговых наблюдений, прогнозирования возможных последствий, а также избежания кризисов.

Отсутствие стационарности в данных свойственно не только кризисам, но и развивающимся ситуациям, часто встречающимся в экономике при возникновении новых финансовых инструментов, когда наблюдается динамика их принятия индивидами и численность агентов с одним поведением сменяется агентами с новым типом поведения. Например, динамика принятия карт безналичного расчета или карт лояльности сетей розничной торговли связана с социально-демографическими характеристиками потребителей [6], а постепенность и неодновременность смены их поведения отражается на неполноте транзакционных данных и возникновении степенных законов, часто встречаемых в экономических системах [7]. Поведенческая стационарность обычно объясняется существованием фиксированных ограничений, существующих достаточное время для адаптации к ним индивидов и возникновения некоторой нормы поведения. Новые технологии определяют новые варианты поведения, расширяя границы нормы, что приводит к комбинированному распределению вариантов поведения. Таким образом, наблюдения, связанные с возникновением новых технологий, также нестационарны, что влечет неполноту соответствующих данных и усложняет задачу построения прогностических моделей, что приводит к необходимости реконструкции данных на основании небольших наблюдаемых компонент [8] и необходимости разработки моделей, объясняющих механизмы изменения динамики в условиях нестационарной среды.

Обработка экземпляров данных как индивидуальных решений позволяет объяснить причины принимаемого решения на уровне отдельных индивидов и извлечь параметры поведения для рассматриваемого человека, что позволяет более гибко использовать доступные данные, однако требует объяснения субъективности решений и различий их ценности для различных людей. Зависимость решения от субъекта, его текущего состояния в контексте изменяющейся среды и наблюдаемой информации о ней обеспечивает переход от функции полезности [8, 9], определяющей объектив-

ную полезность решения, к субъективной привлекательности [10] каждого решения как функции объекта, субъекта (актора) и окружения, что означает влияние внутренних свойств индивида, таких как эмоции и социальные ценности, которые находят отражение в идеях поведенческой экономики.

В рамках работы рассмотрены основные теории, затрагивающие особенности принятия решений в кризисных ситуациях, на основе которых строится архитектура модели агента принятия экономических решений с учетом ценностей и потребностей агента. Проведенный анализ транзакционных данных демонстрирует смену приоритетов платежного поведения в результате развития кризисной ситуации, а классификация платежных категорий по группам ценностей выживания, социализации и саморазвития демонстрирует возрастающую роль ценностей выживания.

Стресс и кризис как частный случай нестационарности среды — ограничения при принятии решений

Изменения среды, демонстрирующие нестационарность статистических свойств, приводят к активизации адаптационных процессов со стороны агентов, взаимодействующих со средой. При этом в контексте принятия решений формируются ограничения возможного выбора, что создает стрессовую/кризисную ситуацию. Поиск моделей принятия экономических решений в кризис раскрывает большое число результатов наблюдений за изменением поведения в стрессовых ситуациях. Среди них наблюдения за динамикой во время и после эпидемий [11, 12]. При планировании расходов наблюдается упрощение жизни, снижение трат в категориях роскоши и повышение расходов в категориях еды, образования и здравоохранения [11]. При этом общая динамика продаж в сетях розничной торговли претерпевает спад с последующим подъемом при сокращении паники. Среди факторов панического поведения отмечается значимость социального контекста [13] и новостей [12]. Индивидуальная адаптивность и эффективность в условиях стресса связывается соответственно с временем и восприимчивостью [14]. Йилмаз и Кафадар (2022) используют нейрофизиологические методы для исследования влияния стресса на процесс принятия решений, а также предпринимают попытку связать это с типологией личности [15]. В ходе эксперимента создана стрессовая ситуация, соматический ответ организма на которую измеряется на поверхности кожи с помощью специальных тестов, при этом оценивается влияние стресса на принятие решений. Эксперимент в симуляторе управления полетами показал, что навык принятия решений в условиях стресса коррелировал со страхом принятия ошибочных решений [16]. При этом тренировки способствовали выработке навыка принятия решения в условиях стресса и снижению страха перед ошибками.

Исследования основаны на анализе данных наблюдений и опросов и ограничены информационными моделями.

Поведенческая экономика

Экономическое поведение — набор решений, связанных с персональными финансовыми потоками и распределением экономических ресурсов с целью извлечения выгоды из финансового оборота. Наиболее доступные данные для наблюдения за финансовым поведением — данные сетей магазинов розничной торговли, статистика по картам лояльности и транзакционные данные, отражающие время, суммы и место совершения транзакции. Они отражают изменение поведения и позволяют строить гипотезы о роли ценностей.

Принятие решений в экономике, как и в других областях, использующих методы агентного моделирования, естественным образом принимает за основу рациональные предположения, отражающие явные преимущества и недостатки принимаемого решения [17]. Таким образом, каждый вариант решения характеризуется функцией полезности [8, 9], где ожидаемая польза или экономические потери измеряются конкретными денежными величинами, а итоговый выбор решения им пропорционален.

Поведенческая экономика [18] строит теории, исходя из отказа от рационального агента, в стремлении отразить персональные предпочтения в отказе от незначительной выгоды сейчас, для получения большего в будущем. Аналогичные соображения лежат в основе социальных ценностей, также учитываемых в рамках поведенческой экономики. Эксперимент [19], когда студенты осуществляли выбор — распределить деньги поровну в соответствии с принципами социальной справедливости или взять себе больше в соответствии с функцией полезности, не поддается интерпретации рациональными экономическими теориями и демонстрирует значимость влияния социальных ценностей на принятие экономических решений. Отнесение отдельными людьми ресторанов к категориям еды или развлечений отражает как ценности, так и благосостояние, и характеризует ценность отдельных объектов для удовлетворения различных классов потребностей. Таким образом, функция полезности для оценки текущих индивидуальных предпочтений также имеет субъективный характер.

Субъективность персональных ценностей подтверждается рядом исследований когнитивных психологов и поведенческих экономистов. Теория перспектив [20] исследует субъективность восприятия информации в условиях риска, что влияет на итоговое решение. При этом субъективность состояла в склонности к недооценке и переоцениванию различных вероятностей альтернатив, а предметом исследования выступали когнитивные механизмы оценки потенциального выигрыша [21]. В работе [22] исследована теория распределения внимания ввиду механизмов распределения ресурсов между отделами мозга. Влияние ограничений когнитивных процессов на рациональное принятие решений изучено в рамках динамической модели агента на макроэкономическом примере динамики цен [23]. Предположено, что ограничения внимания способствуют возникновению дефицита информации, препятствующему принятию действительно рациональ-

ных решений [24], что приводит к моделям динамики потребления в условиях ограничений на обработку информации [25].

Таким образом, поведенческая экономика фокусируется на влиянии когнитивных, социальных и эмоциональных факторов на принятие экономических решений, которые, в свою очередь, влияют на глобальные переменные, такие как цены и распределение ресурсов.

Ценности как социальный фактор принятия решений

Ценности, культура, этика — части социальной составляющей поведения, нацеленные на выработку стратегий сотрудничества в интересах популяции. Социальные ценности и оптимальные стратегии социального поведения — результат многовековой эволюции [26, 27], что приводит к многочисленным воздействиям на индивидуальное поведение, начиная с копирования отдельных решений, эффектов передачи знаний среди населения и до культурных норм, основанных на народной мудрости, на эффективных стратегиях поведения.

Ценностные модели направлены на объяснение и классификацию системы приоритетов индивидов или групп людей. Пирамида потребностей [28] отражает приоритет потребностей выживания и безопасности перед эстетическими потребностями, как бы демонстрируя их большую ценность и невозможность развития потребностей высшего уровня без приоритетных потребностей выживания.

В работе [29], отражающей стили жизни, выделены классы выживших (survivors), поддерживающих (sustainers), владельцев (belongers), подражающих (emulators), успешных (achievers), «Я — это я» (I-am-me), экспериментальных (experiential), социально сознательных (societally conscious) и комбинированных (integrated). Частично с пирамидой потребностей [28] связан перечень ценностей [30]: самоуважение, веселье, азарт, безопасность, взаимоотношения, чувство долга, самореализация, чувство принадлежности, уважаемость. Шкала ценностей [31], отражающая уровень консерватизма и интроверсии, классифицирует ценности универсализма, благожелательности, конформности, власти, безопасности, достижений, гедонизма и самостоятельности между группами «сохранения — открытости изменениям» и «самоутверждения — заботы о людях и природе».

