

УДК 314, 51-77, 519.6, 004-89
DOI: 10.25559/SITITO.15.201904.1022-1030

Гибридная интеллектуальная информационная система прогнозирования «СГМ Горизонт» и ее применение в подготовке магистров

О. В. Китова*, В. М. Савинова, Л. П. Дьяконова

Российский государственный университет имени В.Г. Плеханова, г. Москва, Россия
117997, Россия, г. Москва, Стремянный переулок, д. 36

* olga.kitova@mail.ru

Аннотация

С развитием цифровых технологий во всех отраслях экономики активно внедряются современные методы анализа данных и математического моделирования для повышения эффективности деятельности. Для прогнозирования социально-экономических показателей применяются сложные математические модели, реализуемые в программных комплексах.

В статье представлена система гибридных моделей, лежащая в основе интеллектуальной информационной системы прогнозирования «СГМ Горизонт». Система моделей прогнозирования включает комплекс регрессионных моделей и расширяемую совокупность интеллектуальных моделей, включая искусственные нейронные сети, деревья решений и др. Регрессионные модели включают системы регрессионных уравнений, описывающих поведение прогнозных показателей развития российской экономики в системе национальных счетов. Функционирование системы уравнений определяется задаваемыми экспертно-сценарными условиями. Для показателей, прогнозы которых не удовлетворяют требованиям качества и точности, используются интеллектуальные модели на основе машинного обучения.

Средствами «СГМ Горизонт» проведены прогнозные расчеты для системы из 150 показателей социальной сферы РФ с применением гибридных моделей, для 20 показателей существенное повышение качества и точности прогноза было достигнуто применением моделей искусственных нейронных сетей и моделей регрессионных деревьев решений.

Построение моделей требует значительных временных затрат, эксперт должен проводить многочисленные машинные эксперименты с различными типами моделей, вручную задавать параметры конфигурации. В связи с этим дальнейшее развитие системы авторы видят в применении при выборе модели метода многокритериального ранжирования нечетких объектов, что позволит по заданным критериям выбирать альтернативные модели прогнозирования. Предложен алгоритм функционирования разрабатываемой системы.

Система прогнозирования «СГМ Горизонт» используется в учебном процессе подготовки магистров при проведении проектных и исследовательских работ.

Ключевые слова: прогнозирование, социально-экономические показатели, гибридные модели, машинное обучение, нейронные сети, деревья решений.

Для цитирования: Китова О. В., Савинова В. М., Дьяконова Л. П. Гибридная интеллектуальная информационная система прогнозирования «СГМ Горизонт» и ее применение в подготовке магистров // Современные информационные технологии и ИТ-образование. 2019. Т. 15, № 4. С. 1022-1030. DOI: 10.25559/SITITO.15.201904.1022-1030

© Китова О. В., Савинова В. М., Дьяконова Л. П., 2019



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.
The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.



Hybrid Intelligent Information Forecasting System 'SGM Horizon' and its Application in Master's Degree Training

O. V. Kitova*, V. M. Savinova, L. P. Dyakonova

Plekhanov Russian University of Economics, Moscow, Russia

36 Stremyanny lane, Moscow 117997, Russia

*olga.kitova@mail.ru

Abstract

Nowadays, digital technologies influence all sectors of the economy with increasing level of introducing of modern methods of data analysis and mathematical modeling in economics and business. Complex mathematical models are developed to predict socio-economic indicators and implemented in specialized information systems.

The article describes a system of hybrid models 'SGM Horizon' as intellectual forecasting information system. The system of forecasting models includes a set of regression models and an expandable set of intelligent models, including artificial neural networks, decision trees, etc. Regression models include systems of regression equations that describe the behavior of forecast indicators of the development of the Russian economy in the system of national accounts. The functioning of the system of equations is determined by scenario conditions set by expert. For those indicators whose forecasts do not meet the requirements of quality and accuracy, intelligent models based on machine learning are used.

Using the 'SGM Horizon' tools, predictive calculations were performed for a system of 150 indicators of the social sphere of the Russian Federation using hybrid models, and for 20 indicators a significant increase in the quality and accuracy of the forecast was achieved with artificial neural network models and models of regression decision trees.

The process of models building requires considerable time: the expert must conduct numerous machine experiments with various types of models and set manually configuration parameters. In this regard, the authors see the further development of the system in the application of the multi-criteria ranking method for fuzzy objects when choosing a model, which will allow using alternative criteria to select alternative forecasting models. A scheme for the functioning of the developed system is proposed. The forecasting system 'SGM Horizon' is used in the educational process of training masters in their projecting and research work.

Keywords: forecasting, socio-economic indicators, hybrid models, machine learning, neural networks, decision trees.

For citation: Kitova O.V., Savinova V.M., Dyakonova L.P. Hybrid Intelligent Information Forecasting System 'SGM Horizon' and its Application in Master's Degree Training. *Sovremennye informacionnye tehnologii i IT-obrazovanie* = Modern Information Technologies and IT-Education. 2019; 15(4):1022-1030. DOI: 10.25559/SITITO.15.201904.1022-1030



Введение

Для того, чтобы построить конкурентоспособную экономику, необходимы инновационные решения в области управления. В Российской Федерации создана система государственного стратегического управления. В условиях развития экономики особенно актуальны вопросы прогнозирования и принятия решений на федеральном и региональном уровнях в связи с необходимостью стратегического планирования и ведения бюджетной политики. В связи с переходом России на Систему Национальных Счетов появилась возможность использования накопленного в странах с рыночной экономикой опыта моделирования процессов прогнозирования показателей социально-экономического развития.

