

## ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ



DOI: 10.26794/2304-022X-2025-15-1-62-77

УДК 332.834.8(045)

JEL C61

## Моделирование устойчивости жилищно-строительного комплекса на основе организационно-экономического взаимодействия субъектов

Н.Н. Шеломенцева<sup>а</sup>, О.В. Грушина<sup>б</sup><sup>а</sup> Иркутский государственный университет, Иркутск, Россия;<sup>б</sup> Байкальский государственный университет, Иркутск, Россия

### АННОТАЦИЯ

В статье поднимается проблема структуры социально-экономической системы жилищно-строительного комплекса (ЖСК) в части организационно-экономического взаимодействия ее участников на фоне энтропийного воздействия окружающей макроэкономической среды. **Целью** исследования является определение с точки зрения системно-информационного подхода к управлению методов выхода на новый уровень устойчивого неравновесия со средой и сохранение гомеостаза данной системы. Так как основным фактором сферы жилищного строительства является построенное жилье, первой **задачей** стало подробное исследование обеспеченности им домохозяйств России в целом и Иркутской области в частности путем анализа динамики данных переписей населения 2002, 2010 и 2020 гг. В результате была предложена идея «наилучшей» структуры жилищного фонда по числу комнат, соответствующих составу домохозяйств. Для достижения «наилучшей» обеспеченности населения жильем необходимы своевременные организационно-экономические изменения, одним из которых по праву можно считать введение проектного финансирования. В целях выхода на новый уровень устойчивого равновесия системы ЖСК необходима согласованность действий всех субъектов для минимизации разрыва между реальной и «наилучшей» структурой жилищного фонда. Второй задачей авторов исследования стал поиск решения многокритериальной проблемы согласования интересов экономических субъектов в жилищном строительстве, для чего был использован генетический алгоритм платформы MATLAB. Варианты, приемлемые для всех участников, выбирались из множества альтернатив (оптимальных по Парето), исходя из предпочтений лица, принимающего решение. На эту роль было императивно назначено государство, а критерием оптимальности стал минимум разрыва между «наилучшим» и фактическим состоянием обеспеченности жильем домохозяйств разного количественного состава. Результат моделирования показал, что эффективное взаимодействие ради единой цели возможно, но стоимостной фактор так или иначе перекладывается на плечи потребителя. Результаты исследования будут интересны студентам и аспирантам, изучающим экономику в строительстве, а также представителям банков и региональных властей, специалистам в области жилищного строительства.

**Ключевые слова:** жилищное строительство; системно-информационный подход; экономические субъекты; согласование интересов; экономико-математическая модель; многокритериальная задача

**Для цитирования:** Шеломенцева Н.Н., Грушина О.В. Моделирование устойчивости жилищно-строительного комплекса на основе организационно-экономического взаимодействия субъектов. *Управленческие науки = Management Sciences*. 2025;15(1):62-77. DOI: 10.26794/2304-022X-2025-15-1-62-77

## ORIGINAL PAPER

# Modeling the Stability of the Housing and Construction Complex Based on Organizational and Economic Interaction of Entities

N.N. Shelomentseva<sup>a</sup>, O.V. Grushina<sup>b</sup><sup>a</sup> Irkutsk State University, Irkutsk, Russia;<sup>b</sup> Baikal State University, Irkutsk, Russia**ABSTRACT**

The article addresses the structure of the socio-economic system of the housing and construction complex (HCC), focusing on the organizational and economic interaction of its participants against the backdrop of entropy-driven macroeconomic influences. The study **aims** to identify management methods, from a system-information approach, that allow the system to reach a new level of sustainable disequilibrium with the environment while maintaining homeostasis. Since the primary factor in the housing construction sector is the availability of built housing, the first research **task** was a detailed examination of household housing provision in Russia as a whole and in the Irkutsk region, based on census data from 2002, 2010, and 2020. As a result, the idea of the “best” structure of the housing stock in terms of the number of rooms corresponding to the composition of households was proposed. Achieving the “optimal” housing provision for the population requires timely organizational and economic changes, one of which is the introduction of project financing. To reach a new level of sustainable equilibrium in the HCC system, coordinated actions among all stakeholders are necessary to minimize the gap between the actual and the “optimal” housing stock structure. The second research objective was to find a solution to the multi-criteria problem of aligning the interests of economic entities in housing construction. A genetic algorithm in MATLAB was used for this purpose. Acceptable options for all participants were selected from a set of Pareto-optimal alternatives based on the preferences of the decision-maker. The state was imperatively assigned this role, with the optimization criterion being the minimization of the gap between the “optimal” and actual housing provision for households of various sizes. The modeling results indicated that effective collaboration towards a common goal is possible; however, the cost factor is inevitably passed on to consumers. The study’s findings will be of interest to students and graduate students studying construction economics, as well as to banking professionals, regional authorities, and specialists in the field of housing construction.

**Keywords:** housing construction; system-information approach; economic entities; interest alignment; economic-mathematical model; multi-criteria problem

**For citation:** Shelomentseva N.N., Grushina O.V. Modeling the stability of the housing and construction complex based on organizational and economic interaction of entities. *Upravlencheskie nauki = Management Sciences*. 2025;15(1):62-77. DOI: 10.26794/2304-022X-2025-15-1-62-77

**ВВЕДЕНИЕ**

Актуальность темы устойчивого развития инвестиционно-строительного комплекса в целом и сферы жилищного строительства в частности обусловлены необходимостью достижения целей и ключевых параметров национальных проектов<sup>1</sup>. Так, Федеральный проект «Жилье» нацпроекта «Жилье и городская среда» предполагает «увеличение объемов жилищного строительства в России (не менее 120 млн кв. м в год к 2030 г.). Каждый 5-й квадратный метр в России к 2030 году должен стать новым». Под *устойчивым развитием* в на-

стоящее время принято и модно понимать некий «изобильный мир», удовлетворяющий потребности социально развитого человека в условиях соблюдения экологических стандартов и сохранения окружающей среды для будущих поколений.

В ходе исследования мы действовали не в таком мейнстримном ключе, а рассматривали более узкую проблему существования сферы жилищного строительства внутри экономической системы страны. При этом были использованы классический системно-информационный и гомеостатический подходы к управлению сложными социально-экономическими системами, описанными, например, Р.Ф. Абдеевым, А.П. Назаретяном, Ю.М. Горским и др. [1–3]. Р.Ф. Абдеев в своем известном труде представил обобщенный процесс управления системой, распадающийся

<sup>1</sup> Национальные проекты России. URL: <https://xn-80aарамречсчfмо7а3с9ehj.xn-p1ai/projects/zhile-i-gorodskaya-sreda/zhile/> (дата обращения: 12.08.2024 г.).

на контуры самоорганизации и саморазвития. Такая конструкция «во-первых, едина для всех сфер, охватываемых кибернетикой, и, во-вторых, раскрывает системоорганизующую, «негэнтропийную» функцию управления во всех этих сферах» [1].

Описание сложных систем базируется на таких ключевых понятиях, как *организованность, информация и цель*. Функционирование, развитие и само существование системы как единого целого определяется во многом процессами передачи, переработки и преобразования информации.

В результате формируется системно-информационный подход к управлению, механизм которого представляет собой целенаправленный информационно-управленческий процесс, состоящий из управляемого объекта и управляющего субъекта, объединенных прямой и обратной информационными связями. Посредством такого механизма происходит самоорганизация открытых устойчивых систем, активно взаимодействующих с окружающей средой, но при этом не растворяющихся в ней, а сохраняющих свою самобытность (устойчивость) или *неравновесность, т.е. защиту от энтропийных процессов*.

