

На правах рукописи

ДЕРЕВЯНКИНА ПОЛИНА ОЛЕГОВНА

**УПРАВЛЕНИЕ СБЕРЕЖЕНИЯМИ ДОМОХОЗЯЙСТВ
С УЧЕТОМ ИХ РАСПРЕДЕЛЕННОГО ХАРАКТЕРА
(НА ПРИМЕРЕ ПЕРМСКОГО КРАЯ)**

05.13.10 – Управление в социальных и экономических системах

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Пермь, 2021 г.

Работа выполнена в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет».

Научный руководитель **Владимирова Дарья Борисовна**
кандидат физико-математических наук, доцент

Официальные оппоненты: **Кетова Каролина Вячеславовна**
доктор физико-математических наук, профессор,
профессор кафедры «Прикладная математика и
информационные технологии» Федерального
государственного бюджетного образовательного
учреждения высшего образования «Ижевский
государственный технический университет имени
М.Т. Калашникова»

Левин Илья Сергеевич
кандидат технических наук,
доцент кафедры «Автоматика и управление в
технических системах» Федерального государственного
бюджетного образовательного учреждения высшего
образования «Самарский государственный технический
университет»

Ведущая организация Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Пермский государственный национальный
исследовательский университет».

Защита состоится «30» июня 2021 г. в : на заседании диссертационного совета Пермского национального исследовательского политехнического университета Д ПНИПУ.05.01 по адресу: 614990, г. Пермь, ул. Комсомольский проспект, 29, ауд. 345.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке и на сайте ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» (сайт <https://pstu.ru>).

Автореферат разослан

Ученый секретарь
диссертационного совета Д ПНИПУ.05.01,
кандидат экономических наук, доцент

А.О. Алексеев

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. В настоящее время в России доля домохозяйств, придерживающихся сберегательной финансовой стратегии, крайне мала, инвестиционная активность населения – низкая. Вместе с тем в Стратегии социально-экономического развития России на период 2018–2024 гг. именно сбережения населения, трансформированные в инвестиции, указаны в качестве единственного потенциально доступного и достаточного источника восполнения дефицита долгосрочных финансовых ресурсов национальной экономической системы, необходимых для обеспечения расширенного воспроизводства и выхода на траекторию устойчивого развития.

Таким образом, актуальной задачей государственного регулирования сбережений в России и ее регионах является активизация инвестиционно-сберегательного поведения населения с целью сокращения доли несберегателей и повышения финансовой инклюзии домохозяйств. Роль двигателя в этом процессе играет средний класс общества, который, обладая развитым человеческим капиталом, чувством ответственности, стремлением к улучшению собственного благосостояния, навыками рационального мышления, финансового планирования, является, с одной стороны, типажом теоретических моделей сберегательного поведения, а с другой, может реализовывать трансляцию освоенных им новых практик нижним слоям общества.

Анализ сберегательного поведения населения, находящегося в сложном взаимодействии со всеми сферами жизни общества, чрезвычайно важен как для установления общих закономерностей его развития, так и для планирования и разработки фискальной, социальной, инвестиционной политики, политики пенсионного обеспечения и экономического роста. Поэтому в решении проблемы стимулирования сберегательного поведения населения необходимо опираться на комплексный подход, который имеет единую программу целевых ориентиров, учитывающую набор установленных взаимосвязей элементов функционирования экономической системы. Однако пока тематика процесса управления сбережениями домохозяйств является фрагментарно изученной, методы количественного измерения сбережений ограничиваются рассмотрением сосредоточенных показателей, при этом игнорируются качественные характеристики их структуры, слабо развиты методы управления по целям, учитывающие комплекс влияющих факторов экономической среды.

Недостаточная теоретическая проработанность этого вопроса и его высокая практическая значимость подтверждают актуальность выбранной темы научного исследования.

Степень разработанности темы исследования. Изучение тематики оценки сбережений населения, как характеристик уровня жизни, прослеживается в трудах Е.В. Авраамовой, Ю.Н. Иванова, Е.А. Ломова, А.В. Луценко, С.А. Николаенко, Н.М. Римашевской, Л.Ю. Рыжановской, Т.В. Черновой, J. Späth, K.D. Schmid, Y. Kitamura, N. Takayama, L.I. Anita, M. Jäntti, E. Sierminska, R. Ruggles и др.

В теории сберегательного поведения основополагающими стали концепции абсолютного дохода Дж. Кейнса (J. Keynes), перманентного дохода М. Фридмана (M. Friedman) и жизненного цикла Ф. Модильяни (F. Modigliani). Позднее появились эмпирические работы, которые в основном фокусируют свое внимание на изучении влияния различных социально-экономических факторов на сбережения населения: F. Hüfner, I. Koske, G. Hondroyiannis, O. Bandiera, G. Caprio, О.А. Козлова, Е.Х. Тухтарова, М.Ю. Малкина, И.Ю. Храмова, А.Я. Бурдяк, Д.Х. Ибрагимова и пр. Особенности финансового поведения российского среднего класса исследовали Л. Григорьев, А. Салмина, О. Кузина, М.К. Горшков, Н.Е. Тихонова. Проблему государственного стимулирования сбережений и условия их трансформации в инвестиции исследовали O. Attanasio, R. Shiller, M. Sarma, А.Е. Абрамова, Ю.А. Данилов, О.Д. Буклемишев, М.А. Мосесян, Э.В. Пешина, Н.А. Истомина, А.П. Анкудинова.

