

**ЯСНИЦКИЙ ВИТАЛИЙ ЛЕОНИДОВИЧ**

**НЕЙРОСЕТЕВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ  
МАССОВОЙ ОЦЕНКИ И СЦЕНАРНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ  
РЫНОЧНОЙ СТОИМОСТИ ЖИЛОЙ НЕДВИЖИМОСТИ**

**08.00.13 – Математические и инструментальные методы экономики**

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата экономических наук

**Пермь 2018**

Диссертационная работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет».

**Научный руководитель:** доктор технических наук, профессор  
**Харитонов Валерий Алексеевич**

**Официальные оппоненты:** **Бирюков Александр Николаевич**  
доктор экономических наук, профессор,  
Стерлитамакский филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Башкирский государственный университет»,  
профессор кафедры "Экономическая теория и анализ"

**Стерник Сергей Геннадьевич**  
доктор экономических наук, профессор,  
федеральное государственное образовательное бюджетное учреждение высшего образования «Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации»,  
профессор Департамента корпоративных финансов и корпоративного управления

**Ведущая организация:** **Федеральное государственного бюджетное учреждение науки Институт народнохозяйственного прогнозирования Российской академии наук, г.Москва**

Защита состоится «19» июня 2018 г. в 13:30 на заседании диссертационного совета Д 999.165.02 на базе ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» и ФГБОУ ВО «Пермский государственный национальный исследовательский университет» по адресу: 614990, г. Пермь, Комсомольский проспект, дом 29, аудитория 423б.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеках и на сайтах ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» (<http://www.pstu.ru>) и ФГБОУ ВО «Пермский государственный национальный исследовательский университет» (<http://www.psu.ru>).

Автореферат разослан 21 апреля 2018 г.

Ученый секретарь диссертационного совета  
доктор экономических наук, доцент

Е.Е. Жуланов

## I. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность исследования.** Повышение эффективности функционирования рынка жилой недвижимости является масштабной экономической народно-хозяйственной задачей, что обусловлено большим объемом задействованных материальных, финансовых и трудовых ресурсов. Достоверная массовая оценка и прогнозирование рыночной стоимости объектов жилой недвижимости (далее ОЖН) являются одним из способов повышения эффективности рынка жилой недвижимости. Однако процесс определения и прогнозирования рыночной стоимости имеет высокую степень сложности, что обусловлено как зависимостью рыночных процессов от множества мезо- и макроэкономических факторов российской экономики, так и особенностями системы региональных рынков недвижимости, отличающих ее от рынков недвижимости стран с развитой экономикой, а также от прочих товарных рынков. Поэтому эти экономические процессы преимущественно исследуются с помощью методов экономико-математического моделирования.

Несмотря на многочисленные исследования, все существующие на сегодняшний день экономико-математические модели, предназначенные для решения данных задач, имеют общие недостатки:

1. В силу того, что в процессе моделирования учитываются строительно-эксплуатационные характеристики и не учитываются макроэкономические параметры внешней экономической среды, существующие модели теряют свою актуальность при изменении экономической ситуации, не универсальны для локальных рынков. Кроме того, данные модели не учитывают мезоэкономические (региональные) факторы и не пригодны для сценарного прогнозирования рыночной стоимости, что также ограничивает их применение в задачах планирования.

2. В существующие модели, построенные на основе традиционно используемого корреляционно-регрессионного анализа, разработчиком закладывается допущение о характере моделируемого рыночного процесса, поэтому существует высокая вероятность некорректной работы моделей в случае перелома рыночной тенденции, что особенно актуально для развивающейся экономики РФ.

Исходя из указанных недостатков существующих моделей, была сформулирована **гипотеза исследования**, которая состоит в том, что эти недостатки могут быть устранены путем комплексного учета мезо- и макроэкономических факторов внешней среды на основе нейросетевого моделирования процессов массовой оценки и сценарного прогнозирования стоимости недвижимости, не требующего допущений о характере протекающих экономических процессов.

На основании вышесказанного **актуальность исследования** обусловлена необходимостью совершенствования теоретических положений и экономико-математических методов моделирования процессов массовой оценки и сценарного прогнозирования рыночной стоимости жилой недвижимости, более приспособленных к исследованию экономических систем, устойчивых к измене-

нию макроэкономических факторов и адаптируемых к специфике локальных рынков недвижимости за счет учета мезоэкономических факторов.

**Степень разработанности проблемы.** Проблемам исследования рынка недвижимости и разработке математических моделей оценки стоимости посвящены работы: С.В. Грибовского, Г.М. Стерника, С.Г. Стерника, С.А. Сивца, М.А. Федотовой, Д.Б. Житковой, Д.К. Эккерта, Р.Дж. Глаудеманса, Р.Р. Олми, Д. Фридмана, Н. Ордуэй, М.Ю. Молчановой, А.В. Печенкиной, В.Б. Безрукова, Е.И. Тарасевича, И.П. Савельева, И.М. Цало, И.А. Левыкина, Л.А. Баширова. Данными авторами были сформулированы и предложены основные методы анализа рынка и оценки объектов жилой недвижимости. Наибольшее распространение в направлении разработки моделей массовой оценки рыночной стоимости жилой недвижимости получили два подхода, основанные на корреляционно-регрессионном анализе и дискретно пространственно-параметрическом моделировании. В исследованиях встречаются различные модификации регрессионных моделей с введением множества поправочных коэффициентов, учитывающих строительно-эксплуатационные свойства ОЖН, однако не учитывающих внешние экономические параметры.

Разработке и применению альтернативных моделей массовой оценки объектов недвижимости на основе математического аппарата искусственных нейронных сетей посвящены работы зарубежных исследователей. Проблемы применения нейронных сетей в системах массовой оценки недвижимости изучались в работах: Д.П. Тай (D.P. Tay), Д.К. Хо (D.K. Ho), А. Эванса (A. Evans), Х. Джеймса (H. James), А. Колинса (A. Collins), А.К. До (A.Q. Do) и Г. Груднитски (G. Grudnitski), В.Д. Макласки (W.J. McCluskey), С. Бэкера (C. Becker), А.Р. Моррисона (A.R. Morrison), Р.А. Борста (R.A. Borst), Б. Кари (B. Curry), П. Моргана (P. Morgan), М. Силвера (M. Silver), М.А. Гонсалеса (M.A.S. Gonzalez), С.Т. Формозо (S.T. Formoso), Дж. Килпатрика (J. Kilpatrick), В. Контримаса (V. Kontrimas), Дж. Гринвуда (J. Greenwood), З. Херковитца (Z. Hercowitz). В исследованиях показано, что применение аппарата искусственных нейронных сетей в задаче оценки стоимости недвижимости более эффективно, чем использование классических многомерных регрессионных моделей. Однако внешние экономические параметры в этих моделях тоже не рассматриваются. Поэтому модели теряют актуальность и требуют постоянной корректировки, поскольку не учитывают происходящие изменения экономической среды. По этим же причинам указанные модели неприменимы для целей сценарного прогнозирования. Они описывают процессы только статическим образом, не учитывая динамические параметры, что обуславливает необходимость их доработки.

Следует отметить, что имеется серия работ (Г.М. Стерник, С.Г. Стерник, С. Бэкер, А.Р. Моррисон, Дж. Гроинвуд, З. Херковитс, М.Ю. Молчанова, А.В. Печенкина), посвященных разработке экономико-математических моделей рынков недвижимости, которые учитывают макроэкономические параметры, и потому пригодных для среднесрочного прогнозирования. Однако эти модели относятся к классу динамических и предназначены исключительно для изучения и моделирования динамики рынка в целом.

Таким образом, с одной стороны, имеется достаточно много исследований, посвященных созданию статических моделей, предназначенных для массовой оценки объектов недвижимости и учитывающих их строительные, эксплуатационные, географические характеристики, но не рассматривающих факторы меняющейся внешней экономической среды. В связи с этим они требуют постоянной актуализации, поскольку не способны адаптироваться к другим локальным рынкам и непригодны для сценарного прогнозирования развития рынков. С другой стороны, существуют динамические модели, учитывающие общее состояние экономики и предназначенные для прогнозирования и исследования общей ценовой ситуации на рынке недвижимости, но не для массовой оценки стоимости отдельных объектов недвижимости. Однако в ходе анализа литературных источников не обнаружено попыток создания комплексных моделей, совмещающих свойства статических и динамических моделей. Все вышесказанное определило объект, предмет и цель исследования.

**Объектом исследования** является система региональных рынков жилой недвижимости.

**Предмет исследования** – экономические процессы массовой оценки и сценарного прогнозирования рыночной стоимости жилой недвижимости на региональных рынках.

**Целью исследования** является развитие теории и методов массовой оценки рыночной стоимости жилой недвижимости на основе нейросетевого моделирования, предусматривающего учет мезо- и макроэкономических факторов.