В прогнозировании социально-экономических показателей применяются сложные математические модели, включаемые в программные комплексы, позволяющие обрабатывать большие массивы данных. С развитием цифровых технологий во всех отраслях экономики активно внедряются современные методы анализа данных и математического моделирования для повышения эффективности деятельности как на корпоративном, так и на государственном уровне.

В настоящее время приоритетными задачами программы построения цифровой экономики в Российской Федерации являются: развитие и внедрение в экономику и бизнес современных методов интеллектуального анализа данных и подготовка специалистов, способных ставить и решать задачи информационно-аналитические задачи в различных сферах деятельности, использовать современные передовые методы, технологии и системы.

Многие современные информационно-аналитические системы включают в себя модуль прогнозирования временных рядов. Компания Polymedia производит информационно-аналитические программы, которые позволяют производить как оперативный (OLAP), так и интеллектуальный (Data mining) анализ данных на региональном и государственном уровнях. Указанное программное обеспечение позволяет строить модели региона, включая различные сферы деятельности государства.

Разработкой информационных сервисов для решения задач антикризисного управления занимается компания IBS. Лидером в данной области являлась компания «Прогноз». В настоящий момент разработанную этой компанией платформу продолжает развивать компания «Форсайт». В рамках данной платформы используется построение моделей регионов с дальнейшей возможностью анализа и прогнозирования ключевых показателей. Однако описанные информационно-аналитические системы являются весьма громоздкими, имеют высокую стоимость и не предусматривают возможности расширения системы моделей и дополнения их интеллектуальными моделями на основе искусственных нейронных сетей, деревьев решений и др.

Авторским коллективом кафедры информатики РЭУ им. Г.В. Плеханова разработана и развивается система моделей кратко- и среднесрочного прогнозирования показателей социально-экономического развития России большой мощности. Система моделей включает комплекс, в совокупности состоящий из более чем 600 показателей. Разработанная методология, модели и программно-технологические средства позволяют провести системное согласование показателей макроэкономи-

ческого развития с показателями финансовой системы, внешнеэкономической деятельности, социальной сферы и других сфер. Система моделей реализована в построенном прототипе информационной системы прогнозирования «Система гибридных моделей Горизонт».

Система СГМ Горизонт активно используется в учебном процессе Института Цифровой Экономики и Информационных Технологий РЭУ им. Г.В. Плеханова. Слушатели магистратуры участвуют в исследовательских проектах по развитию моделей, методов и программных модулей системы, на базе системы выполняются выпускные квалификационные работы.

Цель исследования

Целью настоящего исследования явилось развитие гибридной системы моделей и интеллектуального комплекса прогнозирования показателей социально-экономического развития России, позволяющих сочетать различные подходы, обеспечивающие в совокупности повышение качества и точности прогноза для большинства показателей.

Базовыми моделями в системе прогнозирования Горизонт являются системы регрессионных и балансовых уравнений, связывающих все переменные, описывающие фазовое состояние экономической системы.

Возможности эконометрических моделей ограничены качеством используемой информации и методологическим инструментарием. В последнее время развивается подход к прогнозированию на основе методов интеллектуального анализа данных, в частности, нейросетевых моделей. Нейросетевые модели и методы позволяют решать сложные нелинейные задачи и не имеют ограничений линейных моделей.

Для реализации цели исследования необходимо решить следующие задачи:

1. Усовершенствовать архитектуру гибридной системы моделей для кратко- и среднесрочного прогнозирования показателей социально-экономического развития РФ с целью достижения масштабируемости и открытости с точки зрения расширения системы как моделями одного типа, так и обеспечения возможности включения новых методов прогнозирования.
2. Разработать модуль ранжирования моделей прогнозирования на основе метода многокритериального ранжирования нечетких объектов, что позволит создать инструмент построения ансамбля моделей прогнозирования.
3. Использовать гибридный подход для повышения качества прогнозов системы социально-экономических показателей за счет применения нейросетевых моделей и регрессионных деревьев решений.

Основная часть

Регрессионный и гибридный подходы к прогнозированию экономических показателей

Существует множество методов и моделей, используемых при прогнозировании экономических показателей, основанных на использовании регрессионных моделей [1-2], искусственных нейронных сетей [3-10], генетических алгоритмов, различных методов искусственного интеллекта [11-14]. В рамках данной работы применяется гибридный подход к прогнозированию, который включает в себя построение модели на базе урав-



нений линейной множественной регрессии и использование интеллектуальных методов машинного обучения. Гибридные подходы к прогнозированию описаны в ряде работ, в том числе гибридные модели на основе генетических алгоритмов и нечетких множеств [15], динамических нейронных сетей и эволюционных вычислений [16], метод опорных векторов и регрессионные модели [17], нейронных сетей и линейной регрессии [18], нейронных сетей и когнитивных карт [19], искусственных нейронных сетей и методов нечеткой логики [20,21]. Базой для предложенного подхода является метод построения страновой модели, предложенный Робертом Лоуренсом Клейном [22]. В основе модели лежит метод построения системы уравнений множественной линейной регрессии. Данный метод широко используется для описания экономических явлений, так как они определяются большим числом одновременно и совокупно действующих факторов.

Построенная модель основана на системе национальных счетов и включает основные социально-экономические показатели РФ, формирующие основные блоки (см. [23,24, 25]):

1. Сценарные показатели – показатели, которые задаются как сценарии развития экономических явлений. В рамках данной модели сценарными являются объем ВВП, Денежная масса, ставка по межбанковским кредитам, цена на нефть, курс доллара и объем денежно-валютных резервов.
2. Макроэкономические показатели – это показатели, описывающие сводные объемы потребления, производства, экспорта, импорта и т.д.
3. Показатели государственного бюджета – отображают доходы и расходы федерального и консолидированного бюджетов.
4. Социальные показатели – отображают качество жизни населения. Блок социальных показателей подразделяется на несколько блоков:
 - показатели уровня жизни населения – характеризуют объем доходов и расходов населения, позволяют оценивать уровень бедности;
 - показатели труда и занятости – отображают состояние рынка труда;
 - демографические показатели – включают основные показатели прироста населения.
5. Показатели инвестиций и инноваций.
6. Показатели внешней торговли.