Особо стоит выделить ряд ученых, занимавшихся математическим моделированием сбережений. В работах Д.С. Чернавского впервые была построена модель структуры общества по сбережениям: плотность вероятности распределения населения по накоплениям описана с помощью уравнения Фоккера-Планка-Колмогорова, также были произведены расчеты модели для СССР и России в годы застоя и оценены бифуркационные значения параметров. Модификация модели типологии семейных накоплений была предложена в работе Е.В. Крысовой. В.Т. Ерофеев, И.С. Козловской было получено параболическое уравнение плотности ансамбля семей по накоплениям и сформулированы смешанные задачи. Вопросами применения к ним спектральных методов занимались Г.А. Гюльмамедова, Э.Г. Оружиев. Следующим шагом было распространение подхода В.Т. Ерофеев, И.С. Козловской для моделирования различных процессов.

Тем не менее вопросы математического обеспечения задач оптимального управления распределением домохозяйств по размеру сбережений, как распределенной системой, не изучались. Весомый вклад в развитие теории оптимального управления системами с распределенными параметрами внесли Ж.-Л. Лионс, А.Г. Бутковский, А.И. Егоров, В.И. Иваненко, А.В. Фурсиков, Э.Я. Рапопорт, Т.К. Сиразетдинов, В.П. Первадчук, Д.Б. Владимирова и другие.

Таким образом, ранее не проводились комплексные исследования в области моделирования процесса управления сберегательным поведением населения, позволяющие совершенствовать механизмы принятия решений с учетом взаимосвязи с экономической средой.

Объект исследования – система управления сбережениями домохозяйств (на примере Пермского края).

Предмет исследования – математические модели и методы оптимального управления сбережениями домохозяйств.

Цель исследования – поиск научно-обоснованных способов повышения инвестиционной и сберегательной активности домохозяйств за счет разработки

механизмов управления сбережениями граждан на основе методов оптимального управления системами с распределенными параметрами.

Задачи исследования:

1. Сформулировать математическую постановку задачи оптимального управления распределением домохозяйств по размеру сбережений для формализации проблемы государственного регулирования сбережений.

2. Предложить подход к управлению сбережениями домохозяйств, основанный на получении необходимых условий оптимальности в сильной форме, для получения количественных оценок управляющих воздействий на сберегательное поведение населения.

3. Разработать и апробировать на примере Пермского края специальное математическое и программное обеспечение системы поддержки принятия решений, реализующее связь между оптимальным законом изменения доли несберегателей и значимыми социально-экономическими факторами для комплексного анализа и решения проблемы регулирования уровня сбережений в регионе.

Методы исследования. В работе применялись методы математического моделирования, теории дифференциальных уравнений в частных производных, теории оптимального управления системами с распределенными параметрами, численные методы, методы корреляционно-регрессионного и экономического анализа.

Информационную базу исследования составили официальные документы Федеральной службы государственной статистики (по РФ и по Пермскому краю), аналитические данные Банка России, материалы «Российского мониторинга экономического положения и здоровья населения» (RLMS HSE).

Положения, выносимые на защиту, обладающие научной новизной:

1. Впервые **сформулирована и математически поставлена задача** управления сбережениями домохозяйств как задача оптимального управления системами с распределенными параметрами, которая является корректной в силу свойств целевого функционала и позволяет формализовать проблему государственного регулирования сбережений (*п.2 паспорта специальности 05.13.10 – разработка методов формализации и постановка задач управления в социальных и экономических системах*).

2. Предложен **новый подход** к управлению сбережениями, основанный на законе изменения доли несберегателей во времени, найденном в явной форме, и решении системы оптимальности, определяющей необходимые условия достижения экстремума. Количественный анализ взаимосвязи между найденной оптимальной траекторией изменения доли несберегателей во времени и доступными для регулирования социально-экономическими факторами позволяет выработать набор управленческих решений и мероприятий для стимулирования инвестиционно-сберегательного поведения (*п.4 паспорта специальности 05.13.10 – разработка методов и алгоритмов*

решения задач управления и принятия решений в социальных и экономических системах).

3. Разработано специальное математическое и программное обеспечение системы поддержки принятия решений (СППР) в задаче повышения инвестиционно-сберегательной активности населения, основанное на предложенном подходе и отличающееся учетом закономерностей между доходами населения, ВРП и объемом инвестиций. СППР позволяет выделять целевые ориентиры развития экономики региона, способствующие регулированию сбережений среднего класса и получить количественную оценку взаимосвязи доли несберегателей и перечисленных показателей (*п.5 и п.10 паспорта специальности 05.13.10: разработка специального математического и программного обеспечения систем управления и механизмов принятия решений в социальных и экономических системах; разработка методов и алгоритмов интеллектуальной поддержки принятия управленческих решений в экономических и социальных системах).*

Теоретическая и практическая значимость. Результаты работы являются и теоретически, и практически значимыми.

Теоретическую ценность имеют формулировки постановок оптимизационных задач, их необходимые условия разрешимости в форме оптимизационных систем и явные представления оптимальных управляющих воздействий граничного и распределенного типов, которые используются в образовательном процессе по дисциплине «Теория оптимального управления».

Показана возможность применения теории оптимального управления системами с распределенными параметрами в задаче регулирования сбережений домохозяйств. Исследование сведено к решению задач оптимального управления различного типа: управление долей несберегателей (граничное управление) и управление потоком домохозяйств, мигрирующих между рассматриваемыми кластерами общества (распределенное управление). Это открывает новое направление для исследования связей между социально-экономическими факторами и структурой общества по сбережениям.

Практической ценностью работы является возможность получения не только количественных оценок оптимальных управляющих воздействий (доли несберегателей и др.), но и связанных с ними социально-экономических факторов (доходы населения, ВРП, объем инвестиций). Выявлено, что особую значимость в этом аспекте имеет привлечение сбережений населения на индивидуальные инвестиционные счета (ИИС). Так, для Пермского края показано, что как минимум 6% необходимого прироста объема инвестиций можно обеспечить за счет привлечения средств на ИИС.