Для достижения данной цели были поставлены следующие задачи:

1. Сформулировать комплекс теоретических положений, обосновывающих авторскую технологию нейросетевого моделирования процессов массовой оценки и сценарного прогнозирования рыночной стоимости жилой недвижимости, учитывающую мезо- и макроэкономические факторы.

2. Разработать комплексные нейросетевые модели реальных процессов массовой оценки локальных рынков объектов жилой недвижимости. Исследовать эффективность моделей процессов массовой оценки рыночной стоимости объектов локальных рынков жилой недвижимости.

3. Разработать систему поддержки принятия решений для профессиональных участников рынка недвижимости на основе нейросетевого моделирования процессов сценарного прогнозирования рыночной стоимости объектов жилой недвижимости.

Область исследования соответствует паспорту научной специальности ВАК РФ 08.00.13 «Математические и инструментальные методы экономики» по следующим пунктам: п.1.2 «Теория и методология экономико-математического моделирования, исследование его возможностей и диапазонов применения: теоретические и методологические вопросы отображения социально-экономических процессов и систем в виде математических, информационных и компьютерных моделей»; п.1.4 «Разработка и исследование моделей и математических методов анализа микроэкономических процессов и систем: отраслей народного хозяйства, фирм и предприятий, домашних хозяйств, рынков, меха-

низмов формирования спроса и потребления, способов количественной оценки предпринимательских рисков и обоснования инвестиционных решений»; п. 2.3 «Разработка систем поддержки принятия решений для рационализации организационных структур и оптимизации управления экономикой на всех уровнях».

**Теоретической и методологической основой** исследования являются труды отечественных и зарубежных ученых в области экономической теории, математической статистики, теории искусственных нейронных сетей, а также работы в области отраслевых дисциплин: экономики недвижимости, теории отраслевых рынков, работы в области экономико-математического моделирования, а также оценки недвижимости и прогнозирования рынка.

**Информационной базой** исследования являлись ретроспективные данные за 2006–2016 гг., а именно данные агентств недвижимости, Уральской палаты недвижимости, Федерального агентства недвижимости «Этажи», материалы информационных агентств, данные Федеральной службы государственной статистики РФ, Центрального банка России, Министерства финансов РФ, Министерства экономического развития РФ, а также материалы и данные, полученные в процессе исследования и аккумулированные в информационных системах. Совокупность конкретных данных об исследуемых рынках недвижимости и экономических показателей для конкретных регионов была систематизирована и оформлена в виде базы данных для ЭВМ.

**Научная новизна.** В процессе исследования автором получены следующие результаты, определяющие научную новизну и являющиеся предметом защиты:

1. Сформулирован ряд теоретических положений, определяющих требования к технологии моделирования процессов массовой оценки и сценарного прогнозирования объектов жилой недвижимости, отличающихся комплексным нейросетевым моделированием, позволяющим получить преимущества существующих динамических и статических моделей, учесть внутренние и внешние факторы рынка недвижимости и отказаться от предположений о законах распределения статистических величин (п. 1.2 *«Теория и методология экономико-математического моделирования, исследование его возможностей и диапазонов применения: теоретические и методологические вопросы отображения социально-экономических процессов и систем в виде математических, информационных и компьютерных моделей»* паспорта специальности 08.00.13 ВАК РФ) (Глава 2, параграф 2.1.5 стр. 64 – 83).

2. Разработаны комплексные нейросетевые модели реальных процессов массовой оценки объектов жилой недвижимости, отличающиеся набором входных параметров, учитывающих статистически значимые внешние и внутренние факторы спроса и предложения на рынке жилой недвижимости, одним скрытым слоем нейронов и сигмоидными активационными функциями. Разработанные нейросетевые модели обеспечивают более высокую точность результатов моделирования по сравнению с традиционно применяемыми регрессионными моделями, а также обладают устойчивостью к динамическому изменению макро- и мезоэкономической ситуации на рынках жилой недвижимости. Данные свойства подтверждены серией вычислительных экспериментов (п. 1.4 *«Разра-*

*ботка и исследование моделей и математических методов анализа микроэкономических процессов и систем: отраслей народного хозяйства, фирм и предприятий, домашних хозяйств, рынков, механизмов формирования спроса и потребления, способов количественной оценки предпринимательских рисков и обоснования инвестиционных решений»* паспорта специальности 08.00.13 ВАК РФ) (Глава 2, параграф 2.2.1 стр. 83 - 89, параграф 2.3.1 стр. 90 – 91, параграф 2.3.2 стр. 91 – 94, параграф 2.3.3 стр. 94 – 95).

3. Разработана система поддержки принятия решений для профессиональных участников рынка жилой недвижимости, основанная на нейросетевом моделировании процессов сценарного прогнозирования рыночной стоимости. Предложенная система поддержки принятия решений позволяет повысить уровень обоснованности решений профессиональных участников рынка жилой недвижимости за счет установления степени чувствительности рыночной стоимости к изменениям ключевых ценообразующих факторов. Наряду с этим данная система обуславливает повышение уровня экономического обоснования решений профессиональных участников рынка недвижимости (п. 2.3 *«Разработка систем поддержки принятия решений для рационализации организационных структур и оптимизации управления экономикой на всех уровнях»* паспорта специальности 08.00.13 ВАК РФ) (Глава 3, параграф 3.1 стр. 98 – 103, параграф 3.2 стр. 104 – 123).

**Теоретическая значимость** диссертации заключается в том, что теоретические положения и разработанные модели массовой оценки снижают неопределенность экономических процессов ценообразования на рынке жилой недвижимости и позволяют решить важную задачу повышения точности экономического обоснования и прогнозирования рыночной стоимости ОЖН.

**Практическая значимость** исследования заключается в возможности:

1) применения разработанных экономико-математических моделей в задаче массовой оценки объектов жилой недвижимости государственными органами управления, прежде всего государственными бюджетными учреждениями, уполномоченными проводить государственную кадастровую оценку для расчета налога на имущество согласно новым принципам, при которых используется кадастровая стоимость ОЖН (рыночная стоимость, определенная и утвержденная на дату). Данная стоимость может быть получена с помощью разработанных моделей;

2) использования полученных результатов при расчете сценариев развития регионального рынка жилой недвижимости. Данный анализ может проводиться с различными целями в интересах разных заказчиков при выполнении различных задач: отраслевого экономического анализа, стратегического и оперативного менеджмента в компании, аналитического и консалтингового обеспечения инвестиционно-строительной деятельности профессиональных участников рынка жилой недвижимости, таких как инвестиционные и строительные компании, банковские и страховые организации, агентства недвижимости, профессиональные оценщики, а также собственники жилья.

**Степень достоверности и апробация работы.** Достоверность полученных результатов подтверждается обоснованным использованием методов

нейросетевого моделирования в задачах массовой оценки и сценарного прогнозирования рыночной стоимости жилой недвижимости; непротиворечивостью результатов основным положениям экономической теории, отраслевой экономики, результатам выполненных ранее исследований, результатам, полученным с помощью традиционных подходов моделирования, реальным данным локальных рынков недвижимости г. Перми и Екатеринбурга, а также высокой математической точностью моделирования.

Результаты исследования использованы в деятельности компаний ООО «Рентор», входящей в группу строительных компаний «AVS Development», г. Екатеринбург, в решении задач прогнозирования рынка, что было положено в основу маркетинговой стратегии проекта строительства жилого комплекса ЖК «Монте-Кристо», г. Екатеринбург, ул. Фурманова, 124.

Основные положения диссертации используются в учебном процессе ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» (ПНИПУ) при изучении дисциплин «Оценка недвижимого имущества», «Процессы и методы управления стоимостью недвижимого имущества».

Ключевые положения диссертационного исследования были представлены на международной и всероссийских научно-практических конференциях: «Экономика и управление: проблемы, тенденции, перспективы развития» (2015 г.); «Нейрокомпьютеры и их применение» (г. Москва, 15 марта 2016 г., 14 марта 2017 г.); «Искусственный интеллект в решении актуальных социальных и экономических проблем XXI века» (г. Пермь, 16–17 мая 2017 г.); «Современные технологии в строительстве. Теория и практика» (г. Пермь, 5–7 апреля 2017 г.); семинаре «Международная лаборатория конструктивных методов исследования динамических моделей» (г. Пермь, октябрь 2016 г.).

**Публикации.** По теме диссертационного исследования опубликовано 12 научных работ, в том числе одна публикация в базе Scopus, 4 публикации, включенные в перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, объемом 5,25 п. л. (из них 2,84 п. л. авторских), свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

**Структура и объем работы.** Диссертация содержит введение, три главы и заключение, изложенные на 159 страницах машинописного текста. В работу включены 33 рисунка, 19 таблиц, 5 приложений и список литературы, содержащий 167 источников.