Точность и качество прогнозов определяется в модуле верификации прогнозов, в котором рассчитываются коэффициенты качества (коэффициент детерминации, коэффициент Дарбина-Уотсона и коэффициент Фишера) и точности (средняя относительная ошибка). Значения показателей задаются экспертно.

Однако не для всех показателей применение модели линейной множественной регрессии позволяет получить необходимый уровень качества и точности прогнозов. Для этих показателей осуществляется построение интеллектуальных моделей, таких как нейронные сети, деревья решений и прочие.

Описанный подход в настоящее время реализован в информационной системе «СГМ Горизонт» [26].

Система гибридных моделей Горизонт

Система «СГМ Горизонт» является аналитической системой с возможностью прогнозирования с использованием различных

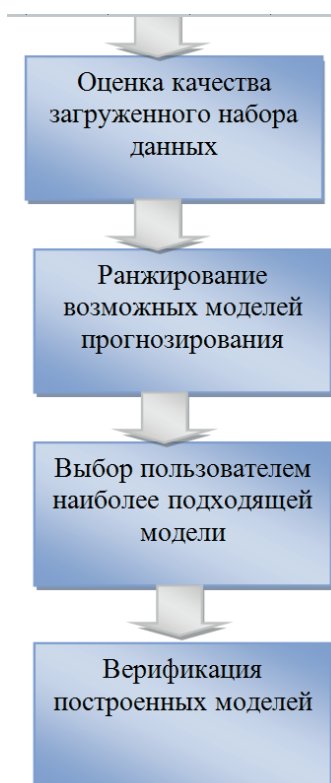
моделей машинного обучения. В рамках системы реализована большая страновая модель, описанная выше. В настоящий момент в рамках системы функционируют основные модули:

- Модуль загрузки данных
- Модуль построения регрессионных уравнений
- Модуль построения искусственных нейронных сетей прямого распространения
- Модуль построения регрессионных деревьев решений (CART).

Система имеет микросервисную архитектуру, что обуславливает ее масштабируемость с точки зрения разрабатываемых сервисов (модулей). В настоящий момент ведется разработка модулей, основанных на следующих методах прогнозирования: деревья решений, когнитивные карты, нечеткие нейронные сети.

Однако настройка и расчет результата моделирования требует значительных временных затрат, так как заранее неизвестно, какая модель будет предпочтительнее для прогнозирования исследуемого набора данных. Таким образом, необходимо разработать алгоритм, который бы позволял до расчета прогнозов осуществлять ранжирование моделей и выбрать наиболее адекватные.

В рамках данного исследования предлагается дальнейшее развитие системы с использованием гибридного метода принятия решений, основанный на интеграции модели представления знаний о слабо структурируемой предметной области в виде нечеткой иерархии и метода многокритериального ранжирования нечетких объектов. Подробное описание метода описано в работах А.Н. Аверкина [27].



Р и с. 1. Построение прогнозных моделей в системе «СГМ Горизонт»

Fig. 1. Predictive model construction in «SGM Horizon» system

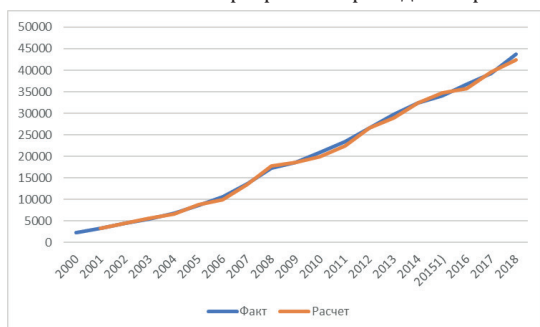


Предложенный метод позволит представить процесс выбора релевантной модели в виде нечеткой иерархии, после чего позволит провести сравнение моделей по заданным критериям с точки зрения возможности прогнозирования исследуемого набора данных. Метод нечетких иерархий является гибридным и основан на интеграции модели представления знаний с методами принятия решений на основе субъективных экспертных оценок. Внедрение метода нечетких иерархий в систему «СГМ Горизонт» позволит по заданным критериям выбирать альтернативные варианты прогнозирования, что сократит временные издержки построения моделей. Алгоритм функционирования разрабатываемой системы представлен на рис.1.

Полученные результаты

Далее описан пример прогнозирования показателей социальной сферы в системе «СГМ Горизонт».

На первом этапе были построены модели прогнозирования множественной линейной регрессии для 150 социальных показателей. Пример результата расчета на основе уравнений множественной линейной регрессии приведен на рис.2.



Р и с. 2. Среднемесячная номинальная начисленная заработная плата работников по полному кругу организаций в целом по экономике Российской Федерации, тыс. руб.

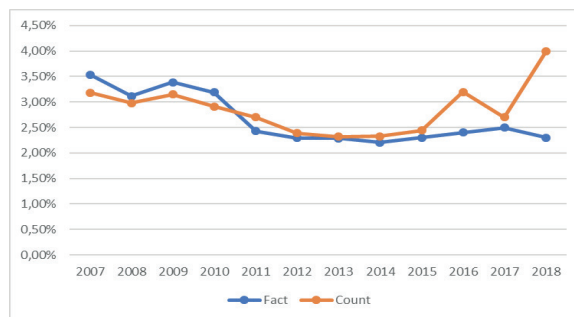
Fig. 2. The average monthly nominal accrued wages of workers for a full range of organizations in the whole economy of the Russian Federation, thousand rubles

Для выполненных расчетов была проведена верификация полученных моделей с использованием ранее описанных критериев. Результаты верификации приведены в таблице 1.