Разработанные методика и прототип проблемно-ориентированной СППР внедрены в деятельность Центра прикладной экономики НИУ ВШЭ-Пермь, а также могут представлять интерес для органов законодательной и исполнительной власти, аналитических центров федерального и регионального уровней в вопросах разработки стратегий развития территорий, анализа совершенствования социально-экономической политики, политики

стимулирования сбережений и инвестиций, налоговой политики и политики пенсионного обеспечения. Полученные результаты для задачи регулирования сбережений среднего класса Пермского края являются важными для экономического развития Пермского края и внедрены в деятельность Министерства экономического развития и инвестиций Пермского края.

Степень достоверности и апробация результатов. Достоверность научных положений обеспечивается корректностью математической постановки задач, строгостью применяемых общепризнанных математических методов их исследования, непротиворечивостью общеизвестным положениям теории развития экономических систем и теории управления ими, а также результатами численного моделирования с использованием реальных данных.

Основные положения диссертационного исследования обсуждались на Международной конференции «Инновационные процессы в исследовательской и образовательной деятельности» (г. Пермь, 2016 г.), на VIII Всероссийской научно-практической конференции научных, научно-педагогических работников и аспирантов «Управление в современных системах» (г. Челябинск, 2018 г.), на VI Международной научной конференции, посвященной памяти Б.А. Рогозина «Математическое и компьютерное моделирование» (г. Омск, 2018 г.), на Международной мультидисциплинарной конференции «Far East Con – 2019» (г. Владивосток, 2019 г.), на Международной научно-практической конференции «Актуальные задачи математического моделирования и информационных технологий АЗММиИТ-2020» (г. Сочи, 2020 г.), а также на научных семинарах кафедры «Прикладная математика».

По теме диссертации опубликовано 11 работ, из которых 5 публикаций в изданиях, включенных в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук, 1 статья в издании, включенном в международную базу цитирования Scopus, 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Структура работы. Диссертация содержит введение, четыре главы, заключение, список литературных источников из 126 наименований и 6 приложений. Текст диссертации изложен на 128 страницах, содержит 43 рисунка и 6 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы исследования, сформулированы его цель и задачи, а также научная новизна, теоретическая и практическая значимость.

В главе 1 рассматриваются вопросы государственного регулирования сбережений домохозяйств. Эти задачи предложено формализовать с помощью математических моделей оптимального управления распределенной системой – дифференциацией населения по размеру сбережений, которая является одной из комплексных характеристик экономической структуры общества.

В развитых странах структура такого типа распределения достаточно равномерна. В России она бимодальна и характеризуется низким удельным весом сбережений среднего класса в общем объеме сбережений и высокой долей несберегателей: потребительской (т.е. несберегательной) модели финансового поведения придерживается порядка 80% домохозяйств, при этом среди сберегателей доля домохозяйств, использующих инвестиционные инструменты, составляет всего 2%. Для количественной оценки дифференциации домохозяйств по размеру сбережений использовалась динамическая модель Ерофеев В.Т., Козловской И.С. Она представляет собой начально-краевую задачу для дифференциального уравнения в частных производных параболического типа:

$$\begin{cases} \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(F(x,t) \cdot u(x,t)) - \frac{1}{2} \frac{\partial^2}{\partial x^2}(b \cdot u(x,t)) = f(x,t), \\ u(x,0) = u_{start}(x), \\ u(0,t) = u_0(t), \\ u(L,t) = u_L(t). \end{cases} \quad (1)$$

В (1): x – сбережения ($x \in [0, L]$), t – время ($t \in [0, \tau]$), искомая функция $u(x, t)$ означает долю домохозяйств со сбережениями от x до $x + \Delta x$ в момент времени t (т.е. плотность распределения ансамбля семей по сбережениям), b – диффузия винеровского процесса, моделирующего неопределенность системы, $F(x, t)$ – скорость изменения сбережений домохозяйств, u_0 – доля домохозяйств-несберегателей, u_L – доля домохозяйств со сбережениями L , u_{start} – распределение домохозяйств по размеру сбережений в начальный момент времени, $f(x, t)$ – функция притока домохозяйств в кластер.

Пусть в стратегии развития региона или государства определена желаемая дифференциация домохозяйств по размеру сбережений $u^*(x, t)$. Тогда задача достижения заданного целевого распределения мерами политики активизации сберегательного поведения населения и снижения доли несберегателей $u(0, t)$ может быть сформулирована в виде задачи оптимального управления распределенной системой (1), которая заключается в следующем.

Необходимо отыскать такой закон изменения доли несберегателей во времени $upr(t) = u(0, t)$, который бы обеспечил максимальное приближение распределения домохозяйств по размеру сбережений к заданному целевому распределению $u^*(x, t)$, т.е. минимизацию функционала:

$$J(u, upr) = \int_0^\tau \int_0^L (u(x, t) - u^*(x, t))^2 dx dt + \alpha \int_0^\tau upr^2(t) dt \rightarrow \min, \quad (2)$$

где α – некоторый положительный параметр, называемый ценой управления. С помощью него можно регулировать вклад второго слагаемого в значение функционала, в частности добиться, чтобы он был соизмерим с погрешностью измерения значения исследуемой функции u . Задача оптимального граничного

управления (1), (2) имеет решение в силу свойств непрерывности, выпуклости и коэрцитивности функционала (2).