В специфичных случаях может быть целесообразным рассмотрение предметно-ориентированных ценностей, которые, впрочем, неизбежно связываются с общечеловеческими ценностями. Например, в [32] выделены профессиональные ценности: компетенции, справедливость, уважение, честность, самостоятельность, ответственность.

Легко видеть, что все группы ценностей вводят некоторый субъективный базис, позволяющий оценить значимость поступков и решений для отдельного человека [33]. Кроме того, первоочередная цель данных исследований — развитие поведенческих теорий. Соотнесение фактов, событий и поступков с ценност-

ным базисом индивида позволяет делать предположения о механизмах удовлетворенности и психологического баланса в зависимости от рассматриваемого контекста [34]. Методы измерения ценностей по шкалам [28, 29] основаны на социально-психологических опросниках, а также могут быть автоматизированы на уровне анализа текстов с применением методов тематического моделирования [35].

Исследованию воздействия ценностей на социальную и культурную жизнь посвящен международный проект, объединяющий социологов по всему миру, — «Всемирный обзор ценностей» [36]. В его рамках проведено 7 раундов исследований 97 стран мира, включая 90 % совершеннолетнего населения, начиная с 1981 года, утверждена методология разработки национальных скриптов интервью и анкет, и стандарт подготовки данных, согласно которому минимальная группа составляет тысячу человек от каждой из стран. Культуры народов Африки, Латинской Америки, Азии, мусульмане и православные размещены в двумерном пространстве вдоль осей «традиционных — секулярно-рациональных» ценностей и ценностей «выживания — самовыражения». Динамика изменения культурных ценностей связывается с ростом экзистенциальной безопасности и ощущением уверенности в будущем [37]. Таким образом, при моделировании на уровне одного агента целесообразно предположение о влиянии окружающей ситуации: безопасности и знаний о будущем и текущих ресурсах — на механику смены приоритетов в ценностном базисе.

Потребности, приоритеты, удовлетворенность и механизмы исчисления ценностей как рациональная основа принятия решений

Объективный мотиватор агентов при принятии решений — потребности. В отличие от ценностей, они динамичны и отражают текущее состояние агента. Ценности являются результатом социализации, следовательно, более стационарны и характеризуют правильность поведения. Пирамида потребностей характеризует их первостепенность: отражает физические потребности и потребности к безопасности, иллюстрирует необходимость их удовлетворения для возникновения высших потребностей — социализации и саморазвития. В случае с финансовым поведением потребности соответствуют наблюдаемым в транзакциях категориям потребления: продуктовые магазины, рестораны, театры и концертные залы, развлечения, путешествия, аптеки. В то же время траты в рамках каждой категории могут быть направлены на удовлетворение потребностей каждой из групп приоритета.

Динамика возникновения потребности в рамках отдельных категорий расходов соответствует динамике дефицита. Тогда платежное поведение в рамках каждой из категорий способствует реализации потребности. Например, существует возможность закупить еды на какое-то время вперед, и тогда можно дольше не ходить в магазин, но чем ближе к моменту истечения запасов, тем выше потребность повторного пополнения. Такая динамика может быть смоделирована уравне-

нием для конденсатора или осциллятора, поскольку учитывает внешнее воздействие и изменение энергии. Предположение об аналогичной динамике возникает для совокупности потребностей как их упорядоченной иерархии. Другими словами, удовлетворенность агента в целом может определяться уровнем иерархии, на котором он находится, в то время как эта общая удовлетворенность складывается из уровня удовлетворенности отдельных потребностей в рамках каждого из уровней иерархии потребностей. Сложность моделирования возникает ввиду необходимости учета взаимосвязи потребностей одного уровня для перехода к потребностям более высокого уровня.

Ценности позволяют определять влияние одного и того же события на удовлетворенность агента. Если зафиксировать ценности как базис оценки пользователем отдельных событий в векторном пространстве, то можно говорить о ценностной позитивности и негативности выбора на основе коллинеарности векторов и знака их скалярного произведения, на основе чего может быть оценена удовлетворенность отдельными решениями. Тогда от отдельного решения к траектории в ценностном пространстве можно перейти к суммированию последовательности событий, что при проекции на отдельные оси ценностей даст агрегированную картину удовлетворенности и позволит оценить вклад отдельных событий. Траектории в ценностном пространстве индивида позволяют оценить соответствие поведения ценностным установкам, степень стабильности поведения и уровень удовлетворенности.

Аналогично теории ограниченной рациональности [38], где функция принятия решения скорректирована с учетом субъективности восприятия, ценностный базис (заданный для отдельного индивида) корректирует модель принятия решения с учетом субъективности оценки решений и модель изменения состояния индивида с учетом субъективной удовлетворенности.

Структура модели агента Belief-Desire-Intention-Action-Reaction (BDIAR)

Принятие решений — динамический процесс [39], обусловленный физиологическими, психологическими и социальными факторами [40]. В исследовании динамики принятия решений в процессе корректировки режима питания эти факторы, среди которых фигурируют и личные ценности, рассматриваются в роли мотиваторов [40]. Динамика переживания агентом кризисных ситуаций, как правило, отделяет момент обновления информации и состояний агента и среды от совершения действий в ответ на предполагаемые или полученные изменения [41]. Ввиду этого в рамках работы определена потенциальная роль ценностей и потребностей при принятии решений.

BDI-модели (убеждения (Belief), желания (Desire), намерения (Intention)) представляют собой класс агентных моделей, ориентированных на отражение внутреннего мира агента в ходе принятия решений [42–44] — процесс планирования отделяется от исполнения. В предположении моделирования агента в контексте открытой системы, где каждому действию агента/приня-

тому решению может быть сопоставлен ответ среды и изменения состояний агентов, аббревиатура BDI может быть расширена до BDIAR. При этом действия агентов (Action) и их последствия (Reaction) — необходимая составляющая любой модели агента и соответствуют процессу исполнения запланированного. Аббревиатура соответствует состояниям агента и переходам между ними: убеждения — информации агента о мире, не обязательно истинной; желания — мотивационному состоянию агента, целям, выбранным к исполнению; намерения — планам, принятым к исполнению; действия — фактам их совершения; реакции — событиям, последствиям действий или изменениям среды, влияющим на состояние агента и его убеждения. Таким образом, отражается степень готовности агента к действию и связь с его «свойствами»/состоянием.

Учет эмоций и взаимодействия агента со средой при принятии решений встречается в научных работах как расширение BDI-модели предварительной эмоциональной компонентой, осуществляющей обработку сигналов от среды [45]. При этом предполагается обновление всех компонент модели с учетом эмоционального восприятия. В других архитектурах эмоциональных агентных моделей в разной степени уделяется внимание роли темперамента, личности, физиологических процессов и влиянию на динамику на разных уровнях BDI-модели агента [46–50]. Похожий подход в рамках поведенческой экономики рассматривается в работе [13], где вклад осведомленности и намерений в итоговое действие рассматривается наравне с относительной ценностью денег и предпринимается попытка их учета при объяснении парадокса Алле [51], демонстрирующего, что агент максимизирует не прибыль, а надежность.

Место теорий поведенческой экономики и ценностных моделей в архитектуре экономического агента

Произвольная модель динамики системы содержит в качестве основных компонент элементы системы, зависящие от состояний элементов макросостояния системы и набор механизмов изменения состояний элементов системы (рис. 1). В частности, изменение состояний элементов системы может происходить при их взаимодействии между собой или со средой. Таким образом, для некоторого начального состояния системы могут существовать устойчивые состояния, достигаемые спустя некоторое время, которые могут меняться за некоторое время при смене механизмов изменения состояний агентов или изменении среды.