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, определены объект и предмет исследования, цели и задачи, раскрыты научная новизна и практическая значимость работы.

В **первой главе** «Критический анализ существующих методов массовой оценки и прогнозирования рыночной стоимости жилой недвижимости» приводятся преимущества и недостатки существующих экономико-математических методов массовой оценки и прогнозирования рыночной стоимости жилой недвижимости, а также обосновывается необходимость развития теории и мето-

дов массовой оценки и сценарного прогнозирования рыночной стоимости ОЖН.

Во **второй главе** «Моделирование процессов массовой оценки рыночной стоимости жилой недвижимости» сформулированы и обоснованы теоретические положения комплексного нейросетевого моделирования процессов массовой оценки рыночной стоимости ОЖН и разработана математическая модель в общем виде. Осуществляется реализация комплексных нейросетевых моделей локальных рынков г. Перми и Екатеринбурга. Исследована эффективность нейросетевых моделей массовой оценки рыночной стоимости объектов жилой недвижимости.

В **третьей главе** «Разработка системы поддержки принятия решений для профессиональных участников рынка жилой недвижимости» описана разработанная автоматизированная информационная система сценарного прогнозирования рыночной стоимости ОЖН, с помощью которой на основе генерации и анализа подмножеств входных параметров с позиции заинтересованности потенциальных заказчиков выполнена серия сценарных прогнозов рыночной стоимости ОЖН, повышающая уровень экономического обоснования принимаемых управленческих решений.

В **заключении** приведены основные выводы по результатам проведенного исследования и предложены пути дальнейшего развития разработанных методов и моделей массовой оценки и сценарного прогнозирования рыночной стоимости ОЖН.

## **II. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ, ВЫНОСИМЫЕ НА ЗАЩИТУ**

**1. Сформулирован ряд теоретических положений, определяющих требования к технологии моделирования процессов массовой оценки и сценарного прогнозирования объектов жилой недвижимости, отличающийся комплексным нейросетевым моделированием, позволяющим получить преимущества существующих динамических и статических моделей, учесть внутренние и внешние факторы рынка недвижимости и отказаться от предположений о законах распределения статистических величин.**

Совокупность приведенных теоретических положений только в комплексе определяет авторский подход к моделированию процессов массовой оценки и сценарного прогнозирования рыночной стоимости ОЖН.

**Положение 1. Статистический подход к моделированию.** Процедура моделирования процессов массовой оценки и сценарного прогнозирования рыночной стоимости должна строиться на математических подходах – методах статистического анализа, принимая форму обобщенной комплексной математической модели.

**Положение 2. Информационный подход к моделированию.** Процедуру моделирования процессов массовой оценки и сценарного прогнозирования необходимо строить на основе информационного подхода. В настоящее время широко распространены аналитический и информационный подходы к моделирова-

нию. Суть аналитического подхода заключается в наложении известных аналитических методов, законов и зависимостей на изучаемую картину реальности. В основе информационного подхода другой принцип: он ориентирован на исследование статистической информации. При этом подходе отправной точкой являются данные, характеризующие исследуемый объект, и модель подстраивается под действительность в процессе её обучения. Таким образом, параметры модели полностью определяются используемой статистической информацией. Это является преимуществом информационного подхода, который лежит в основе большинства современных технологий и методов анализа данных.

**Положение 3. Комплексный подход к моделированию.** Для стабильной работы модели в условиях меняющейся внешней экономической системы, а также для обеспечения прогностических свойств модели необходимо учитывать в составе ценообразующих факторов не только строительно-эксплуатационные характеристики объекта, но и экономические факторы внешней среды: мезо- и макроэкономические параметры.

**Положение 4. Локальный подход к моделированию.** Ключевой особенностью функционирования рынка недвижимости является локальный подход, проявляющийся в географической привязке объектов недвижимости к территории. С этой целью в составе ценообразующих факторов необходимо учесть третью группу факторов: географические характеристики.

**Положение 5. Нейросетевой подход к моделированию.** Основным преимуществом нейросетевых алгоритмов является то, что используется только достоверная, доступная исследователю априорная информация, без привлечения каких-либо дополнительных математических гипотез, что является существенным фактором, обуславливающим адекватность моделируемым явлениям. Главным преимуществом построения искомой обобщенной комплексной нейросетевой модели становится отказ от каких-либо предположений о распределении случайных величин.

**Положение 6. Системный подход к моделированию.** Система входных переменных нейронной сети (рис. 1) в соответствии с положениями 3 и 4 должна включать три группы показателей: внешние экономические, географические, строительно-эксплуатационные. Выходной переменной нейронной сети является рыночная стоимость объекта жилой недвижимости. Для реализации нейросетевой модели достаточно одного скрытого слоя нейронов.

Входные переменные нейронной сети:

$x_1, x_2, \dots, x_N \in X$  – переменные, соответствующие строительно-эксплуатационным параметрам;

$x_{N+1}, x_{N+2}, \dots, x_M \in X$  – переменные, соответствующие внешним экономическим макро- и мезопараметрам;

$x_{M+1}, x_{M+2}, \dots, x_L \in X$  – переменные, соответствующие географическим параметрам, где  $L$  – общее количество входных переменных модели;

$N$  – количество строительно-эксплуатационных переменных;

$M - N$  – количество внешних экономических переменных;

$L - M$  – количество географических переменных.

$k = 1, 2, \dots, K,$

где  $K$  – количество нейронов на скрытом слое;  $n = 1, 2, \dots, N$ ;  $m = N+1, N+2, \dots, M$ ;  $l = M+1, M+2, \dots, L$ ;  $y$  – рыночная стоимость объекта жилой недвижимости.

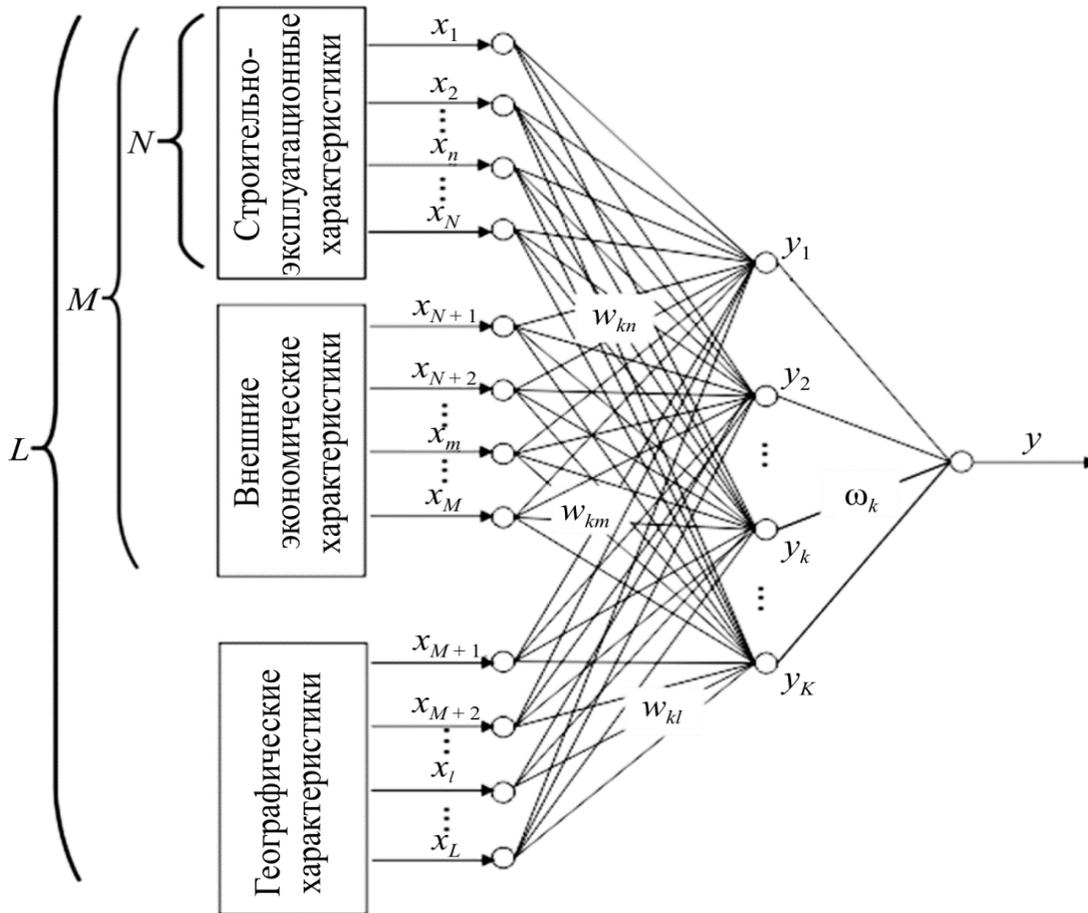


Рис. 1. Концептуальная модель нейронной сети, предназначенной для моделирования процессов массовой оценки рыночной стоимости объектов жилой недвижимости

**Положение 7. Процессный подход к моделированию.** Процедуру моделирования процессов массовой оценки и сценарного прогнозирования рыночной стоимости необходимо выполнять на основе процессного подхода, обеспечивающего интерсубъективность результатов.