Таким образом, проблема государственного регулирования сбережений может быть описана задачей управления дифференциацией населения по сбережениям как комплексной характеристикой социально-экономического состояния общества с помощью математического аппарата теории оптимального управления системами с распределенными параметрами.

Глава 2 посвящена разработке подхода к решению задач управления сбережениями с учетом их распределенного характера, включающего математическое обеспечение, а также основанную на нем методологию решения.

Получение необходимых условий разрешимости задачи оптимизации (1)-(2) и явной формулы для нахождения оптимального управляющего воздействия основано на модифицированном принципе Лагранжа. Согласно нему необходимым условием экстремума функционала (2) является равенство нулю его первой вариации (на оптимальном элементе upr_o):

$$\delta J(u, upr_o) = 0, \quad (3)$$

что в данном случае равносильно условию:

$$\int_0^L \int_0^\tau (u(x,t) - u^*(x,t)) \cdot \dot{\tilde{u}}(x,t) dx dt + \alpha \int_0^\tau upr_o \cdot \delta upr dt = 0, \quad (4)$$

где δupr – вариация управления, $\dot{\tilde{u}}(x,t)$ – вариация решения.

Проварьируем начально-краевую задачу (1). Ее уравнение состояния после умножения на некоторую вспомогательную функцию $p(x,t)$, интегрирования по области $\Omega_t = [0, L] \times [0, \tau]$ и применения формулы Грина можно записать в виде:

$$\int_0^L p \dot{\tilde{u}}|_{t=\tau} dx - \int_{\Omega_t} \dot{\tilde{u}} \cdot \left(\frac{\partial p}{\partial t} + F \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{1}{2} b \frac{\partial^2 p}{\partial x^2} \right) dx dt - \frac{1}{2} \int_0^\tau b p \frac{\partial \dot{\tilde{u}}}{\partial x} \Big|_0^L dt - \quad (5)$$

$$- \int_0^\tau \left(p F + \frac{1}{2} b \frac{\partial p}{\partial x} \right) \delta upr \Big|_{x=0} dt = 0.$$

Потребуем, чтобы функция $p(x,t)$ удовлетворяла следующим условиям, записанным в виде обратной по времени краевой задачи:

$$\begin{cases} \frac{\partial p}{\partial t} + F \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{1}{2} b \frac{\partial^2 p}{\partial x^2} = u - u^*, \\ p(x, \tau) = 0, p(0, t) = 0, p(L, t) = 0 \end{cases} \quad (6)$$

Тогда принимая во внимание (6), уравнение (5) упростится:

$$\int_{\Omega_t} (u(x,t) - u^*(x,t)) \cdot \dot{\tilde{u}}(x,t) dx dt - \int_0^\tau \delta upr \cdot \left(\frac{1}{2} b \frac{\partial p}{\partial x} \right) \Big|_{x=0} dt = 0. \quad (7)$$

Сравнивая последнее интегральное тождество (7) и выражение для первой вариации целевого функционала (4), приходим к определению закона оптимального управляющего воздействия:

$$upr_o(t) = -\frac{b}{2\alpha} \frac{\partial p}{\partial x} \Big|_{x=0}. \quad (8)$$

Необходимые условия разрешимости задачи (1), (2) представляют собой совместное решение системы дифференциальных уравнений, состоящей из прямой по времени краевой задачи для функции $u(x, t)$ и обратной по времени краевой задачи (6) для сопряженной функции $p(x, t)$ и записаны в виде оптимизационной системы (9):

$$\begin{cases} \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial(F(x) \cdot u)}{\partial x} - \frac{b}{2} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = f(x, t), \\ u(x, 0) = u_{start}, u(0, t) = -\frac{b}{2\alpha} \cdot \frac{\partial p}{\partial x} \Big|_{x=0}, u(L, t) = u_L, \\ \frac{\partial p}{\partial t} + F(x) \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{b}{2} \frac{\partial^2 p}{\partial x^2} = u - u^*, \\ p(x, \tau) = 0, p(0, t) = 0, p(L, t) = 0. \end{cases} \quad (9)$$

Система (1) является линейной по функции управления, а функционал (2) является выпуклым, поэтому система оптимальности (9) является также достаточным условием экстремума.

Методика получения количественных оценок управляющих воздействий на структуру сбережений, основанная на полученной системе оптимальности, состоит из четырех основных этапов.

Этап 1. Анализ сбережений домохозяйств в регионе.

Проводится общий анализ состояния социально-экономического развития региона, рассматриваются характеризующие уровень жизни населения показатели доходов, расходов и сбережений домохозяйств. Дополняет существующую систему показателей текущая дифференциация домохозяйств по сбережениям.

Шаг 1.1. Определение параметров математической модели

Для оценки параметров модели (1) используются модифицированный подход Д.С. Чернавского. Согласно нему функция скорости изменения сбережений задается следующей формулой в безразмерной форме (за единицу сбережений принята величина прожиточного минимума, означающая полублагополучное существование семьи, за единицу времени – величина оборота денег в семье – 1 месяц):

$$F(x, t) = \left(1 - k \cdot \Theta(\tilde{P}, 1)\right) \cdot \tilde{P} - \frac{x}{x+1} - B \cdot x \cdot \Theta(x, x_1),$$

где $\tilde{P}(x, t) = z(t) - A \cdot x \cdot \Theta(x, x_2)$, $\Theta(x, y) = x^8 (x^8 + y^8)^{-1}$, $z = z(t)$ – функция среднего дохода, $x_1 = x_1(t)$, $x_2 = x_2(t)$ – функции минимальной и средней цен элитарных товаров соответственно, k – коэффициент предельного

налогообложения, A – склонность к риску, B – максимальная доля повседневных расходов, обеспечивающих благополучие семьи в общем объеме сбережений. По статистическим данным определяются функции z , f , а также величина максимальных сбережений L . По экспертным оценкам определяются x_1 , x_2 , b , A , B . Временные ряды корректируются на темп инфляции. Динамика изменения доли несберегателей $u_0(t)$ определяется по данным социологических опросов по финансовому обследованию домохозяйств.