*Контур саморегуляции* (гомеостазис) образуется как качественное упорядочение связей — в ответ на воздействие внешних условий поступающая информация вызывает отклонение, которое нейтрализуется с помощью обратной связи [4].

*Контур саморазвития*, по сути, включает в себе целенаправленное накопление данных с последующим их упорядочением и структуризацией, что может заключаться в моделировании и программировании возможных ситуаций взаимодействия с выбором наиболее устойчивых состояний на новом уровне самоорганизации системы. То есть *развитие* — это созидание нового в самом процессе контактирования системы со средой в результате избирательного отражения и отбора информации об этом взаимодействии.

Определившись с ключевыми понятиями, мы определили жилищный сектор инвестиционно-строительного комплекса (ИСК) как отдельную сложную самоорганизующуюся социально-экономическую систему и назвали ее жилищно-строительным комплексом (ЖСК). Главным системообразующим фактором ЖСК, согласно системотехнике в строительстве<sup>2</sup>, является результат его деятель-

ности, т.е. построенное жилье. Преодоление энтропийных процессов применительно к данной социально-экономической системе означает, что для поддержания ее устойчивого неравновесия со средой (предотвращения энтропии и сохранения результативного взаимодействия) необходимы своевременные организационно-экономические изменения (ОЭИ) [5]. Например, введение проектного финансирования одним из участников — государством — для преодоления энтропийного влияния существующего феномена обманутых дольщиков, возникшего из-за нарушения саморегуляции управления в компаниях-застройщиках ввиду недостатка контролирующего (нарушающего гомеостазис, а значит, заставляющего его сохранять) воздействия со стороны внешней среды — государства.

Взаимодействия внутри системы поменялись, многократно возросла роль одного из считавшегося ранее периферийным участника — банка, по степени контроля почти сравнявшегося с государством. Чтобы выйти на новый уровень устойчивого неравновесия, системе необходим инструмент согласования интересов всех ее сторон.

## АНАЛИЗ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ ЖИЛЬЕМ В РФ И ИРКУТСКОЙ ОБЛАСТИ

Авторы настоящей статьи уже писали об устройстве жилищной сферы и ее участниках (банки, строительные организации, государство и население) [6]. Организационно-экономическое взаимодействие последних, по сути, является структурой социально-экономической системы ЖСК, целью которой — возведенное жилье. Однако здесь возникает главный вопрос: что и в каком количестве должно быть построено, чтобы эта система и дальше устойчиво функционировала, т.е. все ее субъекты согласованно взаимодействовали с точки зрения поддержания устойчивого неравновесия со средой (саморегуляция) и дальнейшего саморазвития?

Для моделирования точного ответа сначала была оценена ситуация с обеспеченностью жильем в стране в целом и в Иркутской области в частности в разрезе потребностей домохозяйств разной величины. Такая работа уже выполнялась по результатам переписей 2002 и 2010 гг. [4].

В настоящей статье отражена динамика с учетом результатов переписи 2020 г.

В табл. 1 и 2 представлен сравнительный анализ обеспеченности жильем по результатам переписей

<sup>2</sup> Системотехника строительства. Энциклопедический словарь под ред. А.А. Гусакова. М.: Фонд «Новое тысячелетие». 1999; 432 с.

Таблица 1 / Table 1

Средняя обеспеченность жильем граждан РФ по федеральным округам (по данным переписей 2002, 2010 и 2020 гг.) / Average housing provision per citizen in the Russian Federation by federal districts (based on the 2002, 2010 and 2020 census data)

Показатель / Indicator	Средний размер домохозяйства, чел. / Average household size, pers.			Средняя обеспеченность жильем, м <sup>2</sup> /чел. / Average housing provision, м <sup>2</sup> /pers.		
	2002	2010	2020	2002	2010	2020
РФ	2,7	2,6	2,2	19	19	19
ЦФО	2,6	2,5	2,1	20	19	17
СЗФО	2,6	2,4	2,1	20	19	18
ЮФО	3,1	2,7	2,3	18	20	20
СКФО		3,7	3,4		18	20
ПФО	2,7	2,5	2,2	19	19	22
УФО	2,6	2,5	2,2	18	19	19
СФО	2,7	2,6	2,2	18	19	21
ДФО	2,6	2,5	2,2	19	19	19

Источник / Source: составлена и рассчитана авторами по итогам переписей 2002, 2010 и 2020 гг. / compiled and calculated by the authors based on the results of the 2002, 2010 and 2020 censuses.

Таблица 2 / Table 2

Доля числа домохозяйств из трех и более человек по федеральным округам (по данным переписей 2002, 2010 и 2020 гг.) / Share of households with 3 or more people by federal districts (based on 2002, 2010 and 2020 census data)

Показатель / Indicator	Доля от общего числа домохозяйств, % / Share of total number of households, %								
	Домохозяйства из трех чел. / Households of 3 people			Домохозяйства из четырех чел. / Households of 4 people			Домохозяйства из пяти и более чел. / Households with 5 or more people		
	2002	2010	2020	2002	2010	2020	2002	2010	2020
РФ	23,78	22,51	15,91	16,97	14,49	10,79	9,40	8,77	7,15
ЦФО	23,22	22,66	15,17	15,51	13,64	9,4	7,89	7,71	6,22
СЗФО	24,4	22,31	15,53	15,58	12,8	9,65	6,97	6,30	5,19
ЮФО	21,14	22,33	17,08	18,82	16,02	12,01	17,79	10,63	7,81
СКФО		17,82	15,2		18,91	14,26		39,81	26,54
ПФО	24,19	22,85	16,60	18,11	15,03	11,59	8,62	7,78	5,96
УФО	24,89	22,96	15,84	17,43	14,57	11,14	7,59	6,88	5,55
СФО	25,08	23,13	16,00	17,26	14,44	10,90	8,73	7,73	6,04
ДФО	25,67	22,98	16,23	16,09	13,33	11,20	8,01	6,85	7,06

Источник / Source: составлена и рассчитана авторами по итогам переписей 2002, 2010 и 2020 гг. / compiled and calculated by the authors based on the results of the 2002, 2010 and 2020 censuses.

населения 2002, 2010 и 2020 гг. по субъектам РФ в зависимости от состава домохозяйств.

Раскладка по федеральным округам (табл. 1) показывает, что средняя обеспеченность за последние 10 лет (с 2010 по 2020 г.) выросла только в трех округах (СКФО, ПФО и СФО на 2, 3 и 2 м<sup>2</sup>/чел. соответственно); в трех осталась неизменной (ЮФО, УФО и ДФО), а в двух центральных (ЦФО и СЗФО) даже снизилась на 2 и 1 м<sup>2</sup>/чел. соответственно.

Такие тенденции невозможно объяснить, не проанализировав структуру домохозяйств (табл. 2). Бесспорно, мы наблюдаем постоянное снижения доли тех из них, которые включают трех и более человек. Однако это динамика зависит от численного состава. Семьи, выбравшие многодетность, наиболее устойчивы: доля семей из пяти и более человек сократилась за 10 лет на 1–2 процентных пункта (п.п.) и составляет обычно 5–7% от общего числа домохозяйств. Исключением являются ДФО (небольшой прирост в доли процентов) и СКФО, где семьи традиционно большие. Однако падение более существенно — с 39,8% в 2010 до 26,5% в 2020 г. Уменьшение доли домохозяйств из четырех человек (таковых насчитывается во всех округах от 9 до 11%, кроме ЮФО и СКФО — там 12 и 14% соответственно) повсеместно составляет от 2 до 4 п.п. Наиболее катастрофичным с точки зрения демографии выглядит ситуация для домохозяйств из трех человек: динамика их сокращения составляет 6–7 п.п. (в СКФО — 2 п.п.); при этом их доля в общем числе в 2020 г. — от 15 до 17%. То есть все меньшее число семей решаются даже на одного ребенка!