На рис. 2 представлен алгоритм, реализующий технологию нейросетевого моделирования процессов массовой оценки и сценарного прогнозирования, отличающийся тем, что множество входных параметров  $X$  включает три группы факторов: внешние экономические параметры, строительно-эксплуатационные параметры и географические параметры. Множество  $D$  является множеством выходных векторов (в данном случае скаляров, соответствующих фактической стоимости ОЖН), используемым для обучения и тестирования нейросетевой модели;  $w_{kn}, w_{kl}, w_{km}, \omega_k$  – синаптические веса (весовые коэффициенты связей), определяемые в результате обучения нейросетевой модели.

Для проектирования нейронной сети на этапе 2 «Проектирование сети» (см. рис. 2) использован пакет нейросетевого моделирования в программной среде Statistica Neural Networks. Обучение сети (этап 3 «Обучение сети» на рис. 2) осуществлено с использованием реальных рыночных данных. С целью проектирования оптимальной структуры нейронной сети исходное множество, согласно

теории построения нейронных сетей, разбивается на три подмножества: обучающее, тестирующее и подтверждающее.

Для оценки качества нейронной сети (этап 4 «Тестирование сети» на рис. 2) используется среднеквадратичная относительная погрешность, рассчитываемая с помощью формулы

$$E = \frac{\sqrt{I^{-1} \cdot \sum_{i=1}^I (d_i - y_i)^2}}{\bar{d}_i} 100 \%, \quad (1)$$

где  $I$  – количество элементов выборки;  $d_i \in D \subset R^+$  – заявленная стоимость  $i$ -й квартиры,  $y_i \in Y \subset R^+$  – стоимость  $i$ -й квартиры, оцененная с помощью нейронной сети. Данная погрешность рассчитывается как на обучающем, так и на тестирующем множествах, что обеспечивает качество обучения и качество прогностических свойств сети. В результате обучения нейросетевой модели происходит корректировка синаптических весов таким образом, чтобы в результате при поступлении на вход сети определенного сигнала сеть выдавала правильный ответ в пределах заданной точности  $E_{O \max}$ .



Рис. 2. Алгоритм нейросетевого моделирования процессов массовой оценки и сценарного прогнозирования рыночной стоимости объектов жилой недвижимости

Задача обучения персептрона (Этап 3 «Обучение сети» и этап 4 «Тестирование сети» на рис. 2) сводится к задаче минимизации функции ошибки пер-

септрона (1). В качестве алгоритма минимизации ошибки обучения использовался метод обратного распространения ошибки.

Результирующее регрессионное уравнение модели генерируется нейронной сетью, состоящей из персептрона с одним скрытым слоем с сигмоидными активационными функциями. На рис. 1 нейронная сеть имеет  $L$  входных нейронов, один скрытый слой с  $K$  сигмоидными нейронами и один выходной нейрон также с сигмоидной активационной функцией.

**2. Разработаны комплексные нейросетевые модели реальных процессов массовой оценки объектов жилой недвижимости, отличающиеся набором входных параметров, учитывающие статистически значимые внешние и внутренние факторы спроса и предложения на рынке жилой недвижимости, одним скрытым слоем нейронов и сигмоидными активационными функциями. Разработанные нейросетевые модели обеспечивают более высокую точность результатов моделирования по сравнению с традиционно применяемыми регрессионными моделями, а также обладают устойчивостью к динамическому изменению макро- и мезоэкономической ситуации на рынках жилой недвижимости. Данные свойства подтверждены серией вычислительных экспериментов.**

Выражение, соответствующее обобщенной комплексной нейросетевой модели процессов массовой оценки, имеет общий вид

$$y = \left( 1 + \exp \left( - \sum_{k=1}^K w_k \left( 1 + \exp \left( - \sum_{n=1}^N w_{kn} x_n - \sum_{m=N+1}^M w_{km} x_m - \sum_{l=M+1}^L w_{kl} x_l \right) \right) \right) \right)^{-1}, \quad (2)$$

где  $w_{kn}$ ,  $w_{kl}$ ,  $w_{km}$ ,  $w_k$  – синаптические веса (весовые коэффициенты связей).

На примере реальных рыночных данных гг. Перми и Екатеринбурга идентифицированы синаптические веса, описывающие вклад исследуемых ценнообразующих факторов в рыночную стоимость жилой недвижимости, в совокупности образующие параметры комплексной нейросетевой обобщенной модели процессов массовой оценки и сценарного прогнозирования ОЖН.

Для обучения и тестирования нейронных сетей в моделях были сформированы множества примеров в виде статистических данных рынков недвижимости г. Екатеринбурга и г. Перми за 10 лет: с 2006 по 2016 г. Таким образом, в множество примеров были включены данные в экономически спокойные для РФ периоды (2006 г.), в период экономического роста (2007 г. – середина 2008 г.), в кризисный и переломный этап российской и мировой экономики (2008 г. – начало 2010 г.), период восстановления после кризиса (2010–2012 гг.), период замедления роста (2013 – начало 2014 г.), сильного спада экономического роста на фоне внешнеэкономической политики, ввода западных санкций, резкого падения цен на нефть и рубль относительно курсов доллара, финансовой блокады и закрытия доступа к международному капиталу (2014–2016 гг.).

В качестве мезо- и макроэкономических показателей использованы внешние и внутренние факторы спроса и предложения при формировании цены на рынке жилой недвижимости, обладающие максимальной мерой статистиче-

ской значимости и исключают автокорреляцию между собой. При выборе мезо- и макроэкономических показателей за основу была взята типовая иерархическая структура факторов ценообразования на рынке ОЖН Г.М. Стерника и С.Г. Стерника, которая укрупненно представлена ниже (рис. 3).

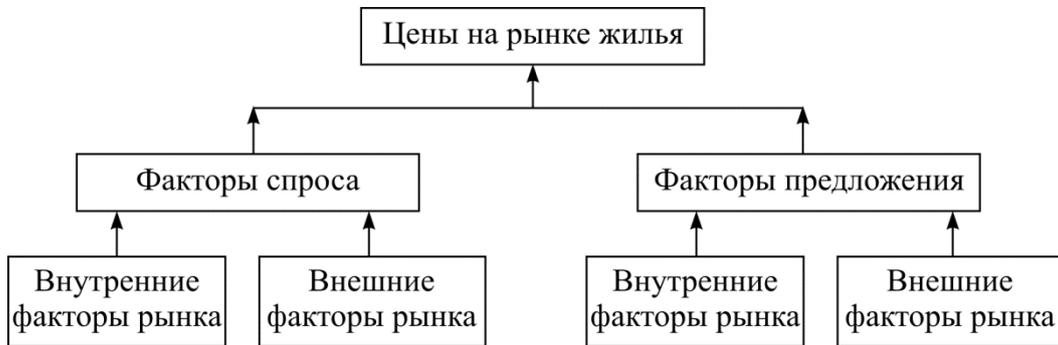


Рис. 3. Укрупненная структура факторов ценообразования на рынке недвижимости

Иерархическая структура факторов ценообразования на рынке недвижимости построена по принципу причинно-следственных связей следующим образом: факторы, оказывающие влияние на другие, но не имеющие зависимости от других факторов, размещены на нижнем уровне, а на верхнем уровне – факторы, которые зависят напрямую или опосредованно от других.

Среди факторов спроса нижнего уровня в состав модели включены следующие макропараметры, в дальнейшем используемые в качестве входных данных моделирования: цена нефти, курс доллара США, валовой внутренний продукт (ВВП), фондовый индекс РТС. В качестве интегрального фактора предложения на рынке жилой недвижимости (см. рис. 3) используется мезоэкономический фактор верхнего уровня «Объем ввода объектов жилой недвижимости» на территории области, являющийся интегральным фактором ресурсного обеспечения строительства, административных условий входа застройщика на рынок, инвестиционной стратегии застройщиков и маркетинговой стратегии продавцов, а также наличия земельных участков под строительство.

В течение рассматриваемого временного периода (10 лет) включенные в модель экономические параметры внешней среды, имеющие высокую статистическую значимость и низкую взаимную корреляцию, менялись в пределах:

Макроэкономические параметры:

- цена нефти Brent – от 40,11 до 126,90 доллара;
- курс доллара США – от 23,45 до 66,49 рубля;
- ВВП – от 26 916,0 до 80 412,5 млрд рублей, измеренный в текущих ценах;
- фондовый индекс РТС – от 625 до 1733 пунктов.

