

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СИСТЕМ РЕГРЕССИОННОГО И НЕЙРОСЕТЕВОГО КРАТКОСРОЧНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ

И.Б. Колмаков, профессор кафедры информатики Российского экономического университета имени Г.В. Плеханова, д-р экон. наук, *kolibor@rambler.ru*

А.В. Кольцов, зам. дир. центра ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, канд. экон. наук, *akoltsov@extech.ru*

М.В. Доможяков, асп. каф. Российского экономического университета им. Г.В. Плеханова, *matkhak@yandex.ru*

Рассмотрена общая методология и архитектура системы нейросетевых моделей краткосрочного прогнозирования экономических показателей и ее реализации в виде интегрированной информационной системы на примере показателей «Внутренние затраты» сферы исследований и инноваций РФ. Проведен сравнительный анализ регрессионных и нейросетевых моделей краткосрочного прогнозирования на примере показателей «Внутренние затраты» сферы исследований и инноваций РФ. Применение подобной системы позволяет не только повысить точность и качество прогнозных расчетов, но и повысить обоснованность принимаемых решений для достижения целевых показателей.

Ключевые слова: сфера исследований и инноваций, системы регрессионных уравнений, модели краткосрочного прогноза, верификация прогноза, система нейросетевых моделей, система гибридных моделей.

COMPARATIVE ANALYSIS OF REGRESSION AND NEURAL NETWORK SHORT-TERM FORECASTING SYSTEMS

I.B. Kolmakov, Professor lecturer of Department, Russian Plekhanov University of Economics, Ph. D. of Economics, *kolibor@rambler.ru*

A.V. Koltsov, Deputy Director of Centre, SRI FRCEC, Doctor of Economics, *akoltsov@extech.ru*

M.V. Domozhakov, Post-Graduate Student, Russian Plekhanov University of Economics, *matkhak@yandex.ru*

A general strategy and architecture of the system of short-term forecasting neural network models of economic indicators and its implementation in the form of an integrated information system on the example of the scope of performance of research and innovation of the Russian economy. A system of distributed neural network models, a comparative analysis of econometric and neural network models for internal costs. The use of such a system can not only improve the accuracy and quality of the forecast calculations, but also to apply them in the loop control to achieve the targets.

Keywords: research and innovation, the system of regression equations, short-term forecasting model forecast verification system neural network models, the system of hybrid models.

Разработка систем прогнозирования экономики страны в целом и ее различных подсистем является одной из важнейших задач управления [1].

Становление конкурентоспособной национальной экономики в значительной степени зависит от уровня развития научно-технической и инновационной сфер, которые являются подсистемами национальной экономики. Для прогноза показателей научно-технической и

инновационной сфер использовались регрессионные методы. Прогнозирование показателей сферы исследований и инноваций с использованием только регрессионных моделей весьма проблематично, поскольку не существует жестких структурных пропорций показателей развития этой сферы относительно показателей развития других отраслей экономики [2, 3].

Первоначально была разработана распределенная информационно-аналитическая метасистема (РИАМС) для решения взаимосвязанных регрессионных уравнений [4]. Подход, использованный в программно-технологическом комплексе (ПТК), базируется на применении распределенной эконометрической модели, в которую встраиваются блоки, определяющие основные показатели развития сферы научных исследований и инноваций [3].

Основным источником отчетных данных являются публикации Росстата [5]. Анализ этих данных показал, что в процессе перехода на показатели СНС, приемлемые стабильные ряды отчетных данных для большинства показателей сферы научных исследований и инноваций появились только с 2004 г., так как некоторые из них ранее в полном объеме не наблюдались органами статистического учета. Процесс наблюдения продолжается: непрерывно происходит включение новых наблюдаемых показателей и отказ от наблюдения уже не используемых. Показатели сферы исследований и инноваций РФ в РИАМС представлены временными рядами за 2004–2015¹ гг. С одной стороны, небольшое количество статистических наблюдений не позволяет выявить тенденции в развитии показателя. С другой стороны, избыточное количество наблюдений может исказить траекторию модели, поскольку динамика данных ранних периодов может противоречить закономерностям текущих периодов.

Главные преимущества разработанной системы – оперативная возможность изменения сценарных условий и последующий перерасчет прогнозных значений. Для любого сценарно-фиксируемого изменения условий функционирования система РИАМС позволяет практически мгновенно получать расчетные прогнозные значения развития сферы исследований и инноваций.