В табл. 3 приведен сравнительный анализ жилищных условий таких домохозяйств РФ и Иркутской области, которые, исходя из количества комнат на человека, можно разделить на три группы: хорошие, средние и плохие. Хорошими и очень хорошими условиями в 2002 г. располагали чуть более 23% всех домохозяйств: 23,17% в РФ и 23,68% — в Иркутском регионе; плохие сопровождали жизнь примерно 40% домохозяйств: 38,72% по РФ и 39,45% — по Иркутской области, и к 2010 г. процентные показатели для этой группы практически не изменились. А доля семей, имеющих хорошие и очень хорошие условия, возросла примерно на 1%. В то же время процент домохозяйств, имеющих средние условия, уменьшился (на 1,38% и 0,66% соответственно), а плохие — вырос (на 0,22% и 0,85%). Ни взрыв ипотеки (2005–2006 гг.), ни развитие ФЦП «Жилище» не смогли изменить ситуацию за 8 лет.

Через 10 лет, в 2020 г., положение стало следующим: доля семей с очень хорошими условиями почти не изменилась (снижение около 1 п.п.) — чуть более 3% домохозяйств из трех и более человек. По хорошим условиям произошло снижение порядка 2 п.п. — 17,7% и 18,9% домохозяйств в РФ и Иркутской области соответственно. Дальнейшие тенденции более заметны. Доля семей, имеющих средние жилищные условия, сократилась на 6 п.п. и достигла порядка 30% как в Иркутской области, так и в РФ в целом. Примерно тот же процент составляют домохозяйства с плохими условиями проживания — их удельный вес снизился, причем в РФ более значительно — на 6 п.п. по сравнению с Иркутским регионом (4 п.п.). Это единственное положительное изменение корректируется ростом доли семей, живущих в аналогичных условиях, с учетом не указавших число комнат и снимающих жилье. Рост на 6 с лишним п.п. означает, что практически половина домохозяйств из трех и более человек вынуждены снимать жилплощадь или жить в тесноте (47,1 и 46,5% в РФ и Иркутской области соответственно).

В табл. 4 и 5 представлена информация о средней обеспеченности жильем уже не в комнатах, а в метраже по типам домохозяйств в Иркутской области и в РФ соответственно, и тенденции оказались схожими. Доля одиночек в составе населения за последние 10 лет выросла вдвое (с 2002 по 2010 г. прирост был 1 п.п.) — до 18% населения, однако обеспеченность в метрах снизилась с 40 до 33 м<sup>2</sup>/чел. в 2020 г. То есть одинокие граждане проживают в квартирах все меньшей площади. Количество семей из двух человек выросло в Иркутской области на 2 п.п.; в РФ их доля не изменилась, обеспеченность жильем упала до 22 и 23 м<sup>2</sup> на чел. соответственно. Жилищные условия домохозяйств из трех и более человек ухудшились в 2020 г. примерно на метр (в РФ — 16, 14 и 11 м<sup>2</sup> на каждого для семей из трех, четырех, пяти и более человек соответственно), что уже не укладывается в существующий норматив. Вывод: около 60% населения как РФ, так и Иркутской области живет в условиях, где на человека приходится меньше 18 м<sup>2</sup>. Данный показатель снизился с 2020 г. почти на 7 п.п., но это произошло просто за счет сокращения больших семей и их доли в общем населении. Особенно заметно уменьшение численности семей из трех человек (на 5 п.п.), т.е. граждане все реже решаются родить даже первого ребенка.

Таблица 3 / Table 3

**Жилищные условия граждан домохозяйств, состоящих из трех и более человек  
/ Housing conditions of households consisting of 3 or more people**

Показатель / Indicator	Перепись 2002 г. / Census 2002		Перепись 2010 г. / Census 2010		Перепись 2020 г. / Census 2020	
	РФ / Russian Federation	Иркутская область / Irkutsk region	РФ / Russian Federation	Иркутская область / Irkutsk region	РФ / Russian Federation	Иркутская область / Irkutsk region
Число домохозяйств из 3-х и более человек, шт.	25 435 908	463 196	25 190 405	431 421	21 689 345	346 670
<b>Доля домохозяйств, имеющих жилищные условия, %:</b>						
Очень хорошие, ка > nb	3,82	3,22	4,22	3,42	3,76	3,09
Хорошие, k=n	19,35	20,46	19,71	21,03	17,67	18,87
Средние, k= n – 1	38,12	36,86	36,74	36,20	29,82	30,54
Плохие, n-2 i	34,92	34,63	35,14	35,48	29,04	31,07
Плохие с учетом снимающих и не указавших число комнат и тип квартир	38,72	39,45	39,33	39,35	47,13	46,54

Источник / Source: составлена и рассчитана авторами по итогам переписей 2002, 2010 и 2020 гг. / compiled and calculated by the authors based on the results of the 2002, 2010 and 2020 censuses.

Note: a – n – число членов домохозяйств / number of household members; b – k – количество комнат / number of rooms.

Для того чтобы жилищные условия всех домохозяйств перешли в категорию «хорошие» (табл. 3), нами было определено понятие «наилучшей структуры» жилищного фонда, которое подразумевает наличие рекомендуемого (желаемого в идеале) количества квартир при том, что родители и дети старше 18 лет живут отдельно (межпоколенческие домохозяйства разбиты на отдельные семьи). Структура квартир, где число комнат соответствует количественному составу домохозяйства, названа «наилучшей» [7]. Авторы настоящей статьи сравнили такие структуры жилья в индивидуальных домах и квартирах для Иркутской области по данным переписей 2010 [8] и 2020 гг. (см. рисунок).

Согласно рисунку, за десятилетие очень сильно изменился количественный состав семей; наблюдается потребность в увеличении жилья, состоящего из одной комнаты, и сокращения двух-, трех-, че-

тырех- и более комнатных жилых помещений (что подтверждается данными табл. 4 и 5).

Подробный институциональный анализ причин, почему российским домохозяйствам необходимо иметь собственное жилье, провели Р. М. Нуреев и О. А. Гуляева [9].

Возникают вопросы: необходимо ли застройщикам ориентироваться на выявленные выше тенденции; сможет ли население приобрести необходимое ему жилье, а государство — создавать институциональное поле, в котором будет осуществляться благоприятное взаимодействие экономических субъектов сферы жилищного строительства; существует ли вообще возможность согласовать их разнонаправленные интересы?

Для более полного решения данной задачи использованы методы математического моделирования [6].

Таблица 4 / Table 4

Средняя обеспеченность жильем по типам домохозяйств в Иркутской области  
согласно данным переписей 2002, 2010, 2020 гг. / Average housing provision by  
household type in the Irkutsk region according to census data 2002, 2010, 2020

Размер домохозяйств, чел. / Household size, pers.	Средняя обеспеченность жильем, м <sup>2</sup> /чел. / Average housing supply, m <sup>2</sup> /pers.			Число домохозяйств / Number of households			Доля в населении области, % / Share in the region's population, %		
	2002	2010	2020	2002	2010	2020	2002	2010	2020
1	41	40	33	181 367	213 235	416 471	7,16	8,93	18,12
2	23	24	22	256 971	268 973	276 131	20,29	22,54	24,02
3	17	17	16	231 282	211 907	165 732	27,39	26,63	21,63
4	14	14	13	165 352	139 452	114 290	26,11	23,37	19,89
5 и более	11	10	10	86 598	78 224	66 648	19,04	18,53	16,35
3–5 и более	< 18			483 232	429 583	346 670	72,54	68,53	58,00

Источник / Source: составлена и рассчитана авторами по итогам переписей 2002, 2010 и 2020 гг. / compiled and calculated by the authors based on the results of the 2002, 2010 and 2020 censuses.