В контексте агентной модели выбор отдельных агентов определяется функцией привлекательности выбираемых элементов среды (действий) ($\Phi(e, u)$), а результат взаимодействия — выражением для динамики состояния агента (ds/dt). Функция привлекательности реализует вероятность выбора каждого из вариантов и в случае рациональной теории принятия решений будет соответствовать функции полезности. В примере выбора контрагента в системе межбанковского кредитования рациональное решение соответствует привлекательности значений капитала C_u и процентной ставки R_u . При этом для учета субъективной склонности к риску добавляется параметр ценностных предпочтений $\varepsilon_v \in [0; 1]$: $\Phi(v, u) \sim \varepsilon_v C_u + (1 - \varepsilon_v) R_u$. Стратегии выбора могут определяться динамикой обработки информации, повторяемостью используемых стратегий, числом объектов выбора, когнитивными затратами на принятие решения при наличии ограничений на каче-

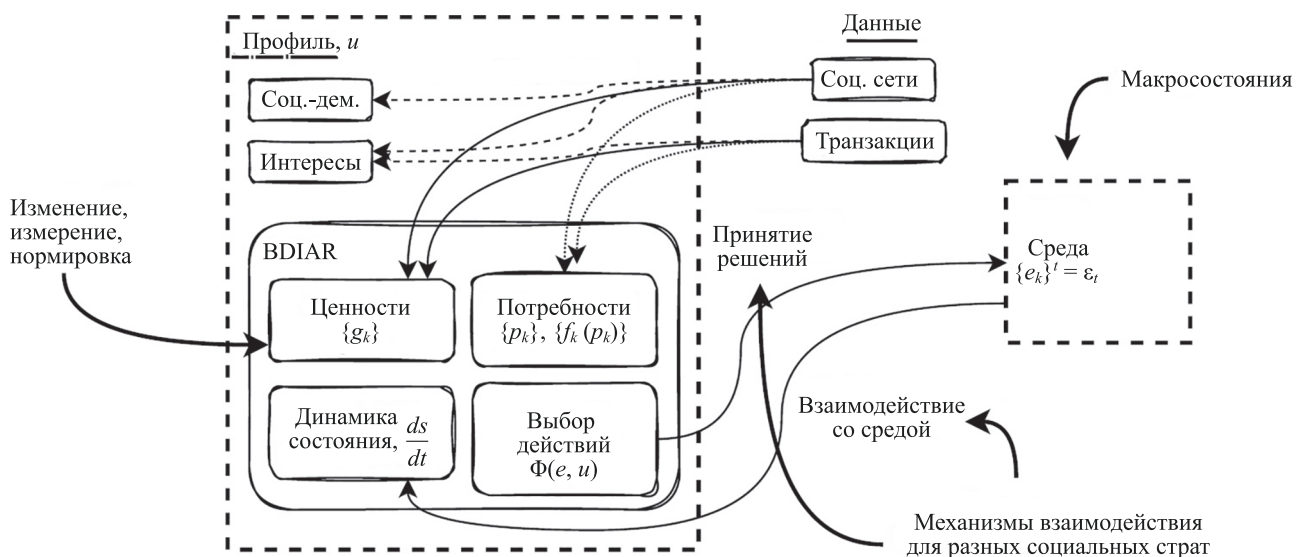


Рис. 1. Модель взаимодействия агента u и среды ε в момент t . Отражены блоки профиля интересов и социально-демографических характеристик, модели выбора действий $\Phi(e, u)$ и динамики состояний при выборе элементов, блоки ценностей и потребностей агента для субъективизации оценок. Параметры механизмов взаимодействий могут отличаться для различных страт (социальных групп)

Fig. 1. The model of interaction between agent u and environment ε at t moment. The blocks of user interests, socio-demographic features, choice model $\Phi(e, u)$ of environment elements, state dynamics model, agent values and needs for subjectivity reflection are displayed. Parameters of interaction functions are different for social strata

ство принимаемого решения и временные ресурсы [52]. Моделирование агента на основе ценностно-ориентированных принципов и теорий поведенческой экономики является определяющим для наблюдаемой динамики на макроуровне.

Помимо функций выбора и динамики состояния модель агента должна учитывать потребности и ценности агента в привычном процессе принятия решений. Теории поведенческой экономики свидетельствуют в пользу нерациональности или частичной рациональности решения и влияния когнитивных, эмоциональных и социальных процессов. В качестве социальной компоненты выступают ценности, а когнитивные процессы связаны с ограничениями восприятия.

Сопоставим уровни BDI-модели агента необходимым компонентам динамики системы из рис. 1 и ценностным ориентациям. Ориентация на ценности и потребности при принятии решений и выборе действий отражена в модели BDIAR состояний агентов. Модель демонстрирует не только состояние агента, функцию привлекательности и модель смены состояния агента в результате действий, но и включает ограничения на убеждения, что соответствует ценностям (табл. 1).

Для каждого агента моделируется динамика потребления, наблюдаемая, например, посредством транзакционной активности в различных категориях. Выбор категории расходов моделируется с учетом потребностей агентов на основании функции привлекательности. Таким образом, на макросостояние системы влияет состояние пользователя в рамках модели потребностей, которое определяется возможностями среды обеспе-

чения потребностей, что также связано с механизмом обеспечения потребностей (уравнение динамики состояния агента). При этом на макроуровне имеет значение перераспределение спроса в условиях ограничения предложения по ряду потребительских категорий.

Дополним табл. 1 учетом субъективности восприятия. Рассмотрим набор из N акторов u с состояниями $\{s^k\}_{k=1}^N$, где s^k — состояние k -го актора, описываемое вектором в линейном пространстве. Акторы взаимодействуют со средой $\epsilon = \{e^k\}_{k=1}^M$, где M — число объектов выбора. Макросостояние системы S описывается некоторой функцией от состояний акторов системы.

Каждый объект выбора e^i обладает некоторой ценностью для актора с состоянием s^k , так что выбор объекта пользователем осуществляется на основании функции привлекательности $\Phi(e, u)$, которая в случае с ценностно-ориентированными моделями связана с ценностями и потребностями агента. При этом ценность объекта выбора также влияет на динамику изменения состояния агента ds/dt . Таким образом, в контексте ценностно-ориентированных моделей агента компонентам динамической системы агентов, отвечающим за выбор объектов среды и влияние объектов среды на агентов, сопоставляются функции, учитывающие специфику предметной области (табл. 2).

Так, ценности представляют собой базис для оценки события, а динамика состояний агента учитывает проекции события на базис ценностей $e_k \cos(e_k, v)$. Таким образом, функции динамики агента учитывают изменение состояния с учетом ценностей и выбор объекта с учетом потребностей.

Таблица 1. Сопоставление уровней архитектуры BDIAR уровням модели агента с учетом ценностей и компонентам математической модели

Table 1. The correspondence between BDIAR agent architecture and agent model with values to mathematical components of an arbitrary agent model

Уровни BDIAR	Компоненты, которые необходимо учесть	Обозначение в модели	
Убеждения	Ценности	Ограничения (базис)	$\{g_k\}$
Желания	Потребности	Состояние и параметры агента	$s, \{p_i\}$
Намерения	План	Функция привлекательности объекта выбора	$\Phi(e_k)$
Действия	Действие	Вероятность выбора объекта	$P(e_k)$
Реакция	Результат	Модель смены состояния агента	ds/dt

Таблица 2. Адаптация модели рационального выбора агента в динамической системе к случаю субъективного выбора с учетом ценностей

Table 2. Adaptation of the rational choice model of an agent in a dynamic system to the case of subjective choice, taking into account values

Рациональный выбор		Субъективный выбор	
Агент, u	Среда, ε	Агент	Среда
Состояние s	Объекты выбора $\{e_k\} = \varepsilon$	Состояние s	Объекты выбора $\{e_k\} = \varepsilon$
Параметры		Параметры + ценности v	
Функция привлекательности $\Phi(e_k)$		$\Phi(e_k, u)$	
Влияние выбора для всех одинаково: $\frac{ds}{dt} \sim f(u, e)$		Проекция на оси ценностей для оценки значимости объекта выбора: $\frac{ds}{dt} \sim f(u, e \cos(e, v))$	

Анализ ценностной траектории на основе транзакционных данных

Рассмотрим данные о транзакциях по дебетовым картам клиентов банка «Санкт-Петербург» отдельно за 2017–2019 гг. и 2020 г. Платежные категории, стандартно отмеченные в транзакционных данных кодами MCC (Merchant Category Code — «код категории продавца»), относящими место совершения платежа к одной из категорий, приведем в соответствие с тремя базовыми ценностями: «выживание», «социализация», «саморазвитие» (пример сопоставления по ряду категорий в табл. 3).