Степень доверия к результатам прогноза, среди прочих факторов, зависит от стабильности, точности и качества расчетного прогноза. Многовариантность сценарных условий, задаваемых экспертно, предполагает многовариантность соответствующих этим сценарным условиям прогнозных расчетов. Одним из инструментов оценки точности и качества прогноза является ретроверификация, в ходе которой результаты ретропрогноза сравниваются с соответствующими отчетными данными. Технологически основное отличие прогноза от ретропрогноза состоит в том, что сценарные условия ретропрогноза становятся отчетными данными. Анализ результатов ретроверификации повышает степень доверия к прогнозам. Ретроверификация выполняется для каждого показателя построенных моделей. На основании сравнения расчетной и отчетной траекторий вычисляются оценки точности и качества и принимается решение о принадлежности показателя к категориям «плохой» – «хороший» [6].

В системе оценок качества регрессионных уравнений РИАМС использованы общепринятые критерии: коэффициент детерминации (R^2), критерий Дарбина-Уотсона (DW) и расчетное значение статистики Фишера (F -stat), сравниваемое с допустимым (F -доп). Оценкой точности прогноза служит относительная ошибка показателя (MAPE). Границы указанных критериев устанавливаются экспертно. Процессы ретроверификации автоматизированы и по результатам расчетов оценок точности и качества становятся доступны исследователям, которые могут судить о точности прогнозных моделей и получать характеристики качества прогноза показателей в категориях «плохой» – «хороший» для различных вариантов диапазонов оценок точности и качества [7].

В табл. 1 приведен пример категоризации характеристик ретроверификации показателей оценок качества и точности прогноза.

¹ Российский статистический ежегодник. Статистический сборник / Росстат РФ. М.: 2001–2015.

Таблица 1

Характеристики ретроверификации показателей

Категория	Оценки качества	Оценки точности
Хороший	$R^2 \geq 0,4$; $F\text{-stat} > F_{don}$; $0,6 \leq DW \leq 3,4$	$MAPE \leq 0,1$
Плохой	$R^2 < 0,4$; $F\text{-stat} < F_{don}$; $0,6 > DW$ или $DW > 3,4$	$MAPE > 0,1$

После получения предварительных результатов ретроверификации эконометрических моделей, улучшаются оценки качества и точности заменой в уравнениях моделей менее значимых факторов – аргументов на более значимые. Однако, для некоторых показателей существуют объективные причины, которые не позволяют достичь улучшения в рамках применения регрессионных моделей [7]. Одной из самых важных причин, ограничивающих возможность улучшить регрессионное уравнение для «плохого» показателя – отсутствие наблюдаемых Росстатом факторов, определяющих поведение исследуемого показателя. В случаях, когда использованы предельные возможности эконометрических моделей и результат прогноза оказывается «плохим», а потребности в прогнозе не удовлетворены, возникает необходимость использовать принципиально другие методы, модели и инструментальные средства для получения прогнозных значений востребованных показателей.

Авторами предложена методология прогнозирования [8], базирующаяся на применении распределенной информационной нейросетевой модели краткосрочных прогнозов (РИМП) [9, 10] и реализованная в виде инструментальных средств. Успешное применение РИМП позволило пойти дальше и разработать методологию гибридного прогнозирования показателей сферы научных исследований и инноваций [8, 11]. Основной принцип гибридного моделирования заключается в использовании двух распределенных систем:

- Распределенной информационно-аналитической метасистемы (РИАМС) [4, 7].
- Распределенной информационной нейросетевой системы моделей (РИМП) [8–10].

Подробное описание алгоритма гибридного прогнозирования приведено в работе [8] и блок-схема алгоритма представлена на рис. 1.

Ретроверификация в РИМП происходит следующим образом: отчетный ряд уменьшается до $n-1$ элементов, осуществляется прогноз на один период вперед, полученное расчетное значение сравнивается с n -ным отчетным наблюдением и делается вывод о точности ретропрогноза. В зависимости от четности n , возможны два режима ретроверификации:

- Если n – четное, то ретроверификация происходит в рамках проверки модели на последнем наблюдении тестовой выборки.
- Если n – нечетное, то ретроверификация осуществляется на отдельном расчетном n -ном элементе и сравнивается с соответствующим отчетным значением;

Критерием точности интеллектуальных нейросетевых систем (ИНС) служит средняя относительная ошибка $MAPE_{nn}$ последних 4-х расчетных значений. Если она меньше экспертно заданной величины, то модель относится к категории «хороших».