Мезоэкономические параметры модели:

- ввод жилья на территории области/края – от 700,0 до 2483,7 тыс. кв. м;
- выданные жилищные кредиты на территории области/края – от 4369 до 59 829 млн рублей.

Всего информационный базис исследования включал данные о более чем 2000 объектах в каждом городе (Екатеринбурге и Перми) и был разбит на три подмножества: обучающее (70 %), тестирующее (15 %) и подтверждающее

(15 %). Подтверждающее множество используется для окончательной проверки адекватности сети. После очистки множеств от статистических выбросов ошибка на тестирующем и подтверждающем множествах, рассчитанная согласно (1), составила не более 6,5 %. Коэффициент детерминации  $R^2$  на этих множествах (между предсказанными и наблюдаемыми значениями) составил не менее 0,87. Это свидетельствует о том, что построенная аппроксимирующая модель описывает рынок объясняющими входными переменными на 87 %.

Диаграмма, представленная на рис. 4, иллюстрирует результат проверки моделей на тестовых примерах – объектах Екатеринбурга, данные о которых не были использованы при обучении нейронных сетей. Как видно из рисунка, заявленные и оцененные с помощью нейронной сети объекты незначительно различаются между собой, что говорит об адекватности разработанной нейросетевой модели. Для ОЖН г. Перми диаграмма имеет аналогичный вид.

С целью исследования адекватности разработанной нейросетевой модели процесса массовой оценки было выполнено сопоставление результатов нейросетевого моделирования с результатами регрессионного моделирования по двум моделям: линейной и мультипликативной. Для объективности результатов анализа все три модели построены в одном прикладном пакете (Statistica) на одних множествах, относящихся к жилой недвижимости г. Екатеринбурга. Описательные статистики для каждой полученной модели приведены в табл. 1.

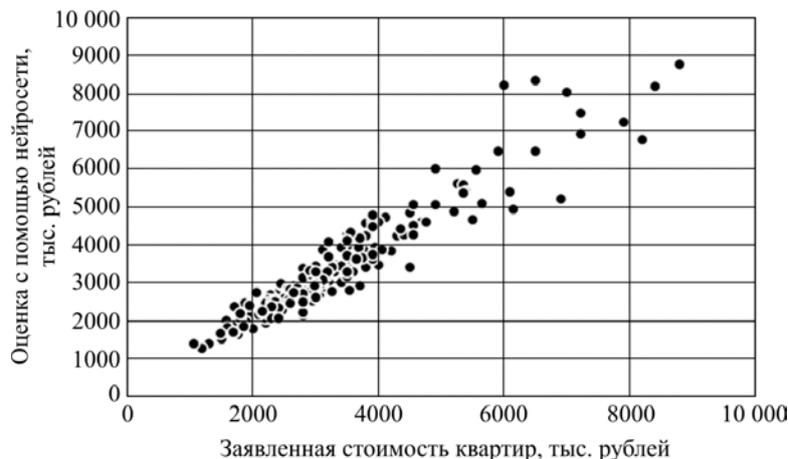


Рис. 4. Диаграмма рассеяния отклонений значений выходного вектора расчетных значений от фактически заявленных значений стоимости

Анализ данных табл. 1 показал, что прогноз, выполненный на тестовом множестве с помощью нейронной сети, имеет наибольшее значение коэффициента детерминации  $R^2$  (87 %) и наименьшую среднеквадратичную относительную погрешность (6,5 %), т.е. позволяет получить наилучший результат. Анализ результатов, полученных при использовании различных моделей, также приведен на графике рис. 5. По оси абсцисс отложены значения отклонений прогнозной стоимости от заявленной, полученные для объектов недвижимости на тестовом множестве (т.е. данные объекты не участвовали при обучении модели).

Описательные характеристики линейной, мультипликативной и нейросетевой моделей массовой оценки рыночной стоимости объектов недвижимости г. Екатеринбурга

Показатель	Линейная регрессионная модель	Мультипликативная регрессионная модель	Нейросетевая модель
Вид уравнения, используемого при моделировании	$Y = A_0 + A_1X_1 + \dots + A_nX_n,$	$Y = B_0 * X_1^{B_1} * X_2^{B_2} \dots X_n^{B_n},$	$y = \left( 1 + \exp \left( - \sum_{k=1}^K w_k \left( 1 + \exp \left( - \sum_{n=1}^N w_{kn} x_n - \sum_{m=N+1}^M w_{km} x_m - \sum_{l=m+1}^L w_{kl} x_l \right) \right) \right) \right)^{-1}$ ,
Коэффициент детерминации $R^2$ , %	84,33	85,16	87
Средняя ошибка аппроксимации, %	10	9,30	6,50

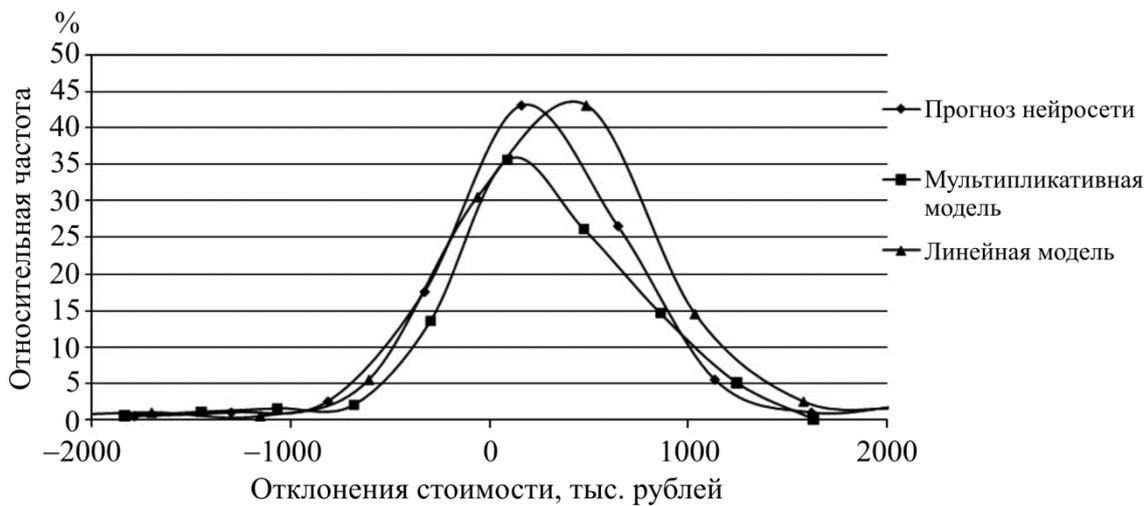


Рис. 5. Распределения частот отклонений прогнозных стоимостей квартир от заявленных на тестовом множестве, полученных с помощью нейросетевой, регрессионной линейной и мультипликативной моделей

По оси ординат отложена относительная частота, т.е. доля объектов тестовой выборки, соответствующая указанным на оси абсцисс отклонениям. Как видно из рисунка, для прогноза, выполненного с помощью нейронной сети, имеется наибольшее количество объектов, отклонение прогнозной стоимости которых от фактической ближе всего находится к нулевому значению, что также говорит о более высоком качестве нейросетевой модели по сравнению с мультипликативной и линейной регрессионными моделями.

Идентифицированные нейросетевые модели обеспечивают более высокую точность результатов моделирования по сравнению с традиционно применяемыми регрессионными моделями.

В результате исследования эффективности моделей массовой оценки рыночной стоимости объектов локальных рынков жилой недвижимости эксперимен-

тально подтверждена выдвинутая ранее гипотеза о возможности построения нейросетевых моделей, устойчивых к динамическому изменению экономической ситуации и адаптируемых к локальным рынкам недвижимости. С целью подтверждения гипотезы о возможности устранения недостатков существующих экономико-математических моделей путем ввода параметров внешней среды, а именно их устойчивости к динамическому изменению экономической ситуации и адаптируемости к локальным рынкам недвижимости, была выполнена серия вычислительных экспериментов. Из нейронной сети, реализующей комплексную модель, были исключены все мезо- и макроэкономические параметры. Далее нейросетевая модель, учитывающая исключительно эксплуатационно-технические характеристики и не учитывающая макро- и мезоэкономические параметры, была обучена с использованием данных квартирного рынка г. Екатеринбурга в 2010 г. На рис. 6, а представлены кривые распределения относительных частот отклонений расчетных прогнозных стоимостей, полученные на тестовых множествах данных выполненных прогнозов, относящихся к периоду 2011–2015 гг. С целью сопоставимости результатов прогнозирования, относящихся к различным временным периодам, данные прогнозирования были приведены к постоянным ценам базового периода (периоду обучения 2010 г.) с помощью индексов потребительских цен по данным Росстата.