Для этого трехуровневая модель ценностей сопоставлена с группами потребностей пирамиды Маслоу (рис. 2), а платежные категории (MCC) разделены по группам потребительских интересов. При измерении реализации потребностей через суммы транзакций, совершенных в соответствующей категории, динамика интереса к отдельным ценностям может быть оценена через динамику трат в соответствующих категориях как для отдельных клиентов (рис. 3), так и для их набора (рис. 4). Для оценки категорий трат на каждый день вычислим нормированные суммарные расходы по всем картам с разделением по группам:

Таблица 3. Сопоставление «действия»–«ценности» для трех базовых потребительских ценностей «выживание», «социализация», «саморазвитие» и действий, соответствующих категориям трат по дебетовым картам

Table 3. “Actions”–“values” map for the three basic consumer values “survival”, “socialization”, “self-development” and actions corresponding to the spending categories on debit cards

МСС-код	Группа потребительских интересов	Ценность
5411: ‘Бакалейные магазины, супермаркеты’	Пища	«Выживание»
5812: ‘Места общественного питания, рестораны’		
5462: ‘Булочные’, 5441: ‘Кондитерские’		
5691: ‘Магазины мужской и женской одежды’	Одежда	
5651: ‘Одежда для всей семьи’, 5661: ‘Обувные магазины’		
5949: ‘Магазины ткани, ниток, рукоделия, шитья’		
5211: ‘Лесо- и строительный материал’	Жилище	
4900: ‘Жилищно-коммунальные услуги’		
5714: ‘Ткани, обивочный материал, гардины и портьеры, жалюзи’		
5912: ‘Аптеки’, 8043: ‘Оптика, оптические товары и очки’	Здоровье	
8062: ‘Больницы’, 8021: ‘Стоматологи, ортодонты’		
8071: ‘Стоматологические и медицинские лаборатории’		
4111: ‘Пассажирские перевозки — пригородные и местные пригородные рейсы, включая паромы’	Транспорт	«Социализация»
4112: ‘Пассажирские железнодорожные перевозки’		
5533: ‘Автозапчасти и аксессуары’		
4814: ‘Телекоммуникационные услуги’	Информация и связь	
5732: ‘Продажа электронного оборудования’		
9402: ‘Почтовые услуги — только государственные’		
6012: ‘Финансовые учреждения — торговля и услуги’	Финансы	«Саморазвитие»
9311: ‘Налоговые платежи’		
5943: ‘Магазины офисных, школьных принадлежностей, канцтоваров’	Дети и образование	
8299: ‘Образовательные услуги, нигде более не классифицированные’		
8220: ‘Колледжи, университеты, профессиональные училища и техникумы’		
7941: ‘Атлетические поля, коммерческие виды спорта, профессиональные спортивные клубы, промоутеры спорта’	Развлечения и от- дых	
5942: 5192: ‘Книги, периодические издания и газеты’		
5992: ‘Флористика’ 5735: ‘Магазины звукозаписи’		
7922: ‘Театральные продюсеры (кроме кинофильмов), билетные агентства’		
0742: ‘Ветеринарные услуги’		
7991: ‘Туристические достопримечательности и выставки’		

$$v_{i,k}^N = \frac{v_{i,k}}{\max_{l=1,\dots,n} \left(\sum_{j=1}^m v_{l,j} \right)}; i = 1, \dots, n; k = 1, \dots, m, \quad (1)$$

где $v_{i,j}$ — сумма транзакции j в момент i ; m — число ценностей; n — число наблюдений в ряду. Тогда пропорциональное соотношение суммарных расходов по группам трат имеет вид

$$v_{i,k}^R = \frac{v_{i,k}}{\sum_{j=1}^m v_{i,j}}; i = 1, \dots, n; k = 1, \dots, m. \quad (2)$$

Расчеты по формулам (1)–(2) лежат в основе визуализации динамики трат по ценностям для отдельных людей и их групп (рис. 3, 4).

В модели BDIAR, предназначенной для описания процессов принятия решений и выполнения действий во внешней среде финансовым актором, убеждениям (Belief) соответствуют ценности финансового актора, а потребности/желания (Desire) отражены отдельными тратами по группам категорий MCC. В рамках разработанного метода ценности могут меняться при возникновении кризисных состояний внешней среды.



Рис. 2. Отображение трехуровневой модели ценностей (выживание, социализация, саморазвитие) на пирамиду потребностей Маслоу

Fig. 2. Mapping a three-level value model (survival, socialization, self-development) onto Maslow's pyramid of needs

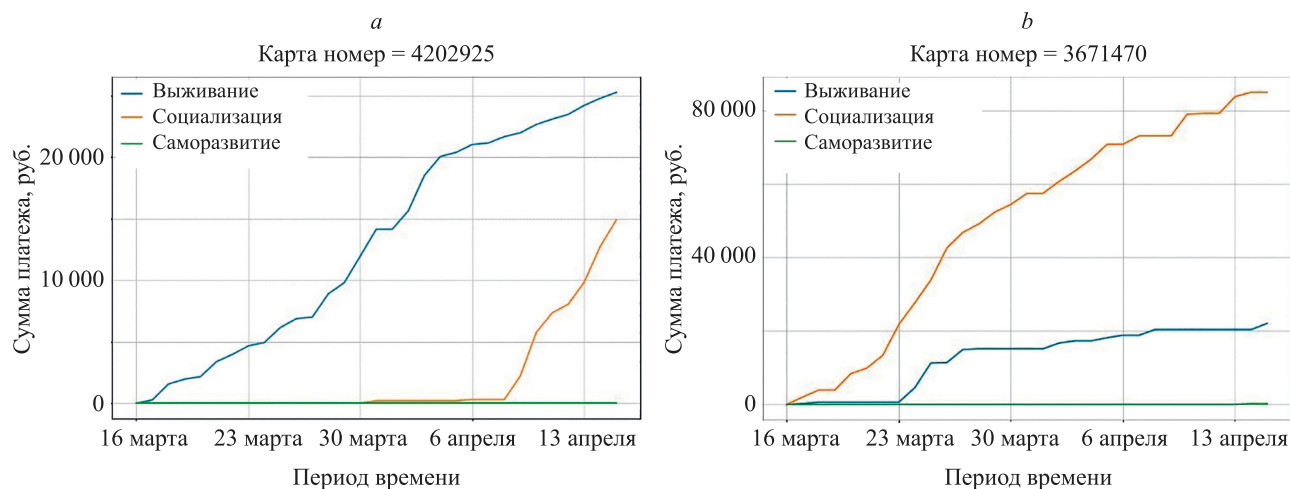


Рис. 3. Кумулятивный график трат для двух различных клиентов банка (в рамках одного месяца с 16 марта по 16 апреля 2020 года) для категорий, соответствующих различным базовым ценностям

Fig. 3. Cumulative spending schedule for two different bank customers (within one month from March 16 to April 16, 2020) for categories corresponding to different core values



Рис. 4. Сравнение приоритета различных ценностей до, во время и после переходного процесса: у страты C1 (минимальный оборот) (a, c); у страты C5 (максимальный оборот) (b, d).

На рис. 4, a, b — абсолютные нормированные суммарные расходы по всем картам с разделением по выбранным ценностям (применено сглаживание методом скользящего среднего с окном, равным одной неделе); на рис. 4, c, d — пропорциональное соотношение суммарных расходов по выбранным ценностям

Fig. 4. Comparison of the priority of different values before, during and after the transition process: at stratum C1 (minimum turnover) (a, c); near stratum C5 (maximum turnover) (b, d).

Figures (a, b) show the absolute normalized total costs for all cards divided by selected values (smoothing was applied using the moving average method with a window equal to one week); (c, d) — the proportional ratio of the total costs for the selected values

Таким образом, модель позволяет описывать переживание кризиса (в том числе адаптацию) на уровне страт агентов. Кризис моделируется как изменение внешней среды (контекста), в частности, как изменение уровня доступности объектов для удовлетворения потребностей агентов, что может повлечь за собой изменение важности ценностей для страт агентов.