Шаг 1.2. *Получение количественных характеристик дифференциации домохозяйств по сбережениям*

Строится текущая дифференциация населения по размеру сбережений как численное решение прямой задачи (1) и анализируются его количественные характеристики. Оно принимается за начальное u_{start} (для задачи управления).

Этап 2. *Определение целей развития региона в области частных сбережений.*

Исходя из стратегии развития рассматриваемой экономической системы, определяются вид и количественные характеристики целевого распределения домохозяйств по размеру сбережений (соотношения размеров сбережений и их частоты), строится целевая функция u^* (аппроксимируется параболической функцией). Задача достижения целевого распределения домохозяйств по сбережениям за счет повышения сберегательной активности и снижения доли домохозяйств-несберегателей формализуется в виде задачи оптимального граничного управления (1), (2).

Этап 3. *Определение оптимальных управляющих воздействий на дифференциацию домохозяйств по размеру сбережений.*

Численно решается оптимизационная система (9), к которой была сведена задача оптимального управления (1), (2), после чего вычисляется оптимальное управляющее воздействие по явной формуле (8).

Этап 4. *Оценка социально-экономических факторов*

Для оценки экономических эффектов от оптимального изменения доли несберегателей осуществляется идентификация взаимосвязанных социально-экономических факторов и проводится корреляционно-регрессионный анализ оценки этих взаимосвязей на основе ретроспективной статистической информации. По полученным зависимостям определяются целевые ориентиры показателей развития рассматриваемой экономической системы. В случае получения вполне достижимых целевых показателей, выдвигаются предложения по их реализации в виде рекомендаций политики стимулирования сберегательного поведения населения.

Сформулированный подход позволяет исходя из желаемого распределения домохозяйств по сбережениям, как комплексной характеристики экономической структуры общества, получить количественные оценки целевых ориентиров развития экономической системы и выстраивать стратегии для их достижения.

В главе 3 описана разработка СППР, реализующей предложенный подход с использованием вычислительных сред Matlab и Comsol Multiphysics.

СППР содержит пять функциональных модулей.

1) Главный файл «*Savings.mlapp*» разработан в конструкторе приложений Matlab App Designer и обеспечивает ввод параметров и вывод результатов моделирования, а также вызывает расчетные модули.

Расчетные модули реализованы как Matlab-функции:

2) расчетный модуль «*direct.m*» производит расчет динамики распределения населения по сбережениям;

3) расчетный модуль «*aim.m*» производит визуализацию текущего и целевого распределений по сбережениям;

4) основной расчетный модуль «*control.m*» производит расчет системы оптимальности методом конечных элементов в Comsol Multiphysics, обращаясь к нему через LiveLink.

Разработанная comsol-модель с помощью интерфейса группы «Математика» (Mathematics, PDE Interfaces) реализует итерационный процесс решения системы (9). На каждой итерации чередуются решение системы (1) (с учетом оптимального закона (8)) относительно искомой функции $u(x, t)$ и системы (6) относительно сопряженной функции $p(x, t)$. При этом на нечетных итерациях функция $p(x, t)$, а на четных – функция $u(x, t)$ берутся из предыдущих итераций. Программа «Расчет оптимальных управляющих воздействий на динамику денежных сбережений населения региона с учетом их распределенного характера» зарегистрирована Федеральной службой по интеллектуальной собственности.

5) расчетный модуль «*plan.m*» вычисляет и визуализирует планы изменения экономических показателей, соответствующих изменению доли несберегателей.

Пользовательский интерфейс приложения изображен на рисунке 1.

В блоке «Данные»

необходимо ввести следующие значения:

- текущий год;
- средний доход (в рублях);
- прожиточный минимум (в рублях);
- инфляция (в % к предыдущему году);
- доля несберегателей для текущего года (в %).

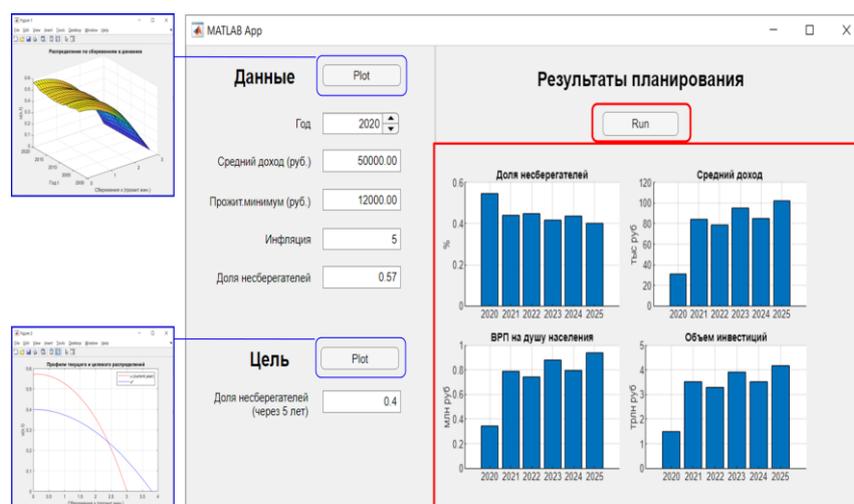


Рис. 1. Пользовательский интерфейс

По нажатию кнопки **Plot** в блоке «Данные» происходит вызов М-функции «*direct.m*», строится поверхность решения – динамика распределения сбережений, т.е. реализуется 1 этап предложенной методики.