Успешное применение технологии ИНС для расширения возможностей регрессионного краткосрочного прогноза позволило сформулировать новые задачи:

1. Применить методологию и технологии ИНС для прогнозирования любых показателей сферы исследований и инноваций.
2. Сравнить результаты ретропрогнозирования в системах РИАМС и РИМП.
3. Сравнить трудоемкость:
 - а) подготовки систем к выполнению решений;
 - б) перенастройки исследуемых систем прогноза.
4. Сравнить быстродействие выполнения прогнозных расчетов.
5. Выработать рекомендации по рациональному использованию систем прогноза РИАМС и РИМП.



Рис. 1. Алгоритм работы системы гибридного прогнозирования

В настоящей статье поставленные задачи рассматриваются на примере прогноза показателей блока «Внутренние затраты» сферы исследований и инноваций. Согласно методологическим положениям Росстата, «Внутренние затраты на исследования и разработки» – это выраженные в денежной форме фактические затраты на выполнение исследований и разработок на территории страны (включая финансируемые из-за рубежа, но исключая выплаты, сделанные за рубежом). Их оценка базируется на статистическом учете затрат на выполнение исследований и разработок собственными силами организаций в течение отчетного года независимо от источника финансирования. Внутренние затраты на исследования и инноваций включают текущие и капитальные затраты. Внутренние текущие затраты – затраты на оплату труда, страховые взносы, затраты на приобретение оборудования за счет себестоимости работ, другие материальные затраты (стоимость приобретаемых со стороны сырья, материалов, комплектующих изделий, полуфабрикатов, топлива, энергии, работ и услуг производственного характера и др.), прочие текущие затраты².

Для решения поставленных задач были выбраны следующие показатели:

- Внутренние затраты на исследования и разработки по источникам финансирования. Всего (SNFS-241).
- Внутренние затраты на исследования и разработки за счет собственных средств (SNFE-247).
- Внутренние затраты на исследования и разработки за счет средств предпринимательского сектора (SNFIN-253).
- Внутренние затраты на исследования и разработки по государственному сектору (SNFG-273).
- Внутренние затраты на исследования и разработки на оплату труда (SNFOT-289).

² Available at: http://www.gks.ru/free_doc/new_site/business/nauka/mnayka7.htm.

Регрессионный прогноз в системе РИАМС

В ходе исследования предполагалось, что в системе РИАМС подготовка решения ведется на листах системы EXCEL. Подготавливаются листы: «ИМЕН ПОКАЗАТЕЛЕЙ», «ДАННЫХ» и «УРАВНЕНИЙ». Причем, будучи однократно заполненными, они в дальнейшем обновляются только по мере необходимости. Все программы написаны в VBA (Visual Basic Application), скрыты от пользователя. Установки параметров расчетов, сценарных условий, численных значений критериев контроля и отбора производятся стандартными средствами EXCEL. Все этапы работ секционированы. Подготовка данных, выполнение расчетов, формирование наборов выходных документов осуществляются с помощью кнопочного управления. Расчет коэффициентов регрессионных уравнений и прогнозные расчеты выполняются в однопроводном режиме для любого числа показателей (от 1 до 1000, возможно и более). Поэтому базовая оценка быстродействия получается, как среднее время расчета одного показателя. Расчет каждого показателя сопровождается получением стандартных характеристик качества.

Результаты расчетов в РИАМС показателя «Внутренние затраты на исследования и разработки по источникам финансирования. Всего» (SNFS)

Регрессионное уравнение для расчета показателя «Внутренние затраты на исследования и разработки по источникам финансирования. Всего» имеет вид:

$$SNFS = a_0 + a_1 \cdot SNFS_1 + a_2 \cdot SNW + a_3 \cdot ASGFBS + a_4 \cdot SNE + a_5 \cdot M_2,$$

где: a_0 – свободный член, a_1, a_2, a_3, a_4, a_5 – коэффициенты регрессионного уравнения;

SNFS – текущее значение расчетного показателя «Внутренние затраты на исследования и разработки по источникам финансирования. Всего»;

SNFS_1 – предыдущее значение расчетного показателя «Внутренние затраты на исследования и разработки по источникам финансирования. Всего»;

SNW – текущее значение показателя «Численность персонала, занятого исследованиями и разработками»;

ASGFBS – предыдущее значение расчетного показателя «Ассигнования на гражданскую науку из средств Федерального бюджета. Всего»;

SNE – предыдущее значение расчетного показателя «Число организаций, выполняющих исследования и разработки»;

M_2 – сценарный показатель, учитывающий влияние темпа роста денежной массы.