Идентификация BDIAR-модели для отдельных агентов затруднена вследствие разреженности данных и субъективности причин принимаемых решений, не позволяющих обучить отдельную модель агента для каждого прототипа. Исходя из этого, обучение BDIAR-моделей проведем на уровне групп (страт) финансовых акторов. Метод анализа включает: стратификацию финансовых акторов; расчет временных рядов изменения

приоритета потребностей/ценностей по отдельным стратам агентов на основании разметки (табл. 3); обучение параметрической модели изменения потребностей/ценностей для различных страт. Для идентификации модели переходного процесса на основе BDIAR время моделирования разделено на предкризисный, кризисный и посткризисный интервалы [T0, T1], [T1, T2], [T2, T3], где T0 и T3 — начало и конец интервала моделирования; T1 и T2 — начало и конец периода изменений внешней среды (контекста). Так, для моделирования действий карантинных ограничений на потребителей определено T1 = {30 марта 2020 г.}, T2 = {10 мая 2020 г.} на основе данных производственного календаря Российской Федерации (выделено красной рамкой на рис. 4). На рис. 4 видно: резкое снижение суммарно-

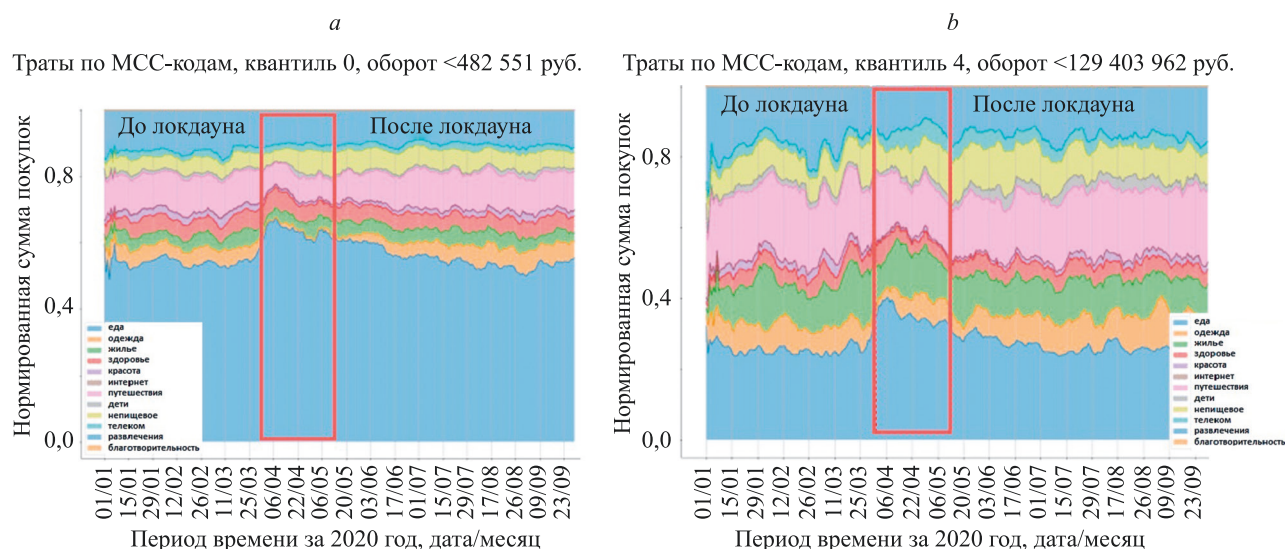


Рис. 5. Пропорциональное соотношение суммарных расходов, отражающих потребности клиентов банка в разные моменты времени: для страты 1 (минимальный оборот, C1) (a); для страты 5 (максимальный оборот, C5) (b).

Красной линией выделен интервал карантинных ограничений с 30 марта по 10 мая 2020 г.

Fig. 5. Proportional ratio of total expenses reflecting the needs of bank customers at different points in time: for stratum 1 (minimum turnover, C1) (a); for stratum 5 (maximum turnover, C5) (b)

The red line marks the interval of quarantine restrictions from March 30 to May 10, 2020

го количества трат; резкое увеличение важности ценности «выживание», с постепенным переходом в новое стационарное состояние для ситуации противоэпидемических мероприятий весны 2020 г., что соответствует ожидаемым закономерностям платежного поведения в кризис [11, 12]. С точки зрения BDIAR для страт финансовых акторов изменение внешней среды (снижение доходов, доступности, мобильности и др.) приводит к резкому изменению модели потребностей (что видно по изменению абсолютных сумм и долей трат в различных категориях на рис. 5), далее происходит постепенный переход к новому стабильному состоянию. Анализ данных показал субъективность влияния внешней среды на динамику ценностей, а следовательно, различие влияния принимаемого решения на динамику состояния агента. Выделение страт осуществлено методом кластеризации с учетом похожести рядов платежного поведения, причем один из признаков — среднемесячный оборот, а выбор страт C1 (минимальный оборот) и C5 (максимальный оборот) для визуализации обусловлен их существенными особенностями, обеспечивающими наглядность визуализации по сравнению с остальными стратами (рис. 4, 5).

Наблюдается качественно различные сценарии адаптации к кризису: обе страты сокращают абсолютный уровень трат в интервал ограничений («локдауна») приблизительно в два раза, однако клиенты страты с максимальным оборотом восстанавливают привычный уровень потребления уже через пять недель после кризиса, в то время как оборот по страте C1 не восстанавливается в течение всего периода наблюдений. В то же время и у C1, и у C5 наблюдается повышение приоритета ценности «выживание» в кризисное время, и ее стабилизация на более высоком уровне, чем до ограничений.

В результате наблюдается разная важность типов потребностей у страт для стабильного периода. Например, для периода «До локдауна» траты на продукты питания у C1 $> 0,5$, а у C5 $< 0,3$, у C5 в значительно большей степени удовлетворяются менее базовые потребности, такие как потребность в путешествиях, развлечениях, обустройстве дома. Отметим, что различные страты по-разному меняют потребности в кризисной ситуации: у C1 за счет возрастания расходов на продовольственные товары сокращаются траты на все категории потребностей, кроме категорий «здоровье» и «непродовольственные товары». Особенно снижены расходы на одежду, путешествия и уход за собой. Вследствие ограниченности ресурса происходит в первую очередь удовлетворение наиболее базовых потребностей, соответствующих ценности «выживание». У C5 отмечено снижение трат на развлечения и уход за собой, рост трат на категорию «телеком» и «продукты» и относительная стабильность остальных категорий. Таким образом, в случае избытка ресурса большее значение для страты приобретает факт недоступности ранее привлекательных объектов внешней среды (рестораны, кафе, бары, салоны красоты).

Заключение

Рассмотрена проблема моделирования экономического поведения агента в кризисной ситуации. Проведен обзор факторов влияния на поведение в условиях стресса, в том числе на платежное поведение. Рассмотрены теории поведенческой экономики, направленные на учет эмоциональных, когнитивных и социальных факторов, имеющих место в кризисной ситуации, где показано их влияние на поведение. Проведен обзор ценностных шкал как социальных ори-

ентиров при принятии решений. Проанализированы возможности BDI-архитектуры агента по учету эмоций. Выявлено место ценностно-ориентированных особенностей модели принятия решений в контексте BDI. Сигнатуры функций в модели динамики агента приведены в соответствие с ценностными моделями. В ходе анализа данных показана динамика смены ценностей агентов, динамика изменения потребностей, а также различие динамики в разных странах, что в совокупности предоставляет возможности исследования экономического поведения групп с разными ценностными установками. Смещение приоритетов людей в сторону ценностей выживания во время кризиса позволяет переопределить вектор ценностей и определить функции привлекательности объектов при принятии решений в соответствии с актуальным состоянием вектора ценностей. Таким образом, принятие решений может моделироваться в соответствии с фиксированными функциями привлекательности, и, предположительно,

моделирование динамики поведения в нестационарных условиях может быть сведено к моделированию динамики векторов ценностей как отдельных людей, так и страт. Разработка метода моделирования динамики ценностей, как и методов их идентификации, является предметом дальнейшего исследования, а проведенный обзор научных работ, анализ данных и их сопоставление в рамках единой архитектуры агента предоставляет основу для предполагаемого вида модели принятия решений и ее необходимых компонент.

Для дальнейшего моделирования экономического поведения агента в кризисной ситуации выявлена необходимость моделирования снижения приоритета эстетических потребностей и повышение приоритета потребностей выживания и безопасности. Выявлена необходимость моделирования динамики роста потребности и субъективности восприятия актуальной потребности с учетом ограничения информации, внимания и когнитивных особенностей агента.