Таблица 5 / Table 5

Средняя обеспеченность жильем по типам домохозяйств в РФ согласно данным  
переписей 2002, 2010, 2020 гг. / Average housing provision by household type  
in the Russian Federation according to census data 2002, 2010, 2020

Размер домохозяйств, чел. / Household size, pers.	Средняя обеспеченность жильем, м <sup>2</sup> /чел. / Average housing provision, m <sup>2</sup> /pers.			Число домохозяйств / Number of households			Доля в населении области, % / Share in the region's population, %		
	2002	2010	2020	2002	2010	2020	2002	2010	2020
1	42	40	33	11 414 449	14 018 754	26 159 856	8,22	9,95	18,28
2	24	24	23	14 534 669	15 563 868	16 225 383	20,36	22,08	22,68
3	18	17	16	12 536 743	12 284 058	10 194 710	26,35	26,14	21,37
4	15	14	14	8 943 575	7 907 406	6 912 897	25,06	22,44	19,32
5 и более	12	12	11	4 954 939	4 786 541	4 581 738	20,01	19,39	18,35
3–5 и более	< 18			13 898 514	25 190 405	21 689 345	45,07	67,97	59,04

Источник / Source: Составлена и рассчитана авторами по итогам переписей 2002, 2010 и 2020 гг. / Compiled and calculated by the authors based on the results of the 2002, 2010 and 2020 censuses.

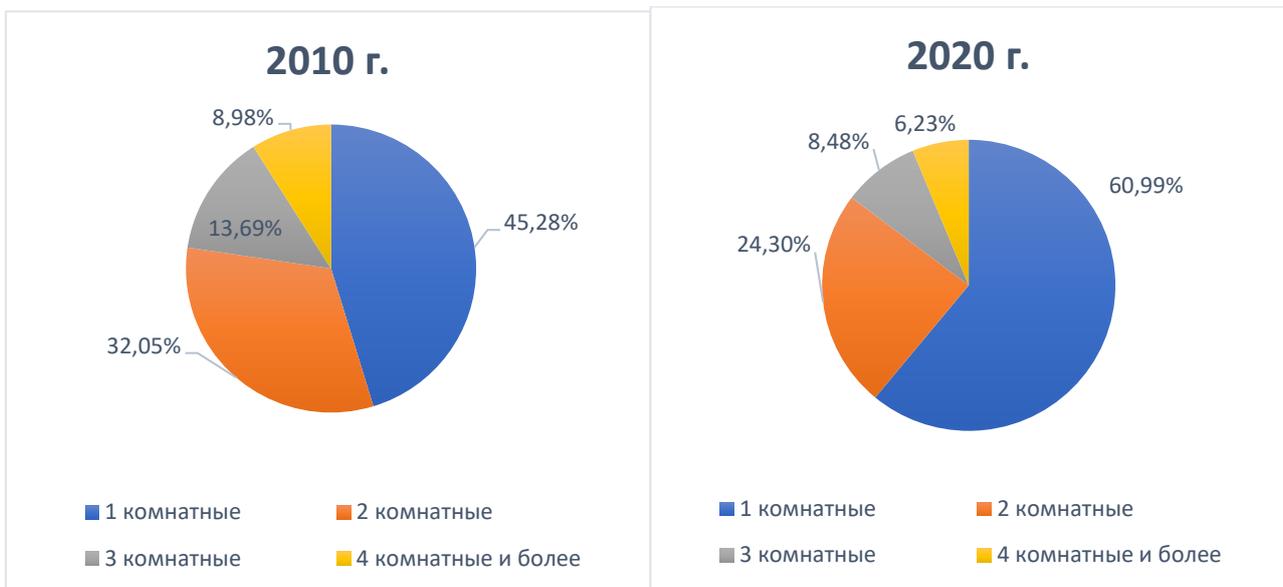


Рис. / Fig. «Наилучшая» структура по числу комнат в индивидуальных домах и квартирах для Иркутской области, построенная по данным переписей 2010 и 2020 гг. / «Optimal» structure by in number of rooms in individual houses and apartments for the Irkutsk region, based on the 2010 and 2020 census data

Источник / Source: составлено авторами / compiled by the authors.

### МОДЕЛИРОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИОННО- ЭКОНОМИЧЕСКОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СУБЪЕКТОВ ЖИЛИЩНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

Системным моделированием экономического взаимодействия участников в сфере жилищного строительства занимались такие российские ученые, как Д.А. Макаров и М.Н. Юденко [10]. Зарубежные исследователи M. Liu, Y., Yi Hu, Bo Xia, M. Skitmore и X. Gao проанализировали и систематизировали 103 статьи из 41 рецензируемого журнала с 1997 по 2016 г. по системному динамическому моделированию в строительной отрасли [11].

Среди иностранных авторов наиболее популярен подход, связанный с агентным моделированием. Так, например, M. J. Smith фокусировался на поведении индивидуальных агентов (таких как покупатели жилья, продавцы, застройщики и инвесторы) и показал, как взаимодействие между ними влияет на рыночные тенденции, ценообразование и доступность жилья [12]. J. Smith и A. Brown в работе [13] рассматривали отношения между застройщиками и государственными органами и их роль в развитии жилой недвижимости. W. Kirsch и M. Shilling особое внимание уделяли тому, как агентные модели помогают предска-

зывать поведение рынка жилья и позволяют учитывать сложные социально-экономические факторы [14]. Чтобы применять такие модели, нужно четкое понимание, какие критерии, определяющие поведение на рынке, будут превалировать у разных агентов (экономических субъектов).

Процесс принятия решений, касающихся широкого класса практических задач, рассматривается как непрерывный поток действий — от момента представления исходных данных до этапов проектирования, выбора, верификации и испытания полученных результатов. При этом приходится учитывать постоянно растущее число нередко противоречивых критериев, конфликтующих между собой [15].

Возникает задача многокритериальной оптимизации, которая обычно имеет несколько ограничений [16].

В работе [17] было показано, что она имеет решение. В отличие от [6], где представлены результаты численных расчетов при выборе критериев сначала для двух (попарно), а затем для трех (застройщика, банка и потребителя) экономических субъектов, в настоящей статье мы предлагаем вариант решения, в котором четыре критерия для оптимизации (для каждого экономического субъекта он свой).

Таблица 6 / Table 6

Решение многокритериальной задачи по данным 2023 г. / Solution  
of a multicriteria problem based on 2023 data