Табл.1. Результаты верификации расчетов в «СГМ Горизонт»
Table.1. Calculation verification results in «SGM Horizon»

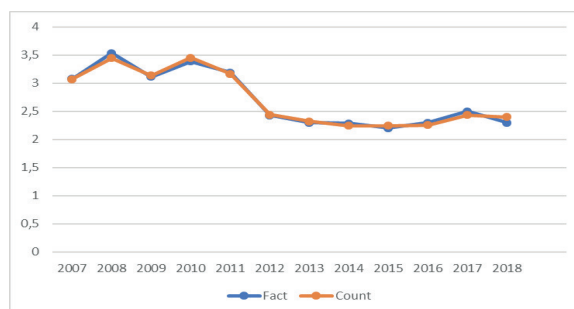
Точность Качество	Высокая	Удовлетворительная	Низкая
Высокое	97	15	6
Низкое	7	17	8

Как видно из таблицы, не для всех показателей удалось построить регрессионные уравнения, которые позволили бы получить прогноз высокой точности и качества. Для этих показателей были построены модели искусственных нейронных сетей с использованием архитектуры многослойного перцептрона и регрессионные деревья решений. В результате для 13 показателей повышение качества и точности прогноза было достигнуто применением моделей искусственных нейронных сетей, а для 7 – с помощью моделей регрессионных деревьев решений. Примеры расчетов ретропрогнозов с использованием регрессионной и нейросетевой моделей для показателя «Расходы Федерального бюджета на общегосударственные вопросы» представлены на рис.3 и 4.



Р и с. 3. Расчет регрессионной модели для показателя «Расходы Федерального бюджета на общегосударственные вопросы»

Fig. 3. Calculation of the regression model for the indicator «Federal Budget Expenditure on National Issues»

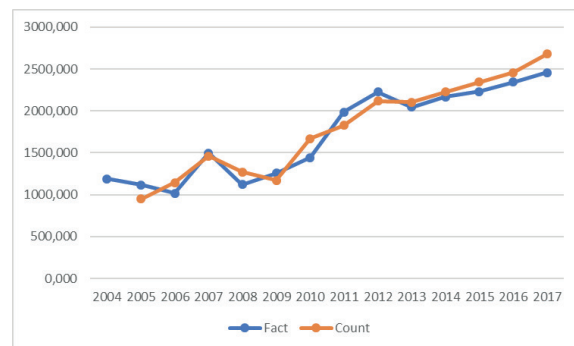


Р и с. 4. Расчет нейросетевой модели для показателя «Расходы Федерального бюджета на общегосударственные вопросы»

Fig. 4. Calculation of the neural network model for the indicator «Federal Budget Expenditure on National Issues»

Как видно из приведенных графиков, с использованием нейронной сети удалось построить модель прогнозирования более высокого качества. Точность полученных прогнозов также выше, чем у множественной линейной регрессии.

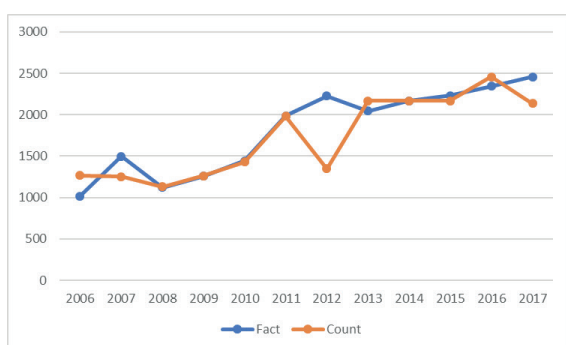
На рис. 5 - 7 представлены результаты расчета прогноза показателя «Налоги на товары и услуги. Лицензионные и регистрационные сборы» средствами регрессии, нейронной сети и дерева решений.



Р и с. 5. Расчет ретро-прогноза с использованием множественной линейной регрессии для показателя «Налоги на товары и услуги. Лицензионные и регистрационные сборы»

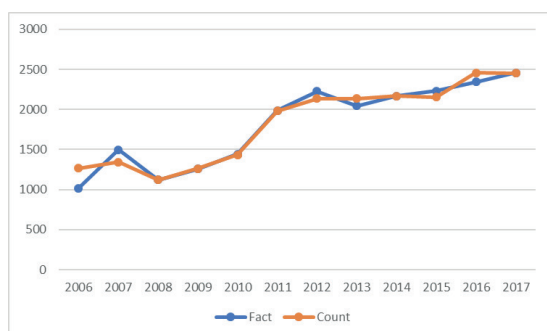
Fig. 5. Calculation a retro-forecast using multiple linear regressions for the indicator «Taxes on Goods and Services. License and Registration Fees»





Р и с. 6. Расчет ретро-прогноза с использованием многослойного перцептрона для показателя «Налоги на товары и услуги. Лицензионные и регистрационные сборы»

Fig. 6. Calculation of a retro forecast using a multilayer perceptron for the indicator «Taxes on Goods and Services. License and Registration Fees»



Р и с. 7. Расчет ретро-прогноза с использованием дерева решений регрессии для показателя «Налоги на товары и услуги. Лицензионные и регистрационные сборы»

Fig. 7. Calculation of a retro forecast using the regression decision tree for the indicator «Taxes on Goods and Services. License and Registration Fees»

Проведенный эксперимент показывает, что для показателя «Налоги на товары и услуги. Лицензионные и регистрационные сборы» более эффективной моделью прогнозирования является дерево решений. Однако, чтобы прийти к этому выводу, необходимо построить различные модели в нескольких конфигурациях, что требует значительных временных затрат и большую нагрузку на систему. Метод ранжирования позволит выделять наиболее подходящие модели на основе экспертных оценок.