Литература

1. Поспелов И. Моделирование российской экономики в условиях кризиса // Вопросы экономики. 2009. № 11. С. 50–75. <https://doi.org/10.32609/0042-8736-2009-11-50-75>
2. Hawkins D. Some conditions of macroeconomic stability // *Econometrica*. 1948. V. 16. N 3. P. 309–322. <https://doi.org/10.2307/1909272>
3. Bengtsson M., Alfredsson E., Cohen M., Lorek S., Schroeder P. Transforming systems of consumption and production for achieving the sustainable development goals: moving beyond efficiency // *Sustainability Science*. 2018. V. 13. N 6. P. 1533–1547. <https://doi.org/10.1007/s11625-018-0582-1>
4. Ashraf S., Félix E.G.S., Serrasqueiro Z. Do traditional financial distress prediction models predict the early warning signs of financial distress? // *Journal of Risk and Financial Management*. 2019. V. 12. N 2. P. 55. <https://doi.org/10.3390/jrfm12020055>
5. Edison H.J. Do indicators of financial crises work? An evaluation of an early warning system // *International Journal of Finance & Economics*. 2003. V. 8. N 1. P. 11–53. <https://doi.org/10.1002/ijfe.197>
6. Demoulin N.T.M., Zidda P. Drivers of customers' adoption and adoption timing of a new loyalty card in the grocery retail market // *Journal of Retailing*. 2009. V. 85. N 3. P. 391–405. <https://doi.org/10.1016/j.jretai.2009.05.007>
7. Gabaix X. Power Laws in Economics and Finance // *Annual Review of Economics*. 2009. V. 1. N 1. P. 255–294. <https://doi.org/10.1146/annurev.economics.050708.142940>
8. Squartini T., Caldarelli G., Cimini G., Gabrielli A., Garlaschelli D. Reconstruction methods for networks: the case of economic and financial systems // *Physics Reports*. 2018. V. 757. P. 1–47. <https://doi.org/10.1016/j.physrep.2018.06.008>
9. Houthakker H.S. Revealed preference and the utility function // *Economica*. 1950. V. 17. N 66. P. 159–174. <https://doi.org/10.2307/2549382>
10. Kalman P.J. Theory of consumer behavior when prices enter the utility function // *Econometrica*. 1968. V. 36. N 3-4. P. 497–510. <https://doi.org/10.2307/1909519>
11. Mehta S., Saxena T., Purohit N. The new consumer behaviour paradigm amid COVID-19: permanent or transient? // *Journal of Health Management*. 2020. V. 22. N 2. P. 291–301. <https://doi.org/10.1177/0972063420940834>
12. Loxton M., Truskett R., Scarf B., Sindone L., Baldry G., Zhao Y. Consumer behaviour during crises: Preliminary research on how coronavirus has manifested consumer panic buying, herd mentality, changing discretionary spending and the role of the media in influencing behaviour // *Journal of Risk and Financial Management*. 2020. V. 13. N 8. P. 166. <https://doi.org/10.3390/jrfm13080166>

References

1. Pospelov I. Modeling russian economy in the crisis period. *Voprosy Ekonomiki*, 2009, no. 11, pp. 50–75. (in Russian). <https://doi.org/10.32609/0042-8736-2009-11-50-75>
2. Hawkins D. Some conditions of macroeconomic stability. *Econometrica*, 1948, vol. 16, no. 3, pp. 309–322. <https://doi.org/10.2307/1909272>
3. Bengtsson M., Alfredsson E., Cohen M., Lorek S., Schroeder P. Transforming systems of consumption and production for achieving the sustainable development goals: moving beyond efficiency. *Sustainability Science*, 2018, vol. 13, no. 6, pp. 1533–1547. <https://doi.org/10.1007/s11625-018-0582-1>
4. Ashraf S., Félix E.G.S., Serrasqueiro Z. Do traditional financial distress prediction models predict the early warning signs of financial distress? *Journal of Risk and Financial Management*, 2019, vol. 12, no. 2, pp. 55. <https://doi.org/10.3390/jrfm12020055>
5. Edison H.J. Do indicators of financial crises work? An evaluation of an early warning system. *International Journal of Finance & Economics*, 2003, vol. 8, no. 1, pp. 11–53. <https://doi.org/10.1002/ijfe.197>
6. Demoulin N.T.M., Zidda P. Drivers of customers' adoption and adoption timing of a new loyalty card in the grocery retail market. *Journal of Retailing*, 2009, vol. 85, no. 3, pp. 391–405. <https://doi.org/10.1016/j.jretai.2009.05.007>
7. Gabaix X. Power Laws in Economics and Finance. *Annual Review of Economics*, 2009, vol. 1, no. 1, pp. 255–294. <https://doi.org/10.1146/annurev.economics.050708.142940>
8. Squartini T., Caldarelli G., Cimini G., Gabrielli A., Garlaschelli D. Reconstruction methods for networks: the case of economic and financial systems. *Physics Reports*, 2018, vol. 757, pp. 1–47. <https://doi.org/10.1016/j.physrep.2018.06.008>
9. Houthakker H.S. Revealed preference and the utility function. *Economica*, 1950, vol. 17, no. 66, pp. 159–174. <https://doi.org/10.2307/2549382>
10. Kalman P.J. Theory of consumer behavior when prices enter the utility function. *Econometrica*, 1968, vol. 36, no. 3-4, pp. 497–510. <https://doi.org/10.2307/1909519>
11. Mehta S., Saxena T., Purohit N. The new consumer behaviour paradigm amid COVID-19: permanent or transient? *Journal of Health Management*, 2020, vol. 22, no. 2, pp. 291–301. <https://doi.org/10.1177/0972063420940834>
12. Loxton M., Truskett R., Scarf B., Sindone L., Baldry G., Zhao Y. Consumer behaviour during crises: Preliminary research on how coronavirus has manifested consumer panic buying, herd mentality, changing discretionary spending and the role of the media in influencing behavior. *Journal of Risk and Financial Management*, 2020, vol. 13, no. 8, pp. 166. <https://doi.org/10.3390/jrfm13080166>