Оптимальное решение / Optimal solution				Значение критериев в оптимальной точке / Value of criteria at the optimal point			
$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$B(X)$	$S(X)$	$N(X)$	$G(X)$
240268,75	42063,63	151339,67	6327,95	7911725452,87	14665895740,50	114540,58	15954371,15
73507,54	12870,42	351631,45	1990,60	7594778513,33	11905033903,46	108265,90	16074781,63
65334,33	11442,98	361317,30	1905,39	7579247904,26	11769749848,82	107958,43	16080766,68
93848,13	16428,92	327289,56	2433,38	7633435555,77	12241767775,77	109031,20	16059915,62
220610,17	38621,51	174976,66	5791,66	7874361604,17	14340426631,20	113800,88	15968389,24
128639,69	22522,36	285393,90	3444,05	7699563399,93	12817794172,24	110340,35	16034598,18
<b>0,79</b>	<b>0,25</b>	<b>439997,99</b>	<b>0,97</b>	<b>7455069208,15</b>	<b>10688053954,49</b>	<b>105500,03</b>	<b>1128928,86</b>
11610,28	2033,31	426026,89	329,52	7477134968,19	10880264396,72	105936,87	16120333,44
269212,80	47128,83	116638,99	7019,39	7966734843,70	15145071640,43	115629,62	15933819,68
79349,69	13898,57	344405,69	2346,05	7605887631,77	12001803200,67	108485,83	16070501,20
262395,39	45935,37	124827,59	6841,65	7953777645,98	15032204065,63	115373,10	15938651,19
309153,19	54120,24	68691,47	8035,10	8042645155,00	15806311125,70	117132,43	15905629,82
14967,80	2620,54	422014,94	396,72	7483515741,51	10935846047,81	106063,20	16117851,44
84110,36	14726,85	338884,59	2278,19	7614930607,77	12080574666,09	108664,85	16067024,95
69894,68	12237,05	356004,98	1863,29	7587910993,60	11845212336,55	108129,94	16077428,53
295096,93	51659,97	85558,10	7685,00	8015930187,08	15573602499,17	116603,55	15915528,08
324177,16	56749,73	50669,87	8403,24	8071199156,98	16055039346,64	117697,73	15895077,28
122955,29	21526,56	292247,72	3270,43	7688758894,04	12723678324,41	110126,45	16038724,76
116361,79	20371,79	300186,77	3079,65	7676226758,10	12614513394,28	109878,35	16043516,02
55320,06	9686,24	373486,11	1507,60	7560211036,92	11603923507,38	107581,55	16088118,35
30406,82	5325,79	403375,55	891,84	7512861739,39	11191473058,66	106644,17	16106450,29
76081,80	13321,52	348521,47	2075,22	7599671617,41	11947656773,44	108362,77	16072896,77
41243,06	7220,62	390443,63	1092,69	7533454935,81	11370856440,06	107051,86	16098469,35
279976,66	49012,80	103726,13	7284,41	7987192328,42	15323272615,85	116034,62	15926203,17
6108,27	1069,79	432648,13	173,81	7466677483,23	10789171327,39	105729,84	16124405,00
197724,02	34615,72	202439,21	5221,05	7830864763,67	13961534313,93	112939,76	15984767,96
143246,36	25079,61	267842,34	3831,69	7727325095,50	13059620816,75	110889,96	16024013,73
205241,76	35931,72	193412,23	5414,29	7845152948,66	14085995850,07	113222,63	15979380,64
347204,72	60780,87	23014,32	9000,09	8114965326,82	16436277954,63	118564,18	15878957,62
216146,90	37839,96	180345,16	5667,97	7865878494,24	14266531908,37	113632,94	15971578,56
19632,18	3438,00	416377,76	552,06	7492381797,37	11013076485,06	106238,72	16114403,76
341096,93	59711,75	30346,02	8845,29	8103356981,03	16335159755,49	118334,36	15883226,71
25011,53	4378,60	409959,30	650,57	7502604694,35	11102126114,73	106441,10	16110433,20
51482,97	9014,71	378087,27	1415,05	7552918453,04	11540399253,02	107437,18	16090936,89
133047,39	23294,09	280095,24	3563,28	7707940809,48	12890768179,87	110506,20	16031401,44
138998,02	24334,33	273004,92	3662,74	7719249085,04	12989272306,67	110730,07	16027090,65

Окончание таблицы 6 / Table 6 (continued)

Оптимальное решение / Optimal solution				Значение критериев в оптимальной точке / Value of criteria at the optimal point			
$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$B(X)$	$S(X)$	$N(X)$	$G(X)$
183 349,32	32 098,01	219 753,06	4 799,62	7 803 542 866,00	13 723 538 637,65	112 398,86	15 995 089,21
102 707,73	17 980,72	316 616,31	2 695,24	7 650 274 993,44	12 388 452 742,91	109 364,57	16 053 454,51
61 945,49	10 846,16	365 525,91	1 682,44	7 572 803 450,90	11 713 613 424,28	107 830,85	16 083 255,40
189 634,81	33 199,57	212 157,06	5 008,55	7 815 490 335,02	13 827 610 721,39	112 635,39	15 990 572,61
32 953,86	5 772,07	400 301,51	972,57	7 517 703 060,58	11 233 644 822,91	106 740,01	16 104 572,19
46 630,36	8 165,09	383 920,32	1 284,22	7 543 695 452,19	11 460 059 527,79	107 254,59	16 094 504,29
37 844,72	6 627,23	394 466,37	1 061,68	7 526 997 578,59	11 314 607 671,43	106 924,02	16 100 969,86
181 210,47	31 723,45	222 326,96	4 739,12	7 799 477 615,46	13 688 127 155,65	112 318,38	15 996 627,07
85 250,50	14 930,59	337 355,90	2 463,01	7 617 101 748,33	12 099 487 148,22	108 707,83	16 066 187,97
<b>347 204,72</b>	<b>60 780,87</b>	<b>23 014,32</b>	<b>9 000,09</b>	<b>8 114 965 356,95</b>	<b>16 436 278 006,33</b>	<b>118 564,18</b>	<b>15 878 957,62</b>
161 980,37	28 359,28	245 337,78	4 322,57	7 762 931 137,04	13 369 777 869,01	111 594,86	16 010 476,64
96 602,41	16 914,31	323 857,87	2 625,42	7 638 673 641,32	12 287 395 512,37	109 134,90	16 057 903,40

Источник / Source: составлено авторами / compiled by the authors.

Задача выглядит так:

$$F(X) = \{B(X), S(X), N(X), G(X)\} \rightarrow \text{ext}, \quad (1)$$

$$B(X) = \sum_{i=1}^n r \beta X_i C + \sum_{i=1}^n h \gamma X_i P_i \rightarrow \max, \quad (2)$$

$$S(X) = \sum_{i=1}^n (P_i - C) X_i \rightarrow \max, \quad (3)$$

$$N(X) = \frac{\sum_{i=1}^n P_i X_i}{\sum_{i=1}^n X_i} \rightarrow \min, \quad (4)$$

$$G(X) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (L_i \cdot U_i - X_i)^2} \rightarrow \min, \quad (5)$$

где  $i = (1, n)$  — номер вида квартир.В  $t$ -м году будут рассматриваться: $X_i$  — количество жилья  $i$ -го вида, необходимое для увеличения жилищного фонда (искомая величина в оптимизационной задаче,  $\text{м}^2$ ; $U_i$  — потребность в жилье  $i$ -го вида домохозяйствами, шт. квартир; $L_i$  — средняя площадь жилья  $i$ -го вида,  $\text{м}^2$ ; $C$  — себестоимость  $1 \text{ м}^2$  жилья, руб.; $P_i$  — цена для потребителя при покупке  $1 \text{ м}^2$  квартиры  $i$ -го вида, руб; $\beta$  — доля заемных денежных средств, выданных банком застройщикам для реализации проектов,  $0 < \beta \leq 0,9$ ; $r$  — процентная ставка по кредиту для застройщика; $\gamma$  — доля заемных денежных средств, выданных банком населению для покупки жилья,  $0 < \gamma \leq 0,85$ ; $h$  — процентная ставка по ипотеке для населения. $B(X)$  максимизирует доход банков; $S(X)$  максимизирует прибыль застройщика; $N(X)$  минимизирует среднюю цену квартир для населения; $G(X)$  — сокращение разности между потребностью и количеством жилья для увеличения жилищного фонда.

Множество допустимых решений задано ограничением по количеству строящегося жилья и условиями неотрицательности:

$$\sum_{i=1}^n X_i \leq V, \quad X_i \geq 0. \quad (6)$$

Требуется определить такой вектор  $X = (X_1, X_2, \dots, X_n)$  из этого множества, при котором значение векторной функции  $F(X)$  векторного аргумента достигает своего экстремума (максимума или минимума).