На рис. 2 приведены графики отчетных, расчетных и прогнозных значений показателя «Внутренние затраты на исследования и разработки по источникам финансирования. Всего». Графики показывают, что расчетные значения с достаточно высокой точностью совпадают с отчетными.

При этом значения показателя «Внутренние затраты на исследования и разработки по источникам финансирования. Всего» имеют устойчивую почти линейную тенденцию роста. С 2004 по 2014 год увеличение показателя составило более 400 %.

В табл. 2 приведены статистические характеристики расчета показателя «Внутренние затраты на исследования и разработки по источникам финансирования. Всего»

В табл. 2:

– Коэффициент детерминации – $R^2 = 0,9987$.

– Критерий Дарбина-Уотсона – $DW = 3,011$.

– F -статистика фактическая равна 469, что значительно превышает допустимое значение для расчетных степеней свободы (5,9) и позволяет принять гипотезу о допустимости использования принятых аргументов.

Высокие значения статистических характеристик позволяют сделать вывод о хорошем качестве регрессионной модели (большой точности совпадения расчетных данных с отчетными). Таблица статистических характеристик содержит и показатели t -статистики, что позволяет оценить вклад каждого фактора в расчет исследуемого показателя.

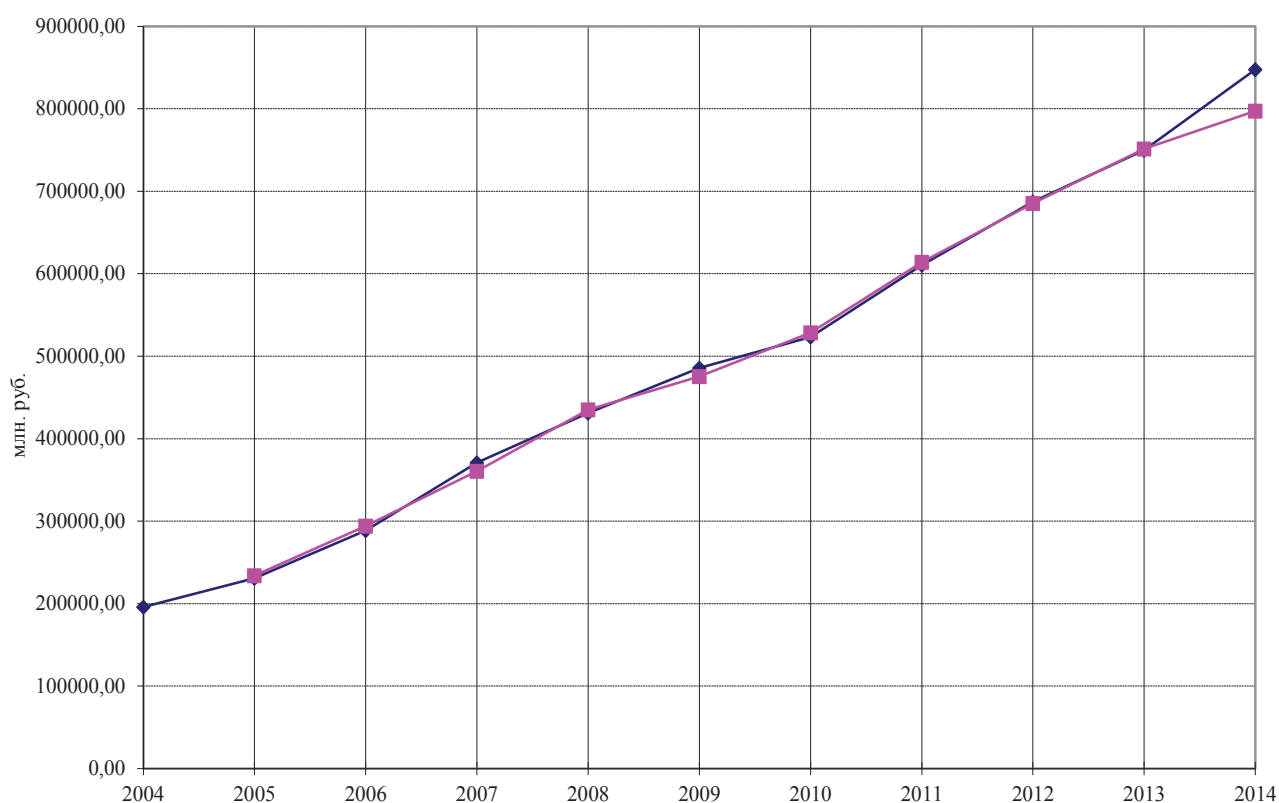


Рис. 2. Ретропрогноз показателя «Внутренние затраты на исследования и разработки по источникам финансирования. Всего» (SNFS) в системе РИАМС