Применение ИС СГМ Горизонт в проектном обучении магистров

В настоящее время перед вузами стоит задача подготовки специалистов, обладающих необходимыми компетенциями в сфере цифровой экономики и интеллектуальных методов анализа данных, знаниями в области новых технологий и умением их применять в прикладных областях. В этой связи важны как обучение современным методам и подходам, так и вовлечение студентов в исследовательскую и проектную деятельность.

На кафедре информатики на уровне магистратуры ведется преподавание дисциплин «Когнитивная бизнес-аналитика» (направление подготовки Прикладная информатика), «Ин-

формационная бизнес-аналитика», «Анализ больших данных» (направление подготовки Бизнес-информатика). Изучение этих дисциплин ориентировано на выработку у студентов целостного представления о методах и средствах когнитивного анализа; развитие у них системного мышления; умения самостоятельно применять интеллектуальные технологии, методы и модели анализа данных. В качестве образовательных технологий широко используются бизнес-кейсы, групповая и индивидуальная проектная работа по анализу бизнес-информации. Студенты изучают и на практике используют современные системы и инструментальные средства, включая IBM SPSS Statistics, IBM Cognos Analytics, аналитическую платформу Deductor, языки R и Python.

На протяжении ряда лет в обучении магистров применяется и система «СГМ Горизонт». Применяя и развивая систему, студенты участвуют в различных формах деятельности: аналитической, научно-исследовательской, проектной. Работая в команде, студенты на практике осваивают методологии и технологии управления проектами по разработке информационных систем.

В качестве примера можно привести выпускную квалификационную работу, посвященную построению гибридной модели прогнозирования показателей государственных финансов РФ. В задачи исследования входило: анализ предметной области, действующего и перспективного законодательства и нормативно-правовой базы в сфере экономического правового пространства с целью определения порядка формирования и краткосрочного прогнозирования показателей инвестиций и инноваций в регионах РФ; анализ статистической отчетной информации; анализ сценариев краткосрочного развития экономики РФ: учет влияния показателей сценарных условий на формирование прогнозируемых показателей; разработка технического задания и формирование требований к системе «Горизонт»; разработка гибридной модели прогнозирования для показателей государственных финансов на базе системы «Горизонт». Другие дипломные работы в рамках студенческого проекта были в большей степени ориентированы на разработку интерфейсов на основе передовых технологий. В качестве шаблона разработки пользовательского интерфейса использовался шаблон для разработки веб-интерфейсов SPA (single page application). Проектирование и реализация объектов интерфейса осуществлялась с использованием библиотек Material и React языка веб-разработки JavaScript.

Заключение

Представленное исследование позволило получить следующие результаты:

- установлено, что в моделях, описывающих систему экономических показателей развития страны, необходимо применение наряду с моделью множественной регрессии интеллектуальных методов, таких как нейронные сети и деревья решений, для достижения необходимых значений качества и точности по всей совокупности показателей;
- развит гибридный подход к построению моделей и прогнозов, в котором на первом этапе для всех исследуемых показателей строится регрессионная модель, затем проводится верификация модели множественной регрессии на основе экспертных оценок значений качества и точно-



сти, и на третьем этапе для показателей с неудовлетворительными значениями используются интеллектуальные модели на основе машинного обучения;

- усовершенствована авторская информационная система прогнозирования «СГМ Горизонт», имеющая микросервисную архитектуру, что обуславливает ее масштабируемость с точки зрения разрабатываемых модулей: доработаны модули, основанные на моделях деревьев решений, нейронных сетей;
- средствами системы «СГМ Горизонт» выполнено прогнозирование для системы из 150 показателей социальной сферы с применением гибридных моделей;
- для 112 из 150 показателей регрессионная модель показала высокие и удовлетворительные значения качества и точности, для 20 повышение качества и точности прогноза было достигнуто применением моделей искусственных нейронных сетей и моделей регрессионных деревьев решений.

Выбор типа модели, ее конфигурации в настоящее время проводится экспертом вручную. Авторы предлагают в дальнейшем использовать в системе гибридный метод принятия решений, основанный методе многокритериального ранжирования нечетких объектов, что позволит по заданным критериям выбирать альтернативные модели прогнозирования.