Из рисунка видно, что в последующих периодах качество модели ухудшается, что проявляется в снижении прогностических характеристик: происходит смещение кривых распределений относительно нулевого отклонения от заданного значения стоимости. Анализ данных рис. 6, б позволил установить, что комплексная модель ведет себя стабильно и в последующих периодах. Это выражается в меньшей дисперсии распределения величин и меньших отклонениях относительно заданных значений стоимости.

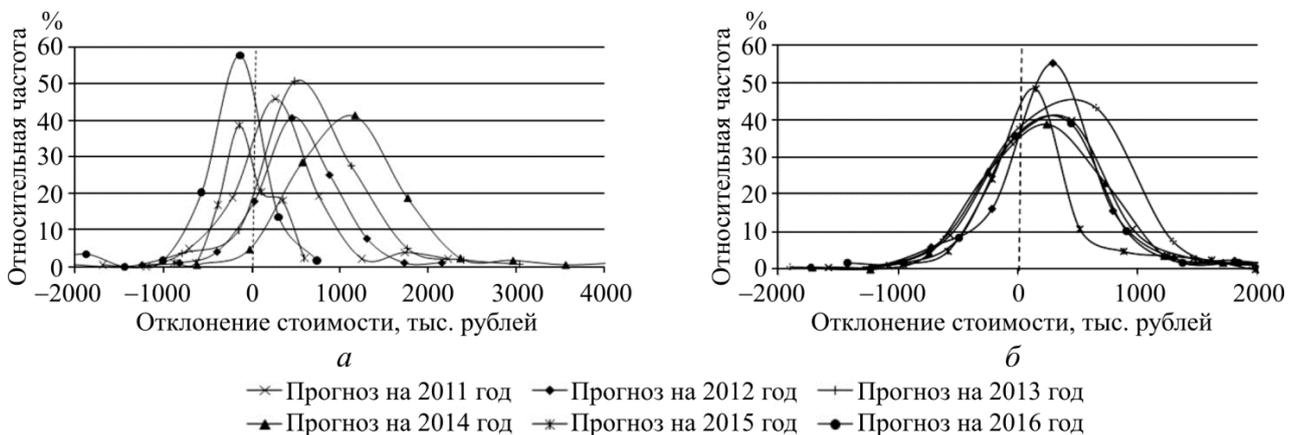


Рис. 6. Кривые распределения относительных частот отклонений расчетных стоимостей квартир от их заявленных стоимостей, полученные путем прогнозирования за период 2011–2016 гг. с помощью традиционной (а) и комплексной (б) моделей

Аналогичный вывод можно сделать, анализируя данные табл. 2, в которой приведены среднеквадратичные относительные погрешности прогнозных оценок объектов, выполненных на данном временном ряде с помощью традиционной и комплексной моделей исследуемых локальных рынков Екатеринбурга и Перми. Идентичность результатов, полученных для рынков двух городов,

является подтверждением того, что нейросетевая модель адаптируема к различным локальным рынкам недвижимости.

Таблица 2

Среднеквадратичные относительные погрешности оценки стоимости квартир, полученные путем прогноза на период 2011–2016 гг., %

Период	Величина погрешности для модели г. Екатеринбурга		Величина погрешности для модели г. Перми	
	модель без учета внешних параметров	комплексная модель	модель без учета внешних параметров	комплексная модель
2011	7,02	5,90	6,80	5,30
2012	8,11	6,90	11,00	7,20
2013	11,72	8,10	14,00	7,50
2014	18,09	7,00	17,20	6,80
2015	8,39	7,60	24,34	6,20
2016	19,53	8,90	28,00	6,50

Данные исследования также показывают, что традиционно применяемые в ряде западных стран модели массовой оценки недвижимости, учитывающие исключительно строительно-эксплуатационные параметры, в условиях нестабильной экономики, характерной для регионов России, не являются устойчивыми и результаты моделирования теряют актуальность. Разработанные исключительно для одного периода, в течение которого экономические параметры внешней среды остаются постоянными, они могут быть применены для массовой оценки стоимости недвижимости в одном только этом временном периоде. Комплексные же модели указанного недостатка не имеют.

Таким образом, экспериментально подтверждено, что данные модели устойчивы к динамическому изменению экономической ситуации и адаптируемы к локальным рынкам недвижимости.

**3. Разработана система поддержки принятия решений для профессиональных участников рынка жилой недвижимости, отличающаяся нейросетевым моделированием процессов сценарного прогнозирования рыночной стоимости. Предложенная система поддержки принятия решений позволяет повысить уровень обоснованности решений профессиональных участников рынка жилой недвижимости за счет установления степени чувствительности рыночной стоимости к изменениям ключевых ценообразующих факторов.**

Автоматизированная система поддержки принятия решений (рис. 7) позволяет генерировать сценарии развития рынка недвижимости, результатом расчета которых является прогноз рыночной стоимости объекта жилой недвижимости.

Система сценариев прогнозирования рыночной стоимости жилой недвижимости является важным элементом системы поддержки принятия решений, которая позволяет повысить уровень обоснованности решений профессиональных участников рынка жилой недвижимости за счет установления степени чувствительности рыночной стоимости к изменениям ключевых ценообразующих факторов.

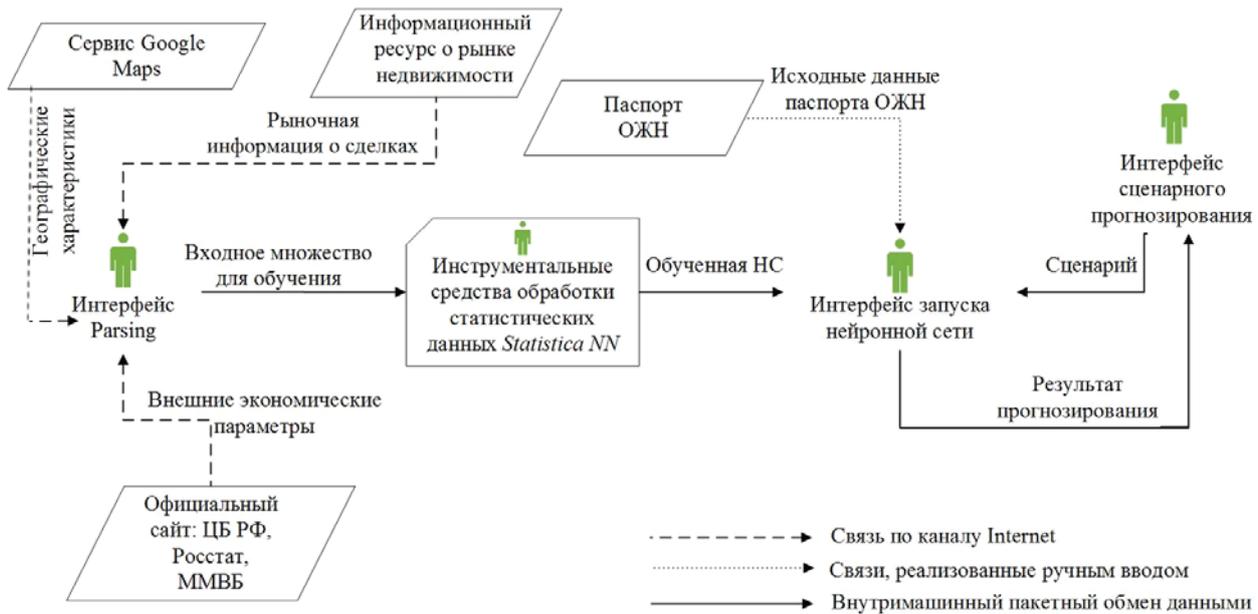


Рис. 7. Архитектура автоматизированной системы поддержки принятия решений задачи сценарного прогнозирования рыночной стоимости ОЖН

Таблица потенциальных заказчиков сценарного прогнозирования рыночной стоимости объектов жилой недвижимости (табл. 3) иллюстрирует степень заинтересованности профессиональных участников рынка в информированности о прогнозируемой стоимости ОЖН в соответствии с видом деятельности.

Таблица 3

Матрица отношения участников рынка недвижимости и востребованных ими сценариев прогнозирования рыночной стоимости

Профессиональные участники рынка недвижимости	Возможные сценарии изменения						
	объем ипотечного кредитования	ввод жилья	строительно-эксплуатационные параметры	местоположение	курс доллара	цена нефти	индекс РТС
Девелоперы	+	+	+	+	+	+	+
Подрядно-строительные организации	-	-	+	-	-	-	-
Агентства недвижимости	-	-	+	+	-	-	-
Аналитические компании	+	+	+	+	+	+	+
Оценочные компании	-	-	+	+	-	-	-
Страховые компании	-	-	+	+	-	-	-
Кредитные организации	+	-	+	+	+	+	+
Портфельные инвесторы	-	-	-	-	+	+	+
Органы власти	+	+	-	-	-	-	-
Налоговые и фискальные органы	-	-	+	+	-	-	-

Из табл. 3 видно, что наибольший интерес подобные исследования представляют для девелоперов, аналитиков рынка недвижимости и финансовых ин-

ституты по сценарным параметрам: строительно-эксплуатационные параметры, объем кредитования, местоположение, курс доллара и цена нефти.