Таблица 2

Статистические характеристики расчета показателя «Внутренние затраты на исследования и разработки по источникам финансирования. Всего»

Статистики		Коэффициенты					
R^2	f -stat	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5
0,99872	4,69E+02	-7,22E+05	1,01E+00	-4,50E-01	-3,22E+01	2,91E+02	6,66E+04
Стандартные значения ошибок		Se_0	Se_1	Se_2	Se_3	Se_4	Se_5
		409862,8	0,26781	0,42554	306,9995	74,7568	41014,4
Вычисление T -статистики		a_0/Se_0	a_1/Se_1	a_2/Se_2	a_3/Se_3	a_4/Se_4	a_5/Se_5
		-1,761	3,75325	-1,0677	-0,10504	3,89587	1,62389
SNFS =		1	SNFS_1	SNW	ASGFBS	SNE	M_2

Поведение графиков отчетной и расчетной функций убеждают нас в том, что приближение достаточно точное, а отклонения незначительны. Хотя на самом важном шаге ретропрогнозное значение и отличается от отчетного, но сохраняется в пределах допустимого отклонения (10%).

Интеллектуальный нейросетевой прогноз в системе РИМП

Обратимся к прогнозу этого же показателя «Внутренние затраты на исследования и разработки по источникам финансирования. Всего» – SNFS на этом же временном интервале 2004–2014 гг. с помощью методов нейросетевого моделирования в системе РИМП. В отличие от регрессионного прогноза, в ИНС нет групповых расчетов. Настройка и расчет каждого показателя осуществляется индивидуально. Методология и технологии прогноза с помощью ИНС подробно описаны в [8].

В разработанной системе прогноза с помощью ИНС реализована сеть прямого распространения – многослойный персептрон (МП). В сетях подобного типа входной сигнал распространяется в прямом направлении от слоя к слою. На рис. 3 представлен пример МП с двумя нейронами на входном слое, двумя на скрытом, и с одним нейроном на выходном слое.

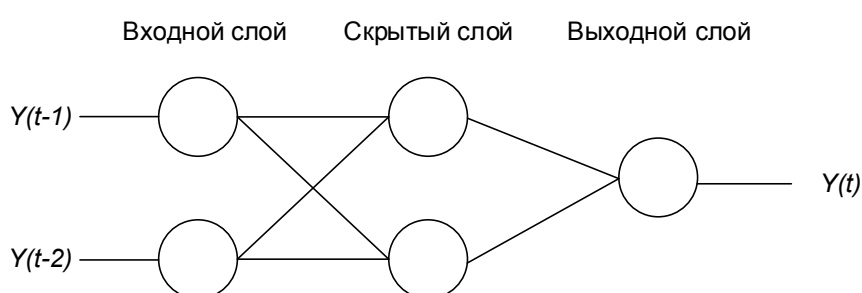


Рис. 3. Пример структуры многослойного персептрона

Многослойный персептрон имеет ряд управляемых параметров, которые формируют его структуру. Для выбранных показателей были проведены компьютерные эксперименты по нахождению оптимальных параметров нейронной сети. Для всех моделей были установлены следующие одинаковые параметры персептрона и условия расчета:

- 1) Количество нейронов на входном слое = 1.
- 2) Количество нейронов на выходном слое = 1.
- 3) Скорость обучения = 0,0001.
- 4) Момент обучения = 0,01.
- 5) Максимальное количество эпох обучения = 1000.
- 6) Максимальное время обучения = 10 мин.

Особую роль в МП выполняют функции активации на нейронах каждого слоя. Складывающиеся тенденции, влияние неэкономических факторов и мнения экспертов в РИМП предполагается учитывать за счет управления функцией активации выходного нейрона. Например, учитывая, что существуют «директивные» факторы (значения исследуемого показателя зависят от постановлений законодательной или исполнительной власти, или от решений руководства финансовыми органами) ограничения развития того или иного показателя, целесообразно использовать для расчетов убывающую экспоненциальную функцию активации:

$$f(x) = e^{-\alpha x},$$

где α – параметр, который задается экспертно.