Список использованных источников

- [1] *Hastie T., Tibshirani R., Friedman J.* The Elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference, and Prediction. Second Edition. Springer-Verlag New York, 2009. DOI: 10.1007/978-0-387-84858-7
- [2] *Kauffman R. J., Kim K., Lee S-Y. T., Hoang A-P, Ren J.* Combining machine-based and econometrics methods for policy analytics insights // *Electronic Commerce Research and Applications*. 2017. Vol. 25. Pp. 115-114. DOI: 10.1016/j.eleqar.2017.04.004
- [3] *Дулькейт Е. И.* Прогнозирование с помощью искусственных нейронных сетей // *Прикладная математика и фундаментальная информатика*. 2015. № 2. С. 118-126. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24843177&> (дата обращения: 14.08.2019).
- [4] *Иванец Д. В., Атинк Д. К.* Прогнозирование с помощью нейронных сетей // *Прикладная математика и фундаментальная информатика*. 2015. № 2. С. 126-131. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24843178> (дата обращения: 14.08.2019).
- [5] *Колесников А. Н., Конкин Ю. В.* Моделирование нейронных сетей для прогнозирования временных рядов // *Динамика сложных систем - XXI век*. 2015. Т. 9. № 3. С. 10-13. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24373819> (дата обращения: 14.08.2019).
- [6] *Лалетина А. И.* Прогнозирование финансовых рынков с использованием искусственных нейронных сетей // *Электронные средства и системы управления*. 2015. № 1-2. С. 214-217. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25094785> (дата обращения: 14.08.2019).
- [7] *Лесик И. А.* Решение задачи прогнозирования с использованием нейронных сетей прямого распространения на примере построения прогноза роста курса акций // *Программные продукты и системы*. 2015. № 2. С. 70-74. DOI: 10.15827/0236-235X.110.070-074
- [8] *Medeiros M. C., Pedreira C. E.* What Are The Effects of Forecasting Linear Time Series with Neural Networks? // *International journal of engineering intelligent systems for electrical engineering and communications*. 2001. Vol. 9. Pp. 237-424.
- [9] *Сараева К. В., Лёзина И. В.* Прогнозирование цен на нефть нейронной сетью Вольтерри // XIII Королёвские чтения: Международная молодёжная научная конференция, Самара, 6-8 октября 2015 года: Тезисы докладов. Т.2. Самара: СГАУ, 2015. С. 104. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24806087> (дата обращения: 14.08.2019).
- [10] *Zhang G. P.* An investigation of neural networks for linear time-series forecasting // *Computers & Operations Research*. 2001. Vol. 28, Issue 12. Pp. 1183-1202. DOI: 10.1016/S0305-0548(00)00033-2
- [11] *Симанков В. С., Буцацкая В. В.* Выбор методов прогнозирования при исследовании сложных систем // *Вестник Адыгейского государственного университета. Серия 4: Естественно-математические и технические науки*. 2012. № 2. С. 118-123. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=18055837> (дата обращения: 14.08.2019).
- [12] *Kong W., Dong Z. Y., Hill D. J., Luo F., Xu Y.* Short-Term Residential Load Forecasting Based on Resident Behaviour Learning // *IEEE Transactions on Power Systems*. 2018. Vol. 33, Issue 1. Pp. 1087-1088. DOI: 10.1109/TPWRS.2017.2688178
- [13] *Miao K., Chen F., Zhao Z. G.* Stock Price Forecast Based on Bacterial Colony RBF Neural Network // *Journal of Qingdao University*. 2007. Vol. 20. Pp. 50-54. URL: http://en.cnki.com.cn/Article_en/CJFDTOTAL-QDDD200702011.htm (дата обращения: 14.08.2019).
- [14] *Wang S., Wu L.* An Improved PSO for Bankruptcy Prediction // *Adv. Comput. Math. Appl.* 2012. Vol. 1. Pp. 1-6.
- [15] *Демидова Л. А., Пылькин А. Н., Скворцов С. В., Скворцова Т. С.* Гибридные модели прогнозирования коротких временных рядов. М: Горячая линия-Телеком, 2015. 206 с.
- [16] *Bisoi R., Dash P. K.* Prediction of financial time series and its volatility using a hybrid dynamic neural network trained by sliding mode algorithm and differential evolution // *International Journal of Information and Decision Sciences*. 2015. Vol. 7, Issue 2. Pp. 166-191. DOI: 10.1504/IJIDS.2015.068757
- [17] *Kavousi-Fard A., Samet H., Marzbani F.* A new hybrid Modified Firefly Algorithm and Support Vector Regression model for accurate Short Term Load Forecasting // *Expert Systems with Applications*. 2014. Vol. 41, Issue 13. Pp. 6047-6056. DOI: 10.1016/j.eswa.2014.03.053
- [18] *Nguyen N., Cripps A.* Predicting Housing Value: A Comparison of Multiple Regression Analysis and Artificial Neural Networks // *Journal of Real Estate Research*. 2001. Vol. 22, No. 3. Pp. 313-336. DOI: 10.5555/rees.22.3.r47443706m17v575
- [19] *Papageorgiou E. I., Poczęta K.* A two-stage model for time series prediction based on fuzzy cognitive maps and neural networks // *Neurocomputing*. 2017. Vol. 232. Pp. 113-121. DOI: 10.1016/j.neucom.2016.10.072
- [20] *Singh P.* Big Data Time Series Forecasting Model: A Fuzzy-Neuro Hybridize Approach // *Computational Intelligence for Big Data Analysis. Adaptation, Learning, and Optimization / D. Acharjya, S. Dehuri, S. Sanyal (Eds.) Vol. 19.* Springer, Cham, 2015. Pp. 55-72. DOI: 10.1007/978-3-