Для решения вышеописанной задачи важно одновременно рассматривать несколько критериев

Таблица 7 / Table 7

Решение многокритериальной задачи по данным 2020 г. / Solution of a multicriteria problem based on 2020 data

Оптимальное решение / Optimal solution				Значение критериев в оптимальной точке / Value of criteria at the optimal point			
$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$B(X)$	$S(X)$	$N(X)$	$G(X)$
<b>0,00</b>	<b>70219,53</b>	<b>335306,00</b>	<b>599147,47</b>	<b>11240842963,57</b>	<b>23949177254,78</b>	<b>72328,78</b>	<b>16 011 903,69</b>
130751,37	127278,04	278830,17	467813,42	11484320449,32	26070061314,53	74439,80	15 904 877,48
122047,34	123479,69	282589,73	476556,23	11468112317,19	25928875519,26	74299,27	15 911 944,86
113087,03	119569,51	286459,98	485556,48	11451426951,08	25783532594,62	74154,61	15 919 228,92
58072,62	95561,80	310222,51	540816,07	11348982347,69	24891158035,76	73266,38	15 964 141,66
23436,49	80446,96	325183,00	575606,54	11284484997,56	24329334446,82	72707,17	15 992 584,89
190225,28	153231,83	253141,45	408074,44	11595069255,77	27034772201,76	75400,03	15 856 807,39
390237,75	240515,15	166749,51	207170,59	11967520667,87	30279122524,71	78629,29	15 698 010,83
272214,25	189010,94	217727,73	325720,08	11747744281,95	28364694022,18	76723,76	15 791 175,72
202676,98	158665,61	247763,14	395567,26	11618256078,64	27236748005,51	75601,06	15 846 792,21
184343,29	150664,99	255682,08	413982,64	11584116152,13	26939361899,48	75305,06	15 861 544,32
323704,10	211480,57	195487,57	274000,76	11843625639,78	29199897467,00	77555,08	15 750 339,17
164787,47	142131,03	264128,87	433625,63	11547700454,47	26622151970,52	74989,33	15 877 320,39
74374,43	102675,74	303181,24	524441,58	11379338627,43	25155585572,57	73529,58	15 950 799,15
164787,47	142131,03	264128,87	433625,63	11547700454,47	26622151970,52	74989,33	15 877 320,39
312444,89	206567,17	200350,79	285310,14	11822659409,07	29017264822,24	77373,30	15 759 243,59
429542,97	257667,53	149772,30	167690,20	12040712551,13	30916682395,02	79263,88	15 667 332,14
143739,68	132946,00	273220,10	454767,22	11508506496,92	26280741199,13	74649,50	15 894 346,70
36322,44	86070,26	319617,14	562663,16	11308480453,31	24538354088,36	72915,22	15 981 987,92
335134,21	216468,55	190550,53	262519,71	11864910119,41	29385302363,46	77739,62	15 741 314,10
16192,68	77285,84	328311,85	582882,63	11270995999,05	24211834464,01	72590,22	15 998 549,73
110822,37	118581,24	287438,17	487831,22	11447209839,84	25746798200,90	74118,04	15 921 071,29
96455,42	112311,65	293643,73	502262,20	11420456542,36	25513755552,30	73886,08	15 932 772,21
<b>433968,89</b>	<b>259598,96</b>	<b>147860,59</b>	<b>163244,55</b>	<b>12048954230,65</b>	<b>30988474128,53</b>	<b>79335,34</b>	<b>15 663 888,58</b>
47092,53	90770,21	314965,18	551845,08	11328535876,45	24713052907,97	73089,11	15 973 144,61
86497,38	107966,07	297944,92	512264,63	11401913270,24	25352228791,08	73725,31	15 940 895,45

Источник / Source: составлено авторами / compiled by the authors.

и ограничений [18]. В данном исследовании мы использовали MATLAB (версия R2019), являющийся высокотехнологичным программным продуктом [19], воспользовавшись его многокритериальным генетическим алгоритмом (gamultiobj). Такой выбор был сделан, так как «генетические алгоритмы являются эффективным инструментом и могут применяться для решения широкого класса прикладных задач многокритериальной условной оптимизации» [15].

Входные данные для расчетов по 2023 г. следующие:

$n = 4$  — число типов квартир, шт.;

$V = 440\,000$  — планируемый ввод жилья<sup>3</sup>, м<sup>2</sup>;

$C = 81\,209$  — себестоимость 1 м<sup>2</sup> жилья;

$P = [120\,510; 114\,330; 105\,500; 105\,500]$ ; — цена для потребителя при покупке 1 м<sup>2</sup> квартиры  $i$ -го вида, руб.;

$\beta = 0,85$  — доля заемных денег для застройщиков;

$r = 0,07$  — процентная ставка по кредиту для застройщиков;

$\gamma = 0,7$  — доля заемных денег для населения;

$h = 0,164$  — процентная ставка по ипотеке для населения;

$L = (33; 42; 54; 72)$  — средняя площадь квартир, м<sup>2</sup>;

$U = [421\,416; 167\,879; 58\,568; 43\,071]$  — потребность в жилье  $i$ -го вида домохозяйств, шт. квартир.

<sup>3</sup> В Иркутской области планируют построить 460 тыс. кв. м нового жилья в 2023 году. Областная. 01.07.2023. URL: <https://www.ogirk.ru/2023/07/01/v-irkutskoj-oblasti-planirujut-postroit-460-tys-kv-m-novogo-zhilja-v-2023-godu/> (дата обращения: 04.07.2024 г.).

Найденные Парето-оптимальные решения представлены в табл. 6.

Так как все точки Парето-эффективного множества в пространстве решений равноценны с точки зрения теории многокритериальной оптимизации, то лицо, принимающее решение, играет главную роль.

В данном множестве решений выбор очевиден: при максимальных значениях критериев  $B(X)$  и  $S(X)$  и минимальном  $G(X)$  решение находится в точке  $X = (347205; 60781; 23014; 9000)$ , которая указывает, какое количество квадратных метров квартир разной комнатности нужно строить. В табл. 6 эта строка выделена желтым (светлым), и значение  $N(X)$  в ней не самое наименьшее. Но идти на этот компромисс вынуждено именно население, хотя для него в контексте средневзвешенной цены за 1 м<sup>2</sup> выгоднее точка, выделенная в табл. 6 оранжевым (более темным) цветом, т.е. с позиции граждан разумнее строить трехкомнатные квартиры.

Вариант расчета по данным 2020 г. представлен в табл. 7.

Исходная информация по 2020 г. такова:

$r = 0,07; \beta = 0,85; \gamma = 0,7; h = 0,085; C = 48\,491;$

$P = (84\,357; 80\,031; 71\,750; 71\,750);$

$L = (33; 42; 54; 72);$

$U = (421\,416; 167\,879; 58\,568; 43\,071);$

$V = 1\,004\,673$  [20].

Лучшее для населения выделено оранжевым цветом (темным тоном), для государства, застройщиков и банков — желтым (более светлым тоном).

Таблица 8 / Table 8

Структура решений в 2020 и 2023 гг., % / Structure of decisions in 2020 and 2023, %

Год / Year	2020		2023	
	Застройщики, банки, государство / Developers, banks, state	Население / Population	Застройщики, банки, государство / Developers, banks, state	Население / Population
Однокомнатные квартиры	43	0	79	0
Двухкомнатные квартиры	26	7	14	0
Трехкомнатные квартиры	15	33	5	100
Четырехкомнатные (и более) квартиры	16	60	2	0

Источник / Source: Составлена и рассчитана авторами / Compiled and calculated by the authors.