Разбиение исследуемой выборки на обучающие и тестовые множества играет принципиальную роль в методологии ИНС прогноза [8]. При добавлении новых данных в отчетный

ряд, модель перестраивается в автоматическом режиме. Предусмотрены два режима перестроения моделей:

– скользящий – используется одно и то же количество наблюдений n для разбиения на обучающее и тестовое множества, устранив начальные и включая новые прогнозные появляющиеся значения;

– нарастающий – в общую выборку включаются все новые прогнозные значения, появляющиеся на момент анализа наблюдения.

Разделение на режимы связано с тем, что отчетные данные за многие прошлые годы (например, за 20 лет) не всегда отражают текущие тенденции, и в совокупности модели могут дать искаженный тренд. Логичнее считать, что наиболее актуальными являются ближайшие прошлые значения отчетного временного ряда. Описываемый подход рассматривается нами как «рекуррентный параллельно-последовательный двухшаговый метод прогнозирования» [9].

Результаты нейросетевого ретропрогноза показателя «Внутренние затраты на исследования и разработки по источникам финансирования. Всего» (SNFS)

Как показывает рис. 4, на начальном участке траектории имеют место значительные отклонения отчетной и расчетной траекторий. Достаточно хорошее совпадение отчетных и расчетных значений наблюдается на отрезке последних семи лет. В конечной точке отчетное и прогнозное значения исследуемого показателя совпадают. Это факт обусловлен тем, что последнее наблюдение является крайней точкой обучающего множества, нейронная сеть практически полностью подстраивается под него. Подобная ситуация будет наблюдаться для всех исследуемых показателей в РИМП и является одним из условий, определяющих, почему для ретроверификации прогноза используется отрезок из 4 наблюдений.