После задания целевой доли несберегателей в блоке «Цель» по нажатию кнопки **Plot** происходит вызов М-функции «*aim.m*», строится текущее и целевое распределения сбережений – осуществляется 2 этап методики.

После этого по нажатию кнопки **Run** происходит вызов М-функций «*control.m*», «*plan.m*», визуализируются оптимальное изменение доли несберегателей (3 этап методики) и соответствующие необходимые изменения экономических характеристик (4 этап методики).

Разработанное в Matlab проблемно-ориентированное программное приложение с пользовательским интерфейсом позволяет получить количественные оценки влияния управляющих воздействий на динамику объема и структуры сбережений населения, рассчитать необходимые изменения доли населения с малыми сбережениями во времени и соответствующие изменения экономических характеристик, а также визуализировать результаты вычислений.

Предложенный прототип СППР реализует описанную в главе 2 методику и предназначен для обеспечения информационной поддержки пользователей в процессе принятия решений о регулировании сбережений домохозяйств и выстраивания стратегии развития региона.

В главе 4 изложены результаты апробации применения предложенных подхода и СППР для решения задачи активизации инвестиционно-сберегательного поведения в среднем классе Пермского края.

Средний класс – двигатель процесса распространения культуры инвестирования и социально-экономического прогресса в целом, поскольку его представители могут рационально инвестировать свои сбережения и в тоже время нести ответственность за свои рискованные решения.

Рассматривается задача повышения уровня сбережений в среднем классе за счет снижения доли несберегателей. Для идентификации принадлежности к среднему классу использовался доходный подход. В России доля среднего класса стабильна во времени, поэтому было принято $f = 0$. Динамика изменения доли несберегателей в среднем классе рассчитана за период 2003-2019 гг. по материалам RLMS HSE и Аналитического доклада «Средний класс России» Института социологии Российской академии наук. Для оценки остальных параметров модели согласно модифицированному подходу Чернавского Д.С. использовались официальные данные статистики Пермского края за период 2003-2018 гг., а также экспертные оценки.

Текущее распределение среднего класса в Пермском крае по размеру среднемесячных сбережений построено по математической модели (1) и принято за начальное. Для этого в автоматизированной системе в блоке «Данные» были установлены значения: *год: 2018; средний доход: 41 550 (руб.); прожиточный минимум: 10 098 (руб.); инфляция: 3.89 (%); доля несберегателей: 0.55.*

Рассматривается вариант инерционного развития региона, предусматривающий снижение доли несберегателей в среднем классе до 40% к 2023 г. В СППР в блоке «Цель» выбрано значение «0.40», при нажатии на кнопку «Plot» целевое распределение u^* аппроксимируется параболической функцией. Оптимальный закон сокращения доли несберегателей в среднем классе в Пермском крае представлен на рисунке 2. В этом случае кривая дифференциации сбережений станет более полой, близкой к целевой, как это видно на рисунке 3.

Теория функционирования социально-экономических систем устанавливает взаимозависимость роста инвестиций, экономического роста, роста доходов и сбережений. Для определения количественных оценок этих связей был проведен корреляционно-регрессионный анализ по данным официальной статистики Пермского края за 2003-2018 гг.

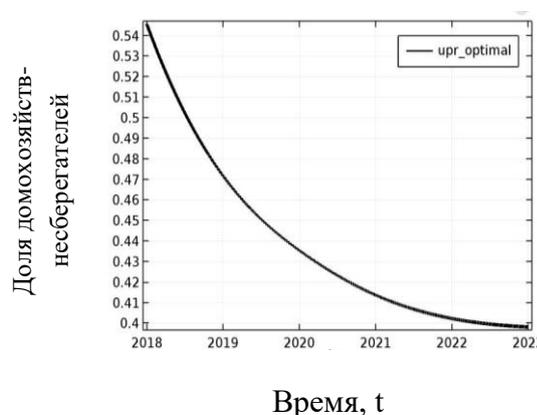


Рис. 2. Оптимальный закон сокращения доли несберегателей во времени

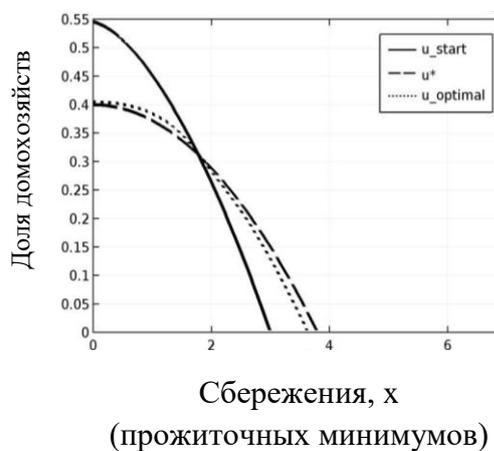


Рис. 3. Начальное (сплошная), целевое (пунктир) и оптимальное (точечная) распределения по сбережениям в среднем классе

В качестве основных социально-экономических факторов региона были выбраны среднедушевой доход, объем производства валового регионального продукта и объем инвестиций. Основные результаты корреляционно-регрессионного анализа приведены в Таблице 1.