Максимальные значения критериев  $B(X)$  и  $S(X)$  и минимальное  $G(X)$  достигается в точке  $X^* = (433969; 259599; 147861; 163245)^4$

С точки зрения населения разумнее

$X^* = (0; 70220; 335306; 599147)^5$

Сравнение по структуре решений, полученных в 2020 и 2023 гг., представлено в табл. 8.

## ВЫВОДЫ

По итогам работы можно сделать вывод, что исследовательская задача решена. Авторами статьи показано, что точки, где интересы экономических субъектов согласуются, существуют, и лицу, принимающему решение, есть из чего выбирать. Среди четырех рассматриваемых субъектов застройщики, банки и государство являются более активными, принимающими решения и влияющими на их параметры. Возможности населения при этом ущемлены в плане стоимости: потребитель платит за все. Однако полученные результаты можно объяснить по-другому: по сути, критерий

$G(X)$  отвечает не только интересам государства, но и в первую очередь именно населения. Кто как не домохозяйства заинтересованы в сокращении разрыва между реальной и «наилучшей» структурой жилищного фонда? Стремление этого показателя к нулю опосредованно говорит о полном соответствии состава домохозяйств необходимой комнатности квартир. Единственно, модель не дает определенного ответа, кто эти квартиры приобретает. Минимальный ценовой фактор (оранжевая строка) подтверждает рыночную истину: чем больше жилплощадь, тем дешевле квадратный метр. Однако это не означает, что все домохозяйства должны приобретать 3- и 4-комнатные квартиры. В такой ситуации только дополнительное государственное регулирование может способствовать минимизации разрыва между реальной ситуацией и идеальной потребностью населения в жилье. В этом случае представленная модель становится необходимым инструментом согласования интересов всех субъектов жилищно-строительного комплекса для поддержания устойчивости его существования в непростой макросреде.

<sup>4</sup> \* означает оптимальное значение величины  $X$ .

<sup>5</sup> То же.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Абдеев Р.Ф. Философия информационной цивилизации. М.: ВЛАДОС; 1994. 336 с.
2. Назаретян А.П. Нелинейное будущее: сингулярность XXI века как элемент мегаистории. *Век глобализации*. 2015;(2):18–34.
3. Горский Ю.М., Астафьев В.И., Казначеев В.П. и др. Гомеостатика живых, технических, социальных и экономических систем. Новосибирск: Наука; 1990. 350 с.
4. Грушина О.В. Стратегия обеспечения доступности жилья в Российской Федерации. Иркутск: Изд-во БГУ; 2017. 218 с.
5. Колодяжный С.А. и др. Организационно-экономические изменения инвестиционно-строительного комплекса на инновационной основе как процесс обеспечения его устойчивого развития. Воронеж: Воронежский ГАСУ; 2014. 147 с.
6. Шеломенцева Н.Н., Грушина О.В., Красноштанова Т.А. Моделирование согласования интересов экономических субъектов в жилищном строительстве. *Мир новой экономики*. 2023;17(1):103–116. DOI: 10.26794/2220–6469–2022–17–1–103–116
7. Шеломенцева Н.Н. Формирование стратегии предложения жилья застройщиками в условиях проектного финансирования. Автореф. дис. ... канд. экон. наук. Иркутск: БГУ; 2021. 24 с.
8. Грушина О.В., Шеломенцева Н.Н. К проблеме обеспеченности населения доступным и комфортным жильем. *Актуальные проблемы экономики и менеджмента*. 2019;(1):17–25.
9. Нуреев Р.М., Гуляева О.А. Недвижимость домашних хозяйств: институциональный анализ. *Terra Ecomoticus*. 2021;19(2):39–57. DOI: 10.18522/2073–6606–2021–19–2–39–57
10. Макаров Д.А., Юденко М.Н. Системное моделирование экономического взаимодействия участников в сфере жилищного строительства. *Экономика строительства*. 2021;(2):28–38.
11. Liu M., Le Y., Hu Y., Xia B., Skitmore M., Gao X. System dynamics modeling for construction management research: Critical review and future trends. *Journal of Civil Engineering and Management*. 2019;25(8):1–12. DOI: 10.3846/jcem.2019.10518

12. Smith M.J. Dynamic modeling of housing markets: An agent-based approach. *Journal of Economic Dynamics and Control*. 2011;35(9):1454–1471. DOI: 10.1016/j.jedc.2011.03.002
13. Crooks A., Heppenstall A., Malleon N., Manley E. Agent-based modeling and the city: A gallery of applications. In: Shi W., Goodchild M.F., Batty M., Kwan M.P., Zhang A., eds. *Urban informatics*. Singapore: Springer-Verlag; 2021:885–910. (The Urban Book Series). DOI: 10.1007/978-981-15-8983-6\_46
14. Steinbacher M., Raddant M., Karimi F., et al. Advances in agent-based modeling of economic and social behavior. *SN Business & Economics*. 2021;1(7):99. DOI: 10.1007/s43546-021-00103-3
15. Прохорова И. А., Аверьянова С. С. Применение генетических алгоритмов при решении многокритериальных задач. Наука ЮУрГУ: мат. 72-й науч. конф. Челябинск: ЮУрГУ; 2020:112–120. URL: [https://www.researchgate.net/publication/351023529\\_PRIMENENIE\\_GENETICHESKIH\\_ALGORITMOV\\_PRI\\_RESENIИ\\_MNOGOKRITERIALNYH\\_ZADAC](https://www.researchgate.net/publication/351023529_PRIMENENIE_GENETICHESKIH_ALGORITMOV_PRI_RESENIИ_MNOGOKRITERIALNYH_ZADAC) (дата обращения: 16.08.2024).
16. Nan Y., Ishibuchi H., Shu T., Shang K. Analysis of real-world constrained multi-objective problems and performance comparison of multi-objective algorithms. In: Proc. genetic and evolutionary computation conf. (GECCO'24). New York, NY: Association for Computing Machinery; 2024:576–584. DOI: 10.1145/3638529.3653994
17. Шеломенцева Н.Н. Многокритериальная задача в жилищном строительстве. Антоник В.Г., ред. *Динамические системы и компьютерные науки: теория и приложения (DYSC 2023)*. Мат. 5-й Междунар. конф. (Иркутск, 18–23 сентября 2023 г.). Иркутск: Изд-во ИГУ; 2023:221–222.
18. Zhu X., Meng X., Zhang M. Application of multiple criteria decision making methods in construction: A systematic literature review. *Journal of Civil Engineering and Management*. 2021;27(6):372–403. DOI: 10.3846/jcem.2021.15260
19. Холоднов В.А., Лебедева М.Ю., Краснобородько Д.А., Кулишенко Р.Ю. Открытые альтернативы MATLAB для решения многоцелевой оптимизации. *Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета)*. 2020;(54):80–86. DOI: 10.36807/1998-9849-2020-54-80-80-86
20. Куликова А. В Иркутской области в 2021 году жилья ввели на 8,9% больше, чем в 2020 году. Сибдом. 2022. URL: <https://irk.sibdom.ru/news/17339/> (дата обращения: 04.07.2024).