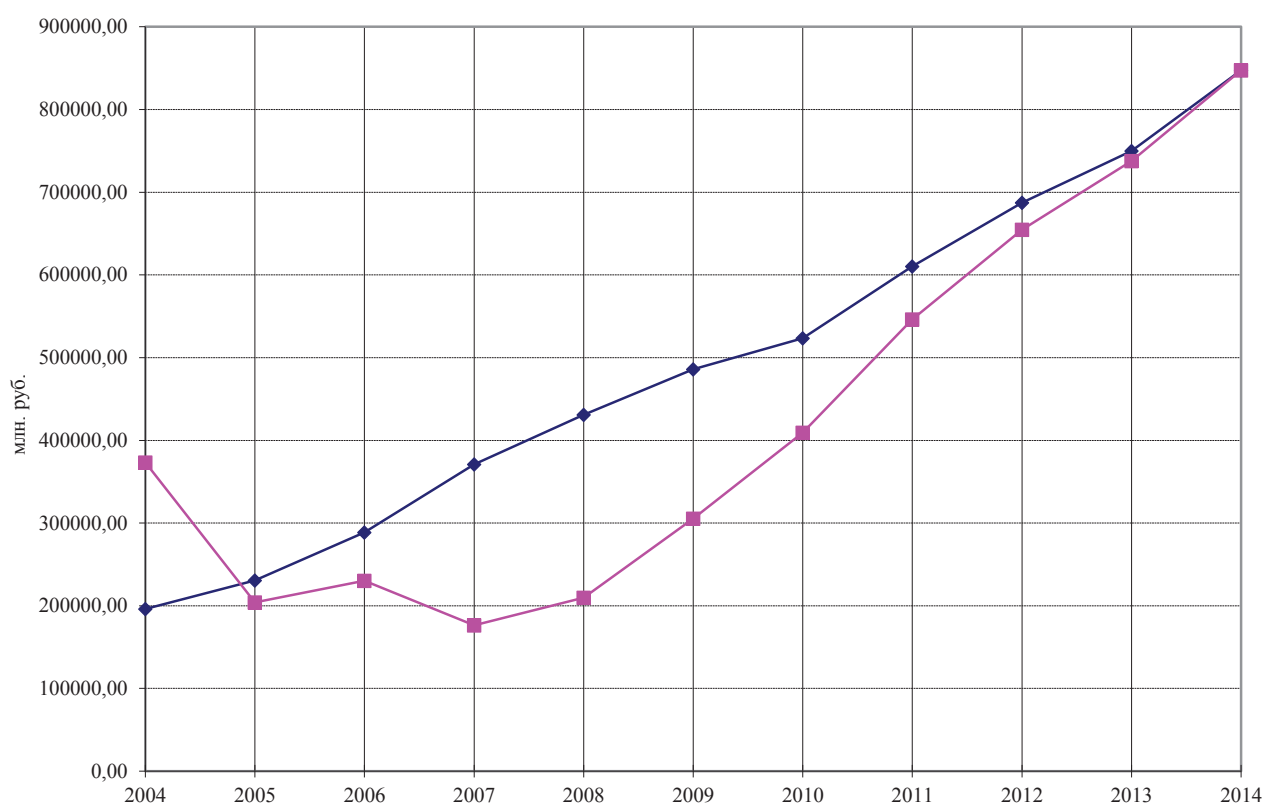


Рис. 4. Ретропрогноз показателя «Внутренние затраты на исследования и разработки по источникам финансирования. Всего» (SNFS) в системе РИМП

В ИНС такие характеристики временного ряда как коэффициент детерминации, коэффициент Дарбина – Уотсона и F -статистика теряют смысл, так как не ставится задача получить хорошее приближение на всем интервале наблюдения, а ставится задача получить хорошее приближение на заключительном отрезке исследуемого интервала. Кроме того, не используются в расчетах значения факторов-аргументов и не используются в явном виде сценарные показатели и их значения. Основным количественным критерием становится точность прогноза (MAPE) и визуальный контроль совпадения поведения отчетной и прогнозируемой функций на последних отрезках времени исследуемого интервала.

Ниже приведены примеры расчетов в системе РИАМС и системе РИМП других показателей блока «Внутренние затраты» сферы исследований и инноваций.

Ретропрогноз показателя «Внутренние затраты на исследования и разработки за счет собственных средств научных организаций» (SNFE), выполненный в системе РИАМС

Регрессионное уравнение для расчета этого показателя имеет вид:

$$SNFFS = a_0 + a_1 \cdot SNFFS_1 + a_2 \cdot SNW + a_3 \cdot ASGFBS + a_4 \cdot SNE + a_5 \cdot M_2,$$

где: a_0 – свободный член, a_1, a_2, a_3, a_4, a_5 – коэффициенты регрессионного уравнения;
 SNFFS – текущее значение расчетного показателя «Внутренние затраты на исследования и разработки по источникам финансирования. Всего»;

SNFFS_1 – предыдущее значение расчетного показателя «Внутренние затраты на исследования и разработки по источникам финансирования. Всего»;

SNW – текущее значение показателя «Численность персонала, занятого исследованиями и разработками»;

ASGFBS – предыдущее значение расчетного показателя «Ассигнования на гражданскую науку из средств Федерального бюджета. Всего»;

SNE – предыдущее значение расчетного показателя «Число организаций, выполняющих исследования и разработки»;

M_2 – сценарный показатель, учитывающий влияние изменения темпа денежной массы.

На рис. 5 приведены графики отчетных, расчетных и ретропрогнозных значений показателя «Внутренние затраты на исследования и разработки за счет собственных средств научных организаций». Анализ графиков и сравнение таблиц отчетных и расчетных значений показывает, что расчетные значения с достаточно высокой точностью совпадают с отчетными.

В табл. 3 приведены статистические характеристики расчета показателя «Внутренние затраты на исследования и разработки за счет собственных средств научных организаций».

Таблица 3

Статистические характеристики расчета показателя «Внутренние затраты на исследования и разработки за счет собственных средств научных организаций»

Статистики		Коэффициенты					
R^2	f -stat	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5
0,98119	3,13E+01	-2,41E+05	1,80E-01	1,3E-05	1,88E+02	6,14E+01	1,51E+04
Стандартные значения ошибок		Se_0	Se_1	Se_2	Se_3	Se_4	Se_5
		182010,80	0,602	0,333	172,36	44,926	31441,81
Вычисление T -статистики		a_0/Se_0	a_1/Se_1	a_2/Se_2	a_3/Se_3	a_4/Se_4	a_5/Se_5
		-1,324512	0,30270	3,84E-05	1,088717	1,366998	0,481742
SNFE =		1	SNFE_1	SNW	ASGFBS	SNE	M_2