Таблица 1. Модели линейных регрессий для социально-экономических факторов Пермского края

x – доля несберегателей в среднем классе, y – среднемесячный доход в среднем классе (руб.)	$y = 102632 - 168468x;$ $r_{xy} = -0.84; R^2 = 0.71; A = 7.67\%;$
x – среднемесячный доход в среднем классе (руб.), y – ВРП на душу населения (руб.)	$y = 23152 + 7.3x;$ $r_{xy} = 0.87; R^2 = 0.75; A = 6.42\%;$
x – объем ВРП (млн. руб.), y – объем инвестиций (млн. руб.)	$y = 26547 + 1.62x;$ $r_{xy} = 0.95; R^2 = 0.91; A = 9.52\%.$

Были установлены следующие виды линейных зависимостей: обратная связь доли несберегателей и среднедушевого дохода, а также прямые связи между средним доходом и ВРП на душу населения, объемом ВРП и объемом инвестиций.

Полученные зависимости, заложенные в СППР, позволили рассчитать исходя из оптимального снижения доли несберегателей (Рис. 2) плановые ориентиры роста среднедушевого ежемесячного дохода в среднем классе, объема производства ВРП и объема инвестиций для Пермского края к 2023 г. (Рис. 4-6). Таким образом согласно построенным моделям, рост объема инвестиций до 4.04 трлн. руб. к 2023 г. приведет к повышению ВРП до 950 тыс. руб. на душу населения, что благоприятно отразится на среднедушевом среднемесечном доходе – в среднем классе он увеличится до 119 тыс. руб., что в свою очередь повлияет на сокращение числа несберегателей: их доля упадет до целевых 40%.

В настоящее время среди спектра инвестиционных продуктов, представленных на российском рынке, единственным инвестиционным инструментом, который является успешным в последние годы и привлекает множество новых инвесторов, является индивидуальный инвестиционный счет (ИИС). Динамика открытия счетов ИИС в Пермском крае представлена на рисунке 7. За счет открытия новых ИИС можно частично обеспечить плановый прирост инвестиций, изображенный на рисунке 6. С учетом экстраполяции темпов открытия ИИС, рассчитана возможная доля ИИС в необходимом приросте инвестиций домохозяйств в Пермском крае и представлена на рисунке 8. Как видно по нему, от 6% до 62% необходимого прироста можно обеспечить за счет привлечения денежных средств домохозяйств на ИИС.

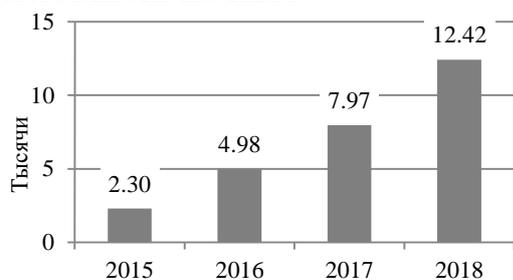


Рис. 7. Количество открытых ИИС в Пермском крае

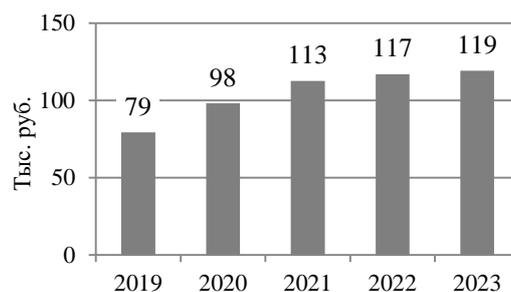


Рис. 4. Плановый рост среднедушевого дохода в среднем классе Пермского края

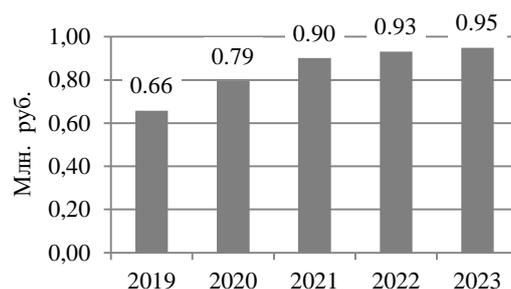


Рис. 5. Плановый рост ВРП на душу населения в Пермском крае

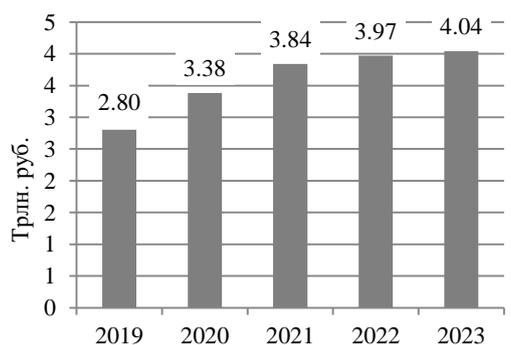


Рис. 6. Плановый рост объема инвестиций в Пермском крае

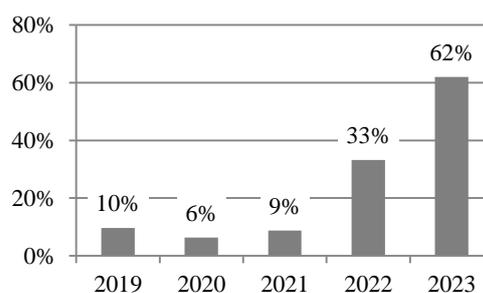


Рис. 8. Возможная доля ИИС в необходимом приросте объема инвестиций домохозяйств

Однако для того, чтобы доля несберегателей упала до 40%, как показывают приведенные выше расчеты, одного инструмента ИИС привлечения инвесторов недостаточно. Чтобы увеличить вовлеченность домохозяйств в инвестиционный процесс и снизить уровень риска инвестиций первоочередной задачей в России является разработка компенсационной системы для небанковского сектора. Кроме того, на наш взгляд, целесообразными являются следующие предложения по развитию системы налогового стимулирования в России и ее регионах:

1. Расширить спектр инвестиционных продуктов, по которым действуют налоговые вычеты.