13. Jeffrey H.J., Putman A.O. The irrationality illusion: A new paradigm for economics and behavioral economics // *Journal of Behavioral Finance*. 2013. V. 14. N 3. P. 161–194. <https://doi.org/10.1080/15427560.2013.790388>
14. Poole K.B. *Adaptability and Decision Making under Stress in the Workplace*: a thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Arts in Psychology. Middle Tennessee State University, 2018. 66 p.
15. Yilmaz S., Kafadar H. Decision-making under stress: Executive functions, analytical intelligence, somatic markers, and personality traits in young adults // *Applied Neuropsychology: Adult*. 2022. <https://doi.org/10.1080/23279095.2022.2122829>
16. Pope J., Hein M., Russell M.A., Burkholder Ch. A Continuation of research: Student decision making under stress in a flight control center simulation // *Proc. of the 20th International Symposium on Aviation Psychology (ISAP)*. 2019. P. 91–96.
17. Coleman J.S., Farraro Th.J. *Rational Choice Theory: Advocacy and Critique*. SAGE Publications, 1992. 232 p.
18. Поведенческая экономическая теория // Большая российская энциклопедия [Электронный ресурс]. URL: <https://old.bigenc.ru/economics/text/3147419> (дата обращения: 19.10.2022).
19. Kahneman D., Knetsch J.L., Thaler R.H. Fairness and the assumptions of economics // *The Journal of Business*. 1986. V. 59. N S4. P. S285. <https://doi.org/10.1086/296367>
20. Kahneman D., Tversky A. Prospect theory: An analysis of decision under risk // *Handbook of the fundamentals of financial decision making: Part I. World Scientific*. 2013. P. 99–127. https://doi.org/10.1142/9789814417358_0006
21. Tversky A., Kahneman D. Judgment under uncertainty: Heuristics and biases // *Science*. 1974. V. 185. N 4157. P. 1124–1131. <https://doi.org/10.1126/science.185.4157.1124>
22. Egeth H., Kahneman D. Attention and effort // *The American Journal of Psychology*. 1975. V. 88. N 2. P. 339–340. <https://doi.org/10.2307/1421603>
23. Maćkowiak B., Matějka F., Wiederholt M. Dynamic rational inattention: Analytical results // *Journal of Economic Theory*. 2018. V. 176. P. 650–692. <https://doi.org/10.1016/j.jet.2018.05.001>
24. Sims C.A. Implications of rational inattention // *Journal of Monetary Economics*. 2003. V. 50. N 3. P. 665–690. [https://doi.org/10.1016/s0304-3932\(03\)00029-1](https://doi.org/10.1016/s0304-3932(03)00029-1)
25. Luo Y. Consumption dynamics under information processing constraints // *Review of Economic Dynamics*. 2008. V. 11. N 2. P. 366–385. <https://doi.org/10.1016/j.red.2007.07.003>
26. Bergstrom T.C. Evolution of social behavior: Individual and group selection // *Journal of Economic Perspectives*. 2002. V. 16. N 2. P. 67–88. <https://doi.org/10.1257/0895330027265>
27. Taborsky B. The Evolution of Social Behaviour // *Ethology*. 2021. V. 127. N 10. P. 751–757. <https://doi.org/10.1111/eth.13212>
28. Maslow A.H. Preface to motivation theory // *Psychosomatic Medicine*. 1943. V. 5. N 1. P. 85–92. <https://doi.org/10.1097/00006842-194301000-00012>
29. Mitchell A. *The Nine American Lifestyles: Who We are and where We're Going*. Scribner Book Company, 1983. 302 p.
30. Kahle L.R. *Social Values and Social Change: Adaptation to Life in America*. Praeger Publishers, 1983. 324 p.
31. Schwartz S.H. An overview of the Schwartz theory of basic values // *Online Readings in Psychology and Culture*. 2012. V. 2. N 1. <https://doi.org/10.9707/2307-0919.1116>
32. Boroel B., Aramburo V., Gonzalez M. Development of a scale to measure attitudes toward professional values: An analysis of dimensionality using Rasch measurement // *Procedia — Social and Behavioral Sciences*. 2017. V. 237. P. 292–298. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2017.02.079>
33. Gawel J.E. Herzberg's theory of motivation and Maslow's hierarchy of needs // *Practical Assessment, Research, and Evaluation*. 1996. V. 5. P. 11. <https://doi.org/10.7275/31qy-ea53>
34. Lester D., Hvezda J., Sullivan Sh., Plourde R. Maslow's hierarchy of needs and psychological health // *The Journal of General Psychology*. 1983. V. 109. N 1. P. 83–85. <https://doi.org/10.1080/00221309.1983.9711513>
35. Wilson S.R., Mihalcea R., Boyd R.L., Pennebaker J.W. Cultural influences on the measurement of personal values through words // *AAAI Spring Symposia*. 2016.
36. Inglehart R. et al. *World Values Survey*. 2005.
13. Jeffrey H.J., Putman A.O. The irrationality illusion: A new paradigm for economics and behavioral economics. *Journal of Behavioral Finance*, 2013, vol. 14, no. 3, pp. 161–194. <https://doi.org/10.1080/15427560.2013.790388>
14. Poole K.B. *Adaptability and Decision Making under Stress in the Workplace*. A thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Arts in Psychology. Middle Tennessee State University, 2018. 66 p.
15. Yilmaz S., Kafadar H. Decision-making under stress: Executive functions, analytical intelligence, somatic markers, and personality traits in young adults. *Applied Neuropsychology: Adult*, 2022. <https://doi.org/10.1080/23279095.2022.2122829>
16. Pope J., Hein M., Russell M.A., Burkholder Ch. A Continuation of research: Student decision making under stress in a flight control center simulation. *Proc. of the 20th International Symposium on Aviation Psychology (ISAP)*, 2019, pp. 91–96.
17. Coleman J.S., Farraro Th.J. *Rational Choice Theory: Advocacy and Critique*. SAGE Publications, 1992, 232 p.
18. Behavioral Economics. *Great Russian Encyclopedia*. Available at: <https://old.bigenc.ru/economics/text/3147419> (accessed: 19.10.2022). (in Russian)
19. Kahneman D., Knetsch J.L., Thaler R.H. Fairness and the assumptions of economics. *The Journal of Business*, 1986, vol. 59, no. S4, pp. S285. <https://doi.org/10.1086/296367>
20. Kahneman D., Tversky A. Prospect theory: An analysis of decision under risk. *Handbook of the fundamentals of financial decision making: Part I. World Scientific*, 2013, pp. 99–127. https://doi.org/10.1142/9789814417358_0006
21. Tversky A., Kahneman D. Judgment under uncertainty: Heuristics and biases. *Science*, 1974, vol. 185, no. 4157, pp. 1124–1131. <https://doi.org/10.1126/science.185.4157.1124>
22. Egeth H., Kahneman D. Attention and effort. *The American Journal of Psychology*, 1975, vol. 88, no. 2, pp. 339–340. <https://doi.org/10.2307/1421603>
23. Maćkowiak B., Matějka F., Wiederholt M. Dynamic rational inattention: Analytical results. *Journal of Economic Theory*, 2018, vol. 176, pp. 650–692. <https://doi.org/10.1016/j.jet.2018.05.001>
24. Sims C.A. Implications of rational inattention. *Journal of Monetary Economics*, 2003, vol. 50, no. 3, pp. 665–690. [https://doi.org/10.1016/s0304-3932\(03\)00029-1](https://doi.org/10.1016/s0304-3932(03)00029-1)
25. Luo Y. Consumption dynamics under information processing constraints. *Review of Economic Dynamics*, 2008, vol. 11, no. 2, pp. 366–385. <https://doi.org/10.1016/j.red.2007.07.003>
26. Bergstrom T.C. Evolution of social behavior: Individual and group selection. *Journal of Economic Perspectives*, 2002, vol. 16, no. 2, pp. 67–88. <https://doi.org/10.1257/0895330027265>
27. Taborsky B. The Evolution of Social Behaviour. *Ethology*, 2021, vol. 127, no. 10, pp. 751–757. <https://doi.org/10.1111/eth.13212>
28. Maslow A.H. Preface to motivation theory. *Psychosomatic Medicine*, 1943, vol. 5, no. 1, pp. 85–92. <https://doi.org/10.1097/00006842-194301000-00012>
29. Mitchell A. *The Nine American Lifestyles: Who We are and where We're Going*. Scribner Book Company, 1983, 302 p.
30. Kahle L.R. *Social Values and Social Change: Adaptation to Life in America*. Praeger Publishers, 1983, 324 p.
31. Schwartz S.H. An overview of the Schwartz theory of basic values. *Online Readings in Psychology and Culture*, 2012, vol. 2, no. 1. <https://doi.org/10.9707/2307-0919.1116>
32. Boroel B., Aramburo V., Gonzalez M. Development of a scale to measure attitudes toward professional values: An analysis of dimensionality using Rasch measurement. *Procedia — Social and Behavioral Sciences*, 2017, vol. 237, pp. 292–298. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2017.02.079>
33. Gawel J.E. Herzberg's theory of motivation and Maslow's hierarchy of needs. *Practical Assessment, Research, and Evaluation*, 1996, vol. 5, pp. 11. <https://doi.org/10.7275/31qy-ea53>
34. Lester D., Hvezda J., Sullivan Sh., Plourde R. Maslow's hierarchy of needs and psychological health. *The Journal of General Psychology*, 1983, vol. 109, no. 1, pp. 83–85. <https://doi.org/10.1080/00221309.1983.9711513>
35. Wilson S.R., Mihalcea R., Boyd R.L., Pennebaker J.W. Cultural influences on the measurement of personal values through words. *AAAI Spring Symposia*, 2016.
36. Inglehart R. et al. *World Values Survey*. 2005.