- 319-16598-1_2
- [21] Wang J. S., Ning C. X. ANFIS Based Time Series Prediction Method of Bank Cash Flow Optimized by Adaptive Population Activity PSO Algorithm // *Information*. 2015. Vol. 6, Issue 3. Pp. 300-313. DOI: 10.3390/info6030300
- [22] Klein L. R., Goldberger A. S. *An Econometric Model of the United States, 1929-1952*. North-Holland Publishing Company, 1955. 165 pp.
- [23] Kitova O. V., Kolmakov I. B., Dyakonova L. P., Grishina O. A., Danko T. P., Sekerin V. D. Hybrid intelligent system of forecasting of the socio-economic development of the country // *International Journal of Applied Business and Economic Research*. 2016. Vol. 14, No. 9. Pp. 5755-5766. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=27579330> (дата обращения: 14.08.2019).
- [24] Китова О. В., Колмаков И. Б., Шарифутдинова А. Р. Анализ точности и качества краткосрочного прогноза показателей социально-экономического развития России // *Вестник Российского экономического университета им. Г.В. Плеханова*. 2013. № 9. С. 111-119. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=20308724> (дата обращения: 14.08.2019).
- [25] Колмаков И. Б., Доможаков М. В. Методология прогнозирования показателей сферы научных исследований и инноваций с помощью нейронных сетей // *Управленческие науки*. 2017. Т. 7, № 1. С. 53-62. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29005826> (дата обращения: 14.08.2019).
- [26] Kitova O., Savinova V., Dyakonova L., Kitov V. Development of hybrid models and a system for forecasting the indicators of the Russian economy // *Espacios*. 2019. Vol. 40, No. 10. Pp. 18.
- [27] Averkina A. N., Titova N. V., Agrafonova T. V. Synthesis of Distributed Fuzzy Hierarchical Model in Decision Support Systems in Fuzzy Environment // *New Dimensions in Fuzzy Logic and Related Technologies. Proceedings of the 5th EUSFLAT 2007 Conference 2007*. Ostrava, Czech Republic, September 11-14, 2007 / M. Štěpnička, V. Novák, U. Bodenhofer (Eds.) Vol. 1. Universitas Ostraviensis, 2007. Pp. 377-379. URL: <https://www.eusflat.org/materials/proceeding-eusflat-2007-1.pdf> (дата обращения: 14.08.2019).

Поступила 14.08.2019; принята к публикации 20.10.2019;
опубликована онлайн 23.12.2019.

Об авторах:

Китова Ольга Викторовна, заведующий кафедрой информатики, Российский экономический университет имени Г. В. Плеханова (117997, Россия, г. Москва, Стремянный пер., д. 36, кор. 3), доктор экономических наук, доцент, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1820-0954>, olga.kitova@mail.ru

Савинова Виктория Михайловна, старший преподаватель кафедры информатики, Российский экономический университет имени Г. В. Плеханова (117997, Россия, г. Москва, Стремянный пер., д. 36, кор. 3), ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0036-3675>, lesnayapol@yandex.ru

Дьяконова Людмила Павловна, доцент кафедры информатики, Российский экономический университет имени Г. В. Плеханова (117997, Россия, г. Москва, Стремянный пер., д. 36, кор. 3),

кандидат физико-математических наук, доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5229-8070>, ldyak@mail.ru

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

References

- [1] Hastie T., Tibshirani R., Friedman J. *The Elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference, and Prediction*. Second Edition. Springer-Verlag New York, 2009. (In Eng.) DOI: 10.1007/978-0-387-84858-7
- [2] Kauffman R.J., Kim K., Lee S-Y.T., Hoang A-P., Ren J. Combining machine-based and econometrics methods for policy analytics insights. *Electronic Commerce Research and Applications*. 2017; 25:115-114. (In Eng.) DOI: 10.1016/j.eleap.2017.04.004
- [3] Dulkey E.I. Forecasting Using Neural Nets. *Prikladnaya matematika i fundamental'naya informatika = Applied mathematics and fundamental Informatics*. 2015; (2):118-126. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24843177&> (accessed 14.08.2019). (In Russ., abstract in Eng.)
- [4] Ivanets D.V., Atink D.K. Prediction Using Neural Networks. *Prikladnaya matematika i fundamental'naya informatika = Applied mathematics and fundamental Informatics*. Available at: 2015; (2):126-131. <https://elibrary.ru/item.asp?id=24843178> (accessed 14.08.2019). (In Russ., abstract in Eng.)
- [5] Kolesenkov A.N., Konkin Y.V. Modeling of neural networks for time series prediction. *Dynamics of Complex Systems – XXI century*. 2015; 9(3):10-13. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24373819> (accessed 14.08.2019). (In Russ., abstract in Eng.)
- [6] Laletina A.I. Forecasting financial markets using artificial neural networks. In: *Electronic Tools and Control Systems. Proceedings*. 2015; (1-2):214-217. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25094785> (accessed 14.08.2019). (In Russ., abstract in Eng.)
- [7] Lesik A. I. Forecasting Stock Price Growth Using Feedforward Neural Networks. *Software & Systems*. 2015; (2):70-74. (In Russ., abstract in Eng.) DOI: 10.15827/0236-235X.110.070-074
- [8] Medeiros M.C., Pedreira C.E. What Are The Effects of Forecasting Linear Time Series with Neural Networks? *International journal of engineering intelligent systems for electrical engineering and communications*. 2001; 9:237-424. (In Eng.)
- [9] Sarajeva K.V., Lezina V.I. Forecasting oil prices with neural network of volterra. In: *Proceedings of the International youth scientific conference "XIV Korolev readings"*, vol. 2, SSAU, Samara, 2015, p. 104. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24806087> (accessed 14.08.2019). (In Russ.)
- [10] Zhang G.P. An investigation of neural networks for linear time-series forecasting. *Computers & Operations Research*. 2001; 28(12):1183-1202. (In Eng.) DOI: 10.1016/S0305-0548(00)00033-2
- [11] Simankov V.S., Buchatskaya V.V. Choice of methods of forecasting in researches of complicated systems. *Bulletin Ady-*