2. Понизить ставку налога на доходы физических лиц (НДФЛ)

- на доход от дивидендов по ценным бумагам;
- на внесенные работодателями в пользу своих работников суммы взносов в негосударственные пенсионные фонды по пенсионным договорам и в страховые компании по договорам добровольного страхования жизни.

3. Предусмотреть повышение налоговой льготы по мере роста срока инвестирования.

4. Индексировать максимальные суммы взносов, с которых может быть возвращен налоговый вычет, по инвестиционным договорам.

5. Разработать механизмы целевых ИИС (в частности, пенсионных, строительных и прочих).

На региональном уровне меры налогового стимулирования необходимо внедрять с ориентацией на поддержку региональных предприятий и компаний, формируя тем самым институты взаимодействия власти и бизнеса.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. Сформулированная **математическая постановка задачи** оптимального управления сбережениями домохозяйств позволила описать проблему регулирования сбережений домохозяйств с учетом их распределенного характера. Показано, что задача является корректной, что подтверждается рядом свойств целевого функционала.

2. Разработанный **подход к управлению сбережениями** домохозяйств позволил получить закон изменения доли несберегателей во времени в явной форме. Проведенный количественный анализ взаимосвязи между найденной оптимальной траекторией изменения доли несберегателей во времени и доступными для регулирования социально-экономическими факторами позволил выработать набор управленческих решений и мероприятий для стимулирования инвестиционно-сберегательного поведения.

3. Разработанная **система поддержки принятия решений** для задачи повышения инвестиционно-сберегательной активности населения позволила вычислить оптимальную траекторию изменения доли несберегателей во времени, а также необходимые для ее реализации рост доходов населения, ВРП и объема инвестиций. Показано, что как минимум 6% необходимого прироста объема инвестиций домохозяйств можно обеспечить за счет привлечения средств на ИИС.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в базе цитирования Scopus

1. Pervadchuk, V.P. Numerical study of optimal control problem for a distributed system of savings in the region's population / V. P. Pervadchuk, D. B. Vladimirova, **P. O. Derevyankina** // Smart Innovation, Systems and Technologies. – 2020. – Vol. 172. – P.117–124.

Публикации в рецензируемых научных изданиях

2. Деревянкина, П.О. Анализ влияния экономических факторов в задаче оптимального управления сбережениями домохозяйств / **П. О. Деревянкина** // Прикладная математика и вопросы управления / Applied Mathematics and Control Sciences. – 2020. – № 3. – С.75–88 (по специальности 05.13.10).

3. Первадчук, В.П. Распределенное управление в задаче моделирования дифференциации населения по объему накоплений / В. П. Первадчук, Д. Б. Владимирова, **П. О. Деревянкина** // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. – 2019. – № 30. – С. 151–163 (по специальности 05.13.10).

4. Первадчук, В.П. Численное исследование задачи оптимального управления распределением по накоплениям для социально-уязвимых слоев населения Пермского края / В. П. Первадчук, Д. Б. Владимирова, **П. О. Деревянкина** // Вестник Московского финансово-юридического университета МФЮА. – 2019. – №1. – С. 107–116.

5. Первадчук, В.П. Математическое моделирование экономической структуры общества на примере статистических данных по Пермскому краю / В. П. Первадчук, Д. Б. Владимирова, **П. О. Деревянкина** // Вестник Пермского университета. Серия «Экономика» = Perm University Herald. ECONOMY. – 2018. – Т. 13. – № 3. – С. 390–401.

6. Владимирова, Д.Б. Оптимальное управление распределенными системами в задачах социально-экономического анализа / Д. Б. Владимирова, **П. О. Деревянкина** // Глобальный научный потенциал. – 2016. – № 3 (60). – С. 40–43.

Свидетельства о регистрации программы для ЭВМ

7. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2019662539 : Расчет оптимальных управляющих воздействий на динамику сбережений населения региона с учетом их распределенного характера: от / Владимирова Д.Б., **Деревянкина П.О.**; заявка 2019661435; поступл. 17.09.2019, опубл. 25.09.2019, Бюл. № 10. – 1 с.

Прочие публикации

8. **Derevyankina, P.O.** Optimal control of the distributed systems modeling the evolution of financial savings of the population / P. O. Derevyankina, D. B. Vladimirova // Инновационные процессы в исследовательской и образовательной деятельности. – 2016. – Т. 1. – С. 43–45.

9. **Деревянкина, П.О.** Численное исследование и анализ распределения населения по объему денежных накоплений (на примере Пермского края) / П. О. Деревянкина // Управление в современных системах: сборник трудов VIII Всероссийской научно-практической конференции научных, научно-педагогических работников и аспирантов / Южно-Уральский институт управления и экономики. – Челябинск, 2018. – С. 191–196.
10. **Деревянкина, П.О.** Численная реализация задачи оптимального управления распределением населения по накоплениям / П. О. Деревянкина // Математическое и компьютерное моделирование: сборник материалов VI Международной научной конференции, посвященная памяти Б.А. Рогозина, (Омск, 23 ноября 2018 г.) / [отв. за вып. И. П. Бесценный]. – Омск: Изд-во Ом. гос. ун-та, 2018. – С. 130–131.
11. **Деревянкина, П.О.** Математическое моделирование в задаче оптимального управления сбережениями в среднем классе / П. О. Деревянкина: Актуальные задачи математического моделирования и информационных технологий: материалы Международной научно-практической конференции АЗММиИТ 2020 (Сочи, 27 сентября – 3 октября 2020г.) / [отв. ред. А.Р. Симонян, Ю.И. Дрейзис]. – Сочи: РИЦ ФГБОУ ВО «СГУ», 2020 – С. 96–99.