37. Инглхарт Р. Постмодерн: меняющиеся ценности и изменяющиеся общества // Полис. Политические исследования. 1997. № 4. С. 6–32.
38. Maćkowiak B., Matějka F., Wiederholt M. Rational Inattention: A Review. ECB Working Paper, 2021.
39. Usher M., Tsetsos K., Yu E.C., Lagnado D.A. Dynamics of decision-making: From evidence accumulation to preference and belief // *Frontiers in Psychology*. 2013. V. 4. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2013.00758>
40. Poltawski L., van Beurden S.B., Morgan-Trimmer S., Greaves C. The dynamics of decision-making in weight loss and maintenance: A qualitative enquiry // *BMC Public Health*. 2020. V. 20. N 1. P. 573. <https://doi.org/10.1186/s12889-020-08664-y>
41. Negre E., Arru M., Rosenthal-Sabroux C. Toward a modeling of population behaviors in crisis situations // *How Information Systems Can Help in Alarm/Alert Detection*. Elsevier, 2018. P. 199–218. <https://doi.org/10.1016/b978-1-78548-302-8.50007-1>
42. De Silva L., Meneguzzi F.R., Logan B. BDI agent architectures: A survey // *Proc. of the 29th International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI)*. 2020. P. 4914–4921. <https://doi.org/10.24963/ijcai.2020/684>
43. Rao A.S., Georgeff M.P. BDI agents: from theory to practice // *Proc. of the First International Conference on Multiagent Systems*. 1995. P. 312–319.
44. Lin C.-E., Kavi K.M., Sheldon F.T., Daley K.M., Abercrombie R.K. A methodology to evaluate agent oriented software engineering techniques // *Proc. of the 40th Annual Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS'07)*. 2007. P. 60. <https://doi.org/10.1109/hicss.2007.20>
45. Puica M.-A., Florea A.-M. Emotional belief-desire-intention agent model: Previous work and proposed architecture // *International Journal of Advanced Research in Artificial Intelligence*. 2013. V. 2. N 2. <https://doi.org/10.14569/ijarai.2013.020201>
46. Pereira D., Oliveira E., Moreira N. Modelling Emotional BDI Agents // *Proc. of the Formal Approaches to Multiagent Systems (FAMAS) Workshop*. 2006.
47. Van Dyke Parunak H., Bisson R., Brueckner S., Matthews R., Sauter J. A model of emotions for situated agents // *Proc. of the fifth International Joint Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems (AAMAS'06)*. 2006. P. 993–995. <https://doi.org/10.1145/1160633.1160810>
48. Jiang H., Vidal J.M., Huhns M.N. EBDI: An architecture for emotional agents // *Proc. of the 6th International Joint Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems (AAMAS'07)*. 2007. P. 38–40. <https://doi.org/10.1145/1329125.1329139>
49. Jones H., Saunier J., Lourdeaux D. Personality, emotions and physiology in a BDI agent architecture: The PEP→BDI model // *Proc. of the IEEE/WIC/ACM International Conference on Intelligent Agent Technology (IAT 2009)*. V. 2. 2009. P. 263–266. <https://doi.org/10.1109/wi-iat.2009.160>
50. Hernández D.J., Deniz Ó., Lorenzo J., Hernández M. BDIE: A BDI like architecture with emotional capabilities // *AAAI Spring Symposium — Technical Report*. 2004. V. 2. P. 60–67.
51. Allais M. The so-called allais paradox and rational decisions under uncertainty // *Expected Utility Hypotheses and the Allais Paradox*. 1979. P. 437–681. https://doi.org/10.1007/978-94-015-7629-1_17
52. Beresford B., Sloper P. Understanding the dynamics of decision-making and choice: A scoping study of key psychological theories to inform the design and analysis of the panel study. Social Policy Research Unit, University of York York, 2008.
37. Inglehart R. Postmodernity: Changing values and changing societies. *Polis. Politicheskie issledovaniya*, 1997, no. 4, pp. 6–32. (in Russian)
38. Maćkowiak B., Matějka F., Wiederholt M. *Rational Inattention: A Review*. ECB Working Paper, 2021.
39. Usher M., Tsetsos K., Yu E.C., Lagnado D.A. Dynamics of decision-making: From evidence accumulation to preference and belief. *Frontiers in Psychology*, 2013, vol. 4. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2013.00758>
40. Poltawski L., van Beurden S.B., Morgan-Trimmer S., Greaves C. The dynamics of decision-making in weight loss and maintenance: A qualitative enquiry. *BMC Public Health*, 2020, vol. 20, no. 1, pp. 573. <https://doi.org/10.1186/s12889-020-08664-y>
41. Negre E., Arru M., Rosenthal-Sabroux C. Toward a modeling of population behaviors in crisis situations. *How Information Systems Can Help in Alarm/Alert Detection*, Elsevier, 2018, pp. 199–218. <https://doi.org/10.1016/b978-1-78548-302-8.50007-1>
42. De Silva L., Meneguzzi F.R., Logan B. BDI agent architectures: A survey. *Proc. of the 29th International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI)*, 2020, pp. 4914–4921. <https://doi.org/10.24963/ijcai.2020/684>
43. Rao A.S., Georgeff M.P. BDI agents: from theory to practice. *Proc. of the First International Conference on Multiagent Systems*, 1995, pp. 312–319.
44. Lin C.-E., Kavi K.M., Sheldon F.T., Daley K.M., Abercrombie R.K. A methodology to evaluate agent oriented software engineering techniques. *Proc. of the 40th Annual Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS'07)*, 2007, pp. 60. <https://doi.org/10.1109/hicss.2007.20>
45. Puica M.-A., Florea A.-M. Emotional belief-desire-intention agent model: Previous work and proposed architecture. *International Journal of Advanced Research in Artificial Intelligence*, 2013, vol. 2, no. 2. <https://doi.org/10.14569/ijarai.2013.020201>
46. Pereira D., Oliveira E., Moreira N. Modelling Emotional BDI Agents. *Proc. of the Formal Approaches to Multiagent Systems (FAMAS) Workshop*, 2006.
47. Van Dyke Parunak H., Bisson R., Brueckner S., Matthews R., Sauter J. A model of emotions for situated agents. *Proc. of the fifth International Joint Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems (AAMAS '06)*, 2006, pp. 993–995. <https://doi.org/10.1145/1160633.1160810>
48. Jiang H., Vidal J.M., Huhns M.N. EBDI: An architecture for emotional agents. *Proc. of the 6th International Joint Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems (AAMAS'07)*, 2007, pp. 38–40. <https://doi.org/10.1145/1329125.1329139>
49. Jones H., Saunier J., Lourdeaux D. Personality, emotions and physiology in a BDI agent architecture: The PEP→BDI model. *Proc. of the IEEE/WIC/ACM International Conference on Intelligent Agent Technology (IAT 2009)*. V. 2, 2009, pp. 263–266. <https://doi.org/10.1109/wi-iat.2009.160>
50. Hernández D.J., Deniz Ó., Lorenzo J., Hernández M. BDIE: A BDI like architecture with emotional capabilities. *AAAI Spring Symposium — Technical Report*, 2004, vol. 2, pp. 60–67.
51. Allais M. The so-called allais paradox and rational decisions under uncertainty. *Expected Utility Hypotheses and the Allais Paradox*, 1979, pp. 437–681. https://doi.org/10.1007/978-94-015-7629-1_17
52. Beresford B., Sloper P. *Understanding the dynamics of decision-making and choice: A scoping study of key psychological theories to inform the design and analysis of the panel study*. Social Policy Research Unit, University of York York, 2008.

Авторы

Гулева Валентина Юрьевна — кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация, <https://orcid.org/0000-0002-1555-9371>, guleva@itmo.ru

Кованцев Антон Николаевич — инженер, Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация, <https://orcid.org/0000-0003-1765-7001>, ankovantcev@itmo.ru

Суриков Анатолий Георгиевич — кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация, <https://orcid.org/0000-0003-4411-271X>, anatoliy.surikov@itmo.ru

Authors

Valentina Yu. Guleva — PhD, Senior Researcher, ITMO University, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-1555-9371>, guleva@itmo.ru

Anton N. Kovatsev — Engineer, ITMO University, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0003-1765-7001>, ankovantcev@itmo.ru

Anatoly G. Surikov — PhD, Senior Researcher, ITMO University, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0003-4411-271X>, anatoliy.surikov@itmo.ru

Чунаев Пётр Владимирович — кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник, Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация,  36522457300, <https://orcid.org/0000-0001-8169-8436>, chunaev@itmo.ru

Горнова Галина Владимировна — доктор философских наук, доцент, Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация,  57204463579, <https://orcid.org/0000-0002-6615-0701>, gornova@itmo.ru

Бухановский Александр Валерьевич — доктор технических наук, профессор, Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация,  6603474810, <https://orcid.org/0000-0003-1588-8164>, avbukhanovskii@itmo.ru

Petr V. Chunaev — PhD (Physics & Mathematics), Senior Researcher, ITMO University, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation,  36522457300, <https://orcid.org/0000-0001-8169-8436>, chunaev@itmo.ru

Galina V. Gornova — D.Sc. (Philosophy), Associate Professor, ITMO University, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation,  57204463579, <https://orcid.org/0000-0002-6615-0701>, gornova@itmo.ru

Alexander V. Boukhanovskiy — D.Sc., Professor, ITMO University, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation,  6603474810, <https://orcid.org/0000-0003-1588-8164>, avbukhanovskii@itmo.ru

Статья поступила в редакцию 11.10.2022
Одобрена после рецензирования 12.12.2022
Принята к печати 31.01.2023

Received 11.10.2022
Approved after reviewing 12.12.2022
Accepted 31.01.2023



Работа доступна по лицензии
Creative Commons
«Attribution-NonCommercial»