## REFERENCES

1. Abdeev R.F. *Philosophy of information civilization*. Moscow: VLADOS; 1994. 336 p. (In Russ.).
2. Nazaretyan A.P. The nonlinear future: Singularity of the 21<sup>st</sup> century as an element of megahistory. *Vek globalizatsii = Age of Globalization*. 2015;(2):18–34. (In Russ.).
3. Gorskii Yu.M., Astaf'ev V.I., Kaznacheev V.P., et al. *Homeostatics of living, technical, social and economic systems*. Novosibirsk: Nauka; 1990. 350 p. (In Russ.).
4. Grushina O.V. *Strategy for ensuring housing affordability in the Russian Federation*. Irkutsk: Baikal State University; 2017. 218 p. (In Russ.).
5. Kolodyazhny S.A., et al. *Organizational and economic changes in the investment and construction complex on an innovative basis as a process of ensuring its sustainable development*. Voronezh: Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering; 2014. 147 p. (In Russ.).
6. Shelomentseva N.N., Grushina O.V., Krasnoshtanova T.A. Simulation of interest coordination of economic subjects in housing construction. *Mir novoi ekonomiki = The World of New Economy*. 2023;17(1):103–116. (In Russ.). DOI: 10.26794/2220-6469-2023-17-1-103-116
7. Shelomentseva N.N. *Formation of a strategy for housing supply by developers in the context of project financing*. Cand. econ. sci. diss. Synopsis. Irkutsk: Baikal State University; 2021. 24 p. (In Russ.).
8. Grushina O.V., Shelomentseva N.N. On the problem of providing people with comfortable and affordable housing. *Aktual'nye problemy ekonomiki i menedzhmenta = Actual Problems of Economics and Management*. 2019;(1):17–25. (In Russ.).
9. Nureev R.M., Gulyaeva O.A. Institutional analysis of housing in Russia. *Terra Economicus*. 2021;19(2):39–57. (In Russ.). DOI: 10.18522/2073-6606-2021-19-2-39-57
10. Makarov D.A., Yudenko M.N. Systemic modelling of economic interaction in sphere of housing construction. *Ekonomika stroitel'stva = Economics of Construction*. 2021;(2):28–38. (In Russ.).

11. Liu M., Le Y., Hu Y., Xia B., Skitmore M., Gao X. System dynamics modeling for construction management research: Critical review and future trends. *Journal of Civil Engineering and Management*. 2019;25(8):1–12. DOI: 10.3846/jcem.2019.10518
12. Smith M.J. Dynamic modeling of housing markets: An agent-based approach. *Journal of Economic Dynamics and Control*. 2011;35(9):1454–1471. DOI: 10.1016/j.jedc.2011.03.002
13. Crooks A., Heppenstall A., Malleon N., Manley E. Agent-based modeling and the city: A gallery of applications. In: Shi W., Goodchild M.F., Batty M., Kwan M.P., Zhang A., eds. *Urban informatics*. Singapore: Springer-Verlag; 2021:885–910. (The Urban Book Series). DOI: 10.1007/978-981-15-8983-6\_46
14. Steinbacher M., Raddant M., Karimi F., et al. Advances in agent-based modeling of economic and social behavior. *SN Business & Economics*. 2021;1(7):99. DOI: 10.1007/s43546-021-00103-3
15. Prokhorova I.A., Averyanova S.S. Application of genetic algorithms in solving multicriteria problems. In: *Science of SUSU: Proc. 72<sup>nd</sup> sci. conf.* Chelyabinsk: South Ural State University; 2020:112–120. URL: [https://www.researchgate.net/publication/351023529\\_PRIMENENIE\\_GENETICHESKIH\\_ALGORITMOV\\_PRI\\_RESENII\\_MNOGOKRITERIALNYH\\_ZADAC](https://www.researchgate.net/publication/351023529_PRIMENENIE_GENETICHESKIH_ALGORITMOV_PRI_RESENII_MNOGOKRITERIALNYH_ZADAC) (accessed on 16.08.2024). (In Russ.).
16. Nan Y., Ishibuchi H., Shu T., Shang K. Analysis of real-world constrained multi-objective problems and performance comparison of multi-objective algorithms. In: *Proc. genetic and evolutionary computation conf. (GECCO'24)*. New York, NY: Association for Computing Machinery; 2024:576–584. DOI: 10.1145/3638529.3653994
17. Shelomentseva N.N. Multicriteria problem in housing construction. In: Antonik V.G., ed. *Dynamic systems and computer science: Theory and applications (DYSC 2023)*. Proc. 5<sup>th</sup> Int. conf. (Irkutsk, September 18–23, 2023). Irkutsk: Irkutsk State University Publ.; 2023:221–222. (In Russ.).
18. Zhu X., Meng X., Zhang M. Application of multiple criteria decision making methods in construction: A systematic literature review. *Journal of Civil Engineering and Management*. 2021;27(6):372–403. DOI: 10.3846/jcem.2021.15260
19. Kholodnov V.A., Lebedeva M. Yu., Krasnoborodko D.A., Kulishenko R. Yu. Open alternatives to MATLAB to solve multi-purpose optimization problem. *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo instituta (tekhnicheskogo universiteta) = Bulletin of the Saint Petersburg State Institute of Technology (Technical University)*. 2020;(54):80–86. (In Russ.). DOI: 10.36807/1998-9849-2020-54-80-80-86
20. Kulikova A. In the Irkutsk region in 2021, 8.9% more housing was commissioned than in 2020. *Sibdom*. 2022. URL: <https://irk.sibdom.ru/news/17339/> (accessed on 04.07.2024). (In Russ.).

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / ABOUT THE AUTHORS



**Наталья Николаевна Шеломенцева** — кандидат экономических наук, доцент кафедры вычислительной математики и оптимизации, Иркутский государственный университет, Иркутск, Россия

**Natalya N. Shelomentseva** — Cand. Sci. (Econ.), Assoc. Prof., Department of Computational Mathematics and Optimization, Irkutsk State University, Irkutsk, Russia

<https://orcid.org/0000-0002-5644-3455>

*Автор для корреспонденции / Corresponding author:*

[natshel@bk.ru](mailto:natshel@bk.ru)



**Ольга Валерьевна Грушина** — доктор экономических наук, доцент, профессор кафедры экономики строительства и управления недвижимостью, Байкальский государственный университет, Иркутск, Россия

**Olga V. Grushina** — Dr. Sci. (Econ.), Assoc. Prof., Department of Construction Economics and Real Estate Management, Baikal State University, Irkutsk, Russia

<https://orcid.org/0000-0002-1986-308X>

[olga7771972@mail.ru](mailto:olga7771972@mail.ru)

**Заявленный вклад авторов**

**Н.Н. Шеломенцева** — построение наилучшей структуры по числу комнат в индивидуальных домах и квартирах для Иркутской области по данным переписи 2010 и 2020 годов; разработка многокритериальной экономико-математической модели согласования интересов экономических субъектов в жилищном строительстве и численные эксперименты по модели.

**О.В. Грушина** — разработка общей концепции статьи, обоснование применения системно-информационного подхода к управлению устойчивости жилищно-строительного комплекса, анализ обеспеченности жильем в разрезе домохозяйств по данным переписей 2002, 2010 и 2020 гг.

**Authors' declared contribution**

**N.N. Shelomentseva** — construction of the best structure by the number of rooms in individual houses and apartments for the Irkutsk region based on the 2010 and 2020 censuses; development of a multi-criteria economic and mathematical model for coordinating the interests of economic entities in housing construction and numerical experiments on the model.

**O.V. Grushina** — development of the general concept of the article, justification for the application of a system-information approach to managing the sustainability of the housing construction complex, analysis of housing provision by households based on the 2002, 2010 and 2020 censuses.

*Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.*

*Conflicts of Interest Statement: The authors have no conflicts of interest to declare.*

*Статья поступила в редакцию 30.09.2024; после рецензирования 28.10.2024; принята к публикации 27.01.2025.*

*Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.*

*The article was submitted on 30.09.2024; revised on 28.10.2024 and accepted for publication on 27.01.2025.*

*The authors read and approved the final version of the manuscript.*