Анализ степени влияния ценообразующих факторов на рыночную стоимость жилой недвижимости представлен на рис. 8. Расчет выполнен путем поочередного исключения входных параметров и наблюдения за погрешностью тестирования модели.

В рамках сценарного прогнозирования возможно определение зависимости рыночной стоимости объектов жилой недвижимости при изменении внешних факторов, например: местоположения участка застройки, описываемого районом и расстоянием до делового центра, типа строительно-эксплуатационных характеристик жилого объекта, а также прогнозируемых на дату продажи значений экономических факторов внешней среды.

Результаты сценарного прогнозирования рыночной стоимости объектов жилой недвижимости г. Екатеринбурга при выборе местоположения для строительства жилья приведены на рис. 9.

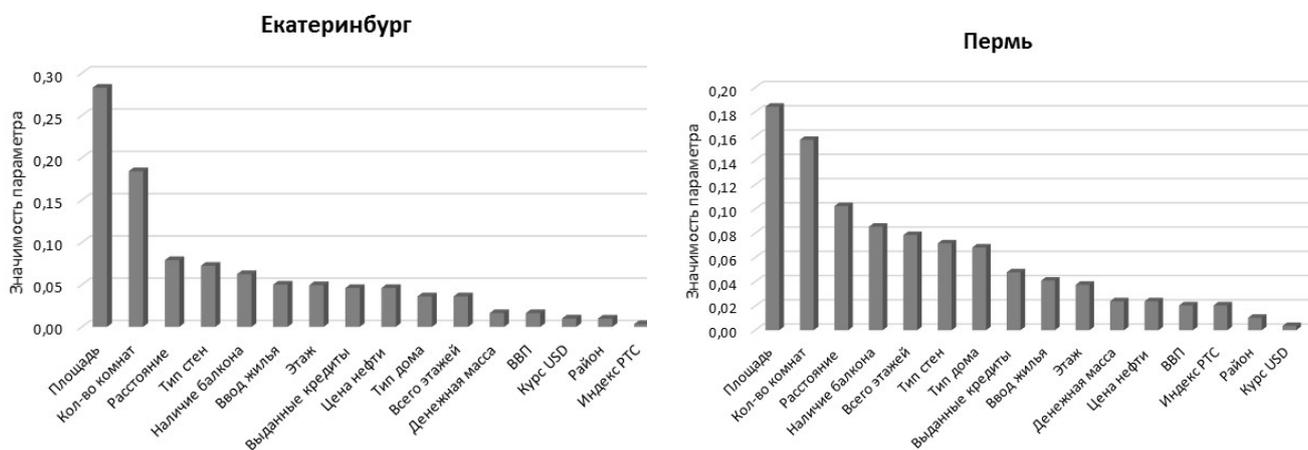


Рис. 8. Значимость входных параметров, вычисленная в пакете Statistica, для Екатеринбурга и Перми

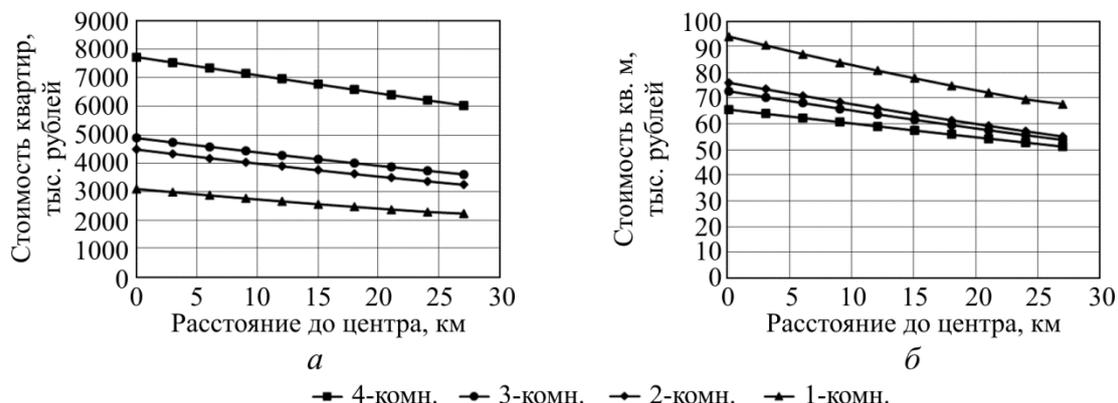


Рис. 9. Результаты сценарного прогнозирования стоимости квартир Екатеринбурга (а) и удельной стоимости их квадратного метра (б) от расстояния до центра города

Результаты сценарного прогнозирования рыночной стоимости объектов жилой недвижимости Екатеринбурга и Перми при изменении жилищного кредитования приведены на рис. 10 и рис. 11. Анализ предельного эффекта рынка

недвижимости Перми (см. рис 10, б и рис. 11, б) показывает сравнительно слабое реагирование рыночной стоимости на изменение ипотечного кредитования, что можно объяснить низким уровнем развития жилищного кредитования в Перми, который значительно ниже, чем в Екатеринбурге, занимающем по уровню жилищного кредитования третье место среди городов России.

Результаты сценарного прогнозирования, предусматривающего изменение темпов строительства жилой недвижимости в исследуемых регионах, представлены на рис. 12. Видно, что рыночная стоимость жилой недвижимости уменьшается с увеличением объема жилищного строительства. Анализ предельного эффекта показал (см. рис. 12, а, б), что рынок однокомнатных объектов недвижимости (как и в предыдущих экспериментах) является более эластичным. Также видно, что рынок недвижимости Перми более инертен по отношению к вводу новых жилых объектов.

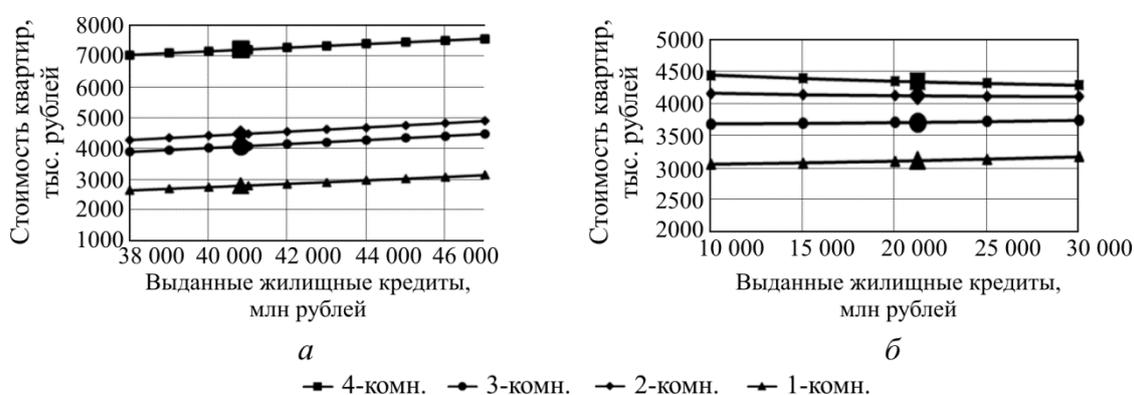


Рис. 10. Результаты сценарного прогнозирования стоимости для Екатеринбурга (а) и Перми (б) в зависимости от объемов ипотечного кредитования в Свердловской области и в Пермском крае

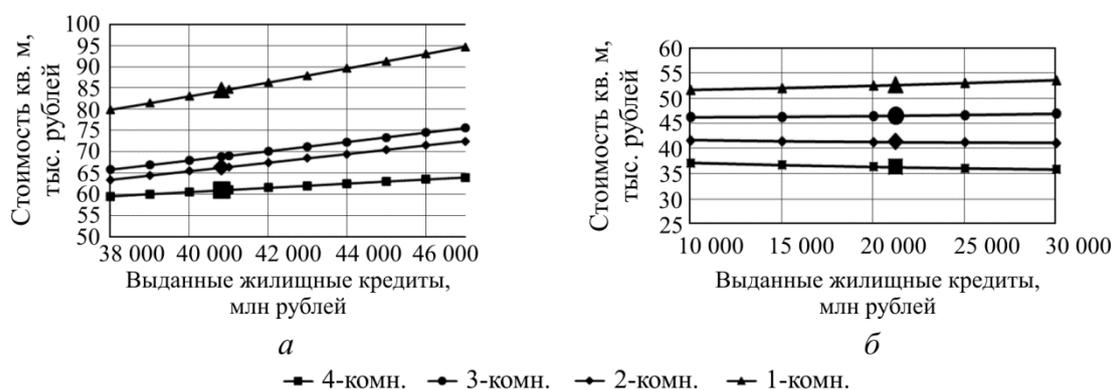


Рис. 11. Результаты сценарного прогнозирования удельной стоимости квадратного метра в зависимости от объемов ипотечного кредитования в Свердловской области (а) и Пермском крае (б)