- ghe State University. Series 4: Natural-mathematical and Technical Sciences.* 2012; (2):118-123. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=18055837> (accessed 14.08.2019). (In Russ., abstract in Eng.)
- [12] Kong W., Dong Z.Y., Hill D.J., Luo F., Xu Y. Short-Term Residential Load Forecasting Based on Resident Behaviour Learning. *IEEE Transactions on Power Systems.* 2018; 33(1):1087-1088. (In Eng.) DOI: 10.1109/TPWRS.2017.2688178
- [13] Miao K., Chen F., Zhao Z.G. Stock Price Forecast Based on Bacterial Colony RBF Neural Network. *Journal of Qingdao University.* 2007; 20:50-54. Available at: http://en.cnki.com.cn/Article_en/CJFDTOTAL-QDDD200702011.htm (accessed 14.08.2019). (In Eng.)
- [14] Wang S., Wu L. An Improved PSO for Bankruptcy Prediction. *Adv. Comput. Math. Appl.* 2012; 1:1-6. (In Eng.)
- [15] Demidova L.A., Pylkin A.N., Skvortsov S.V., Skvortsova T.S. *Gibridnye modeli prognozirovaniya korotkih vremennyh ryadov* [Hybrid models for predicting short time series]. Goryachaya liniya-Telekom, Moscow, 2015. (In Russ.)
- [16] Bisoi R., Dash P.K. Prediction of financial time series and its volatility using a hybrid dynamic neural network trained by sliding mode algorithm and differential evolution. *International Journal of Information and Decision Sciences.* 2015; 7(2):166-191. (In Eng.) DOI: 10.1504/IJIDS.2015.068757
- [17] Kavousi-Fard A., Samet H., Marzbani F. A new hybrid Modified Firefly Algorithm and Support Vector Regression model for accurate Short Term Load Forecasting. *Expert Systems with Applications.* 2014; 41(13):6047-6056. (in Eng.) DOI: 10.1016/j.eswa.2014.03.053
- [18] Nguyen N., Cripps A. Predicting Housing Value: A Comparison of Multiple Regression Analysis and Artificial Neural Networks. *Journal of Real Estate Research.* 2001; 22(3):313-336. (In Eng.) DOI: 10.5555/rees.22.3.r47443706m17v575
- [19] Papageorgiou E.I., Poczęta K. A two-stage model for time series prediction based on fuzzy cognitive maps and neural networks. *Neurocomputing.* 2017; 232:113-121. (In Eng.) DOI: 10.1016/j.neucom.2016.10.072
- [20] Singh P. Big Data Time Series Forecasting Model: A Fuzzy-Neuro Hybridize Approach. In: Acharjya D., Dehuri S., Sanyal S. (Eds.) *Computational Intelligence for Big Data Analysis. Adaptation, Learning, and Optimization*, vol. 19. Springer, Cham, 2015, pp. 55-72. (In Eng.) DOI: 10.1007/978-3-319-16598-1_2
- [21] Wang J.S., Ning C.X. ANFIS Based Time Series Prediction Method of Bank Cash Flow Optimized by Adaptive Population Activity PSO Algorithm. *Information.* 2015; 6(3):300-313. (In Eng.) DOI: 10.3390/info6030300
- [22] Klein L.R., Goldberger A.S. *An Econometric Model of the United States, 1929-1952.* North-Holland Publishing Company, 1955. (In Eng.)
- [23] Kitova O.V., Kolmakov I.B., Dyakonova L.P., Grishina O.A., Danko T.P., Sekerin V.D. Hybrid intelligent system of forecasting of the socio-economic development of the country. *International Journal of Applied Business and Economic Research.* 2016; 14(9):5755-5766. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=27579330> (accessed 14.08.2019). (In Eng.)
- [24] Kitova O.V., Kolmakov I.B., Sharafutdinova A.R. Analysis of accuracy and quality of short-term forecast indicators of socio-economic development of Russia. *Vestnik of the Plekhanov Russian University of Economics.* 2013. № 9. С. 111-119. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=20308724> (accessed 14.08.2019). (In Russ.)
- [25] Kolmakov I.B., Domozhakov M.V. Forecasting Methodology of Scientific Investigations and Innovations Sphere's Indicators by Means of Neural Networks. *Management Science.* 2017; 7(1):53-62. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29005826> (accessed 14.08.2019). (In Russ., abstract in Eng.)
- [26] Kitova O., Savinova V., Dyakonova L., Kitov V. Development of hybrid models and a system for forecasting the indicators of the Russian economy. *Espacios.* 2019; 40(10):18. (In Eng.)
- [27] Averkin A.N., Titova N.V., Agrafonova T.V. Synthesis of Distributed Fuzzy Hierarchical Model in Decision Support Systems in Fuzzy Environment. In: Štěpnička M., Novák V., Bodenhofer U. (Eds.) *New Dimensions in Fuzzy Logic and Related Technologies. Proceedings of the 5th EUSFLAT 2007 Conference 2007.* Ostrava, Czech Republic, September 11-14, 2007, vol. 1, Universitas Ostraviensis, 2007, pp. 377-379. Available at: <https://www.eusflat.org/materials/proceeding-eusflat-2007-I.pdf> (accessed 14.08.2019). (In Eng.)

Submitted 14.08.2019; revised 20.10.2019;
published online 23.12.2019.

About the authors:

Olga V. Kitova, Head of the Department of Computer Science, Plekhanov Russian University of Economics (36 Stremyanny lane, Moscow 117997, Russia), Dr.Sci. (Economics), Associate Professor, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1820-0954>, olga.kitova@mail.ru

Victoria M. Savinova, Senior Lecturer of the Department of Computer Science, Plekhanov Russian University of Economics (36 Stremyanny lane, Moscow 117997, Russia), ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0036-3675>, lesnayapol@yandex.ru

Lyudmila P. Dyakonova, Associate Professor of the Department of Computer Science, Plekhanov Russian University of Economics (36 Stremyanny lane, Moscow 117997, Russia), Ph.D. (Phys.-Math.), Associate Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5229-8070>, ldyak@mail.ru

All authors have read and approved the final manuscript.