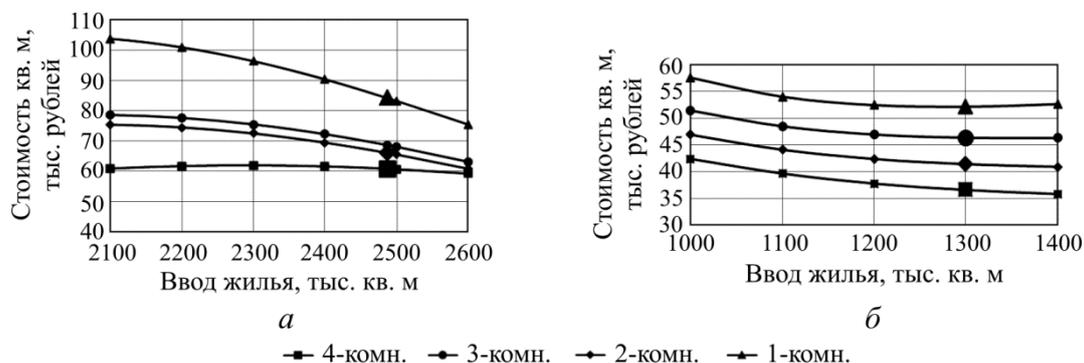


Рис. 12. Результаты сценарного прогнозирования рыночной стоимости недвижимости Екатеринбурга (а) и Перми (б) при изменении объемов жилищного строительства в Свердловской области и Пермском крае

Проведенное сценарное прогнозирование показало возможности установлений степени чувствительности рыночной стоимости объектов жилой недвижимости к изменениям внешней среды, что делает его важным компонентом системы поддержки принятия решений профессиональных участников рынка недвижимости.

### III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе разработаны и исследованы экономико-математические модели процессов массовой оценки и сценарного прогнозирования рыночной стоимости объектов жилой недвижимости на основе учета мезо- и макроэкономических факторов, а также применения математического аппарата искусственных нейронных сетей. В результате выполненного исследования сформулированы следующие выводы:

1. Комплекс теоретических положений нашел подтверждение серией вычислительных экспериментов, показавшей необходимость учета мезо- и макроэкономических факторов при моделировании процессов массовой оценки и сценарного прогнозирования рыночной стоимости объектов жилой недвижимости. Данные модели устойчивы к изменениям экономической ситуации и адаптируемы к локальным рынкам недвижимости РФ.

2. Нейросетевые комплексные модели процессов массовой оценки и сценарного прогнозирования рыночной стоимости объектов жилой недвижимости обладают более высокой точностью по сравнению с традиционными регрессионными моделями.

3. Сценарное прогнозирование рыночной стоимости объектов жилой недвижимости за счет установления степени чувствительности рыночной стоимости к изменениям ключевых ценообразующих факторов повышает степень обоснованности управленческих решений, принимаемых профессиональными участниками рынка.

Перспективное направление дальнейшего исследования носит прикладной характер, поскольку для других локальных рынков недвижимости могут быть разработаны аналогичные высокоэффективные экономико-математические модели и выполнены аналитические исследования, опирающиеся на методы сценарного прогнозирования.

#### IV. СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

*Публикации в изданиях, включенных в перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук:*

1. Алексеев, А.О. Разработка концепции комплексного нейросетевого моделирования процессов массовой оценки и сценарного прогнозирования рыночной стоимости жилой недвижимости [Текст] / А.О. Алексеев, В.А. Харитонов, **В.Л. Ясницкий** // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. – 2018. – Т. 8, № 1 (24). – С. 11 – 22 (0,12 п. л.).

2. Ясницкий, Л.Н. Разработка и применение комплексных нейросетевых моделей массовой оценки и прогнозирования стоимости жилых объектов на примере рынков недвижимости Екатеринбурга и Перми [Текст] / Л.Н. Ясницкий, **В.Л. Ясницкий** // Имущественные отношения в Российской Федерации. – 2017. – № 3 (186). – С. 68–84 (1,06 п. л.).

3. Ясницкий, Л.Н. Методика создания комплексной экономико-математической модели массовой оценки стоимости объектов недвижимости на примере квартирного рынка города Перми [Текст] / Л.Н. Ясницкий, **В.Л. Ясницкий** // Вестник Пермского университета. Сер. «Экономика» = Perm University Herald. Economy. – 2016. – № 2 (29). – С. 54–69. doi: 10.17072/1994-9960-2016-2-54-69 (1,00 п. л.).

4. **Ясницкий, В.Л.** Нейросетевое моделирование в задаче массовой оценки жилой недвижимости города Перми [Текст] / В.Л. Ясницкий // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 10–3. – С. 650–653 (0,25 п. л.).

*Публикации в изданиях, включенных  
в международную базу цитирований Scopus:*

5. Yasnitsky, L.N. Technique of design of integrated economic and mathematical model of mass appraisal of real estate property by the example of Yekaterinburg housing market [Текст] / L.N. Yasnitsky, **V.L. Yasnitsky** // Journal of Applied Economic Sciences. – 2016. – Vol. 11, iss. 8. – P. 1519–1530 (0,75 п. л.).

*Публикации в прочих изданиях:*

6. Алексеев, А.О. К вопросу интеллектуального анализа, массовой оценки и управления рынком недвижимости регионов России / А.О. Алексеев, В.А. Харитонов, **В.Л. Ясницкий** // Прикладная математика и вопросы управления. – 2017. – № 1. – С. 87-99 (0,81 п. л.).

7. **Ясницкий, В.Л.** Нейросетевое моделирование в задаче массовой оценки жилой недвижимости г. Перми / В.Л. Ясницкий // Экономика и управление: проблемы, тенденции, перспективы развития: сборник материалов междуна-

родной научно-практической конференции. – Пермь, 2015. – С. 311–312 (0,13 п. л.).

8. **Ясницкий, В.Л.** Создание и исследование с целью извлечения знаний нейросетевой динамической системы массовой оценки стоимости объектов городской недвижимости / В.Л. Ясницкий // Нейрокомпьютеры и их применение: тезисы докладов XIV Всероссийской научной конференции (г. Москва, 15 марта 2016 г.); под ред. А.И. Галушкина, А.В. Чечкина [и др.]. – М.: МГППУ, 2016. – С. 124–126 (0,19 п. л.).

9. Алексеев, А.О. Разработка и исследование нейросетевых моделей массовой оценки и прогнозирования рыночной стоимости объектов жилой недвижимости / А.О. Алексеев, В.А. Харитонов, **В.Л. Ясницкий** // Нейрокомпьютеры и их применение: тезисы докладов XV Всероссийской научной конференции (г. Москва, 14 марта 2017 г.); под ред. А.В. Чечкина, Л.С. Куравского [и др.]. – М.: МГППУ, 2017. – С. 206–208 (0, 18 п. л.).

10. Алексеев, А.О. Управление рынком недвижимости с помощью сценарного прогнозирования рыночной стоимости на базе нейросетевого моделирования / А.О. Алексеев, В.А. Харитонов, **В.Л. Ясницкий** // Искусственный интеллект в решении актуальных социальных и экономических проблем XXI века: сборник статей по материалам Второй всероссийской научно-практической конференции (г. Пермь, 16–17 мая 2017 г.) / Перм. гос. нац. исслед. ун-т. – Пермь, 2017. – С. 47–52. (0,38 п. л.).

11. **Ясницкий, В.Л.** Сценарное прогнозирование рынка недвижимости г. Перми и г. Екатеринбурга [Электронный ресурс] : [Статья] / В.Л. Ясницкий // Современные технологии в строительстве. Теория и практика: материалы IX Всероссийской молодежной конференции аспирантов, молодых ученых и студентов «Современные технологии в строительстве. Теория и практика» (г. Пермь, 5–7 апреля 2017). – 2017. – Вып. № 9, ч. II. – 6 с. – Режим доступа: <http://sbornikstf.pstu.ru/council/?n=9&s=534> (0, 38 п. л.)

*Прочие работы, приравняемые к опубликованным:*

12. Программный модуль нейросетевого моделирования и сценарного прогнозирования рыночной стоимости жилой недвижимости с учетом внешних экономических параметров: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2017619053 от 14.08.2017 г. / **Ясницкий В.Л.** (РФ).

---

Подписано в печать 10.04.2018. Формат 60×90/16  
Усл. печ. л. 1,5. Тираж 100 экз. Заказ № 30/2018.

---

Издательство  
Пермского национального исследовательского  
политехнического университета  
Адрес: 614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, к. 113.  
Тел.: (342) 219-80-33