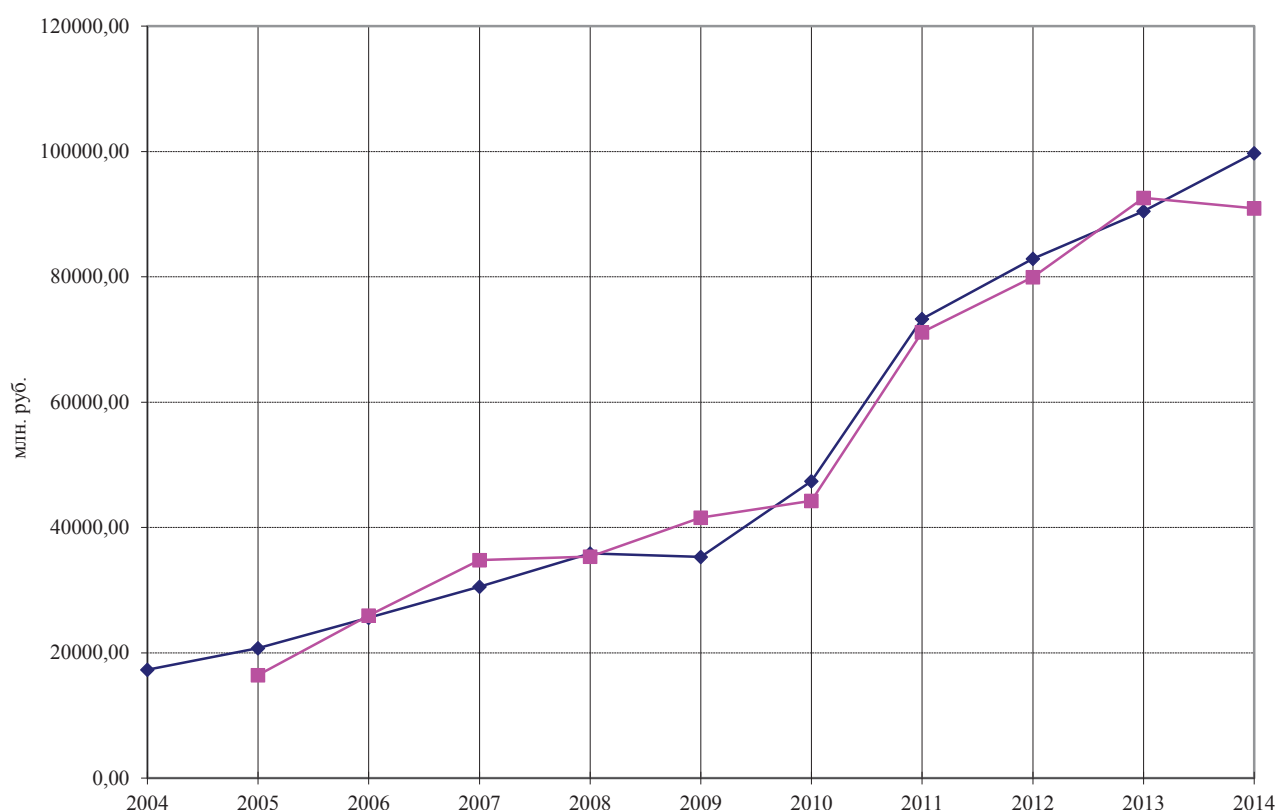


Рис. 5. Ретропрогноз показателя «Внутренние затраты на исследования и разработки за счет собственных средств научных организаций» – SNFE в системе РИАМС

В табл. 3:

- Коэффициент детерминации – $R^2 = 0,9812$;
- Критерий Дарбина-Уотсона – $DW = 2,1289$;
- F -статистика равна 31,3, что значительно превышает допустимое значение для эталонных степеней свободы (5,9) и позволяет принять гипотезу о правильности использования принятых аргументов.

Поведение графиков отчетной и расчетной функций убеждают нас в том, что приближение достаточно точное, а отклонения незначительны. Хотя на самом важном шаге ретропрогнозное значение и отличается от отчетного, но сохраняется в пределах допустимого отклонения (10%).

Ретропрогноз показателя «Внутренние затраты на исследования и разработки за счет собственных средств научных организаций» (SNFE), выполненный в системе РИМП

Как показывает рис. 6, и для показателя SNFE на начальном участке траектории имеют место значительные отклонения отчетной и расчетной траекторий. Затем происходит сближение отчетных и расчетных траекторий согласно задаваемому тренду, что дает итоговую ошибку $MAPE = 7,3\%$.

Ретропрогноз показателя «Внутренние затраты на исследования и разработки за счет средств организаций предпринимательского сектора» (SNFIN), выполненный в системе РИАМС

На рис. 7 приведены графики отчетных, расчетных и прогнозных значений показателя «Внутренние затраты на исследования и разработки за счет средств организаций предпринимательского сектора». Анализ графиков и сравнение таблиц отчетных и расчетных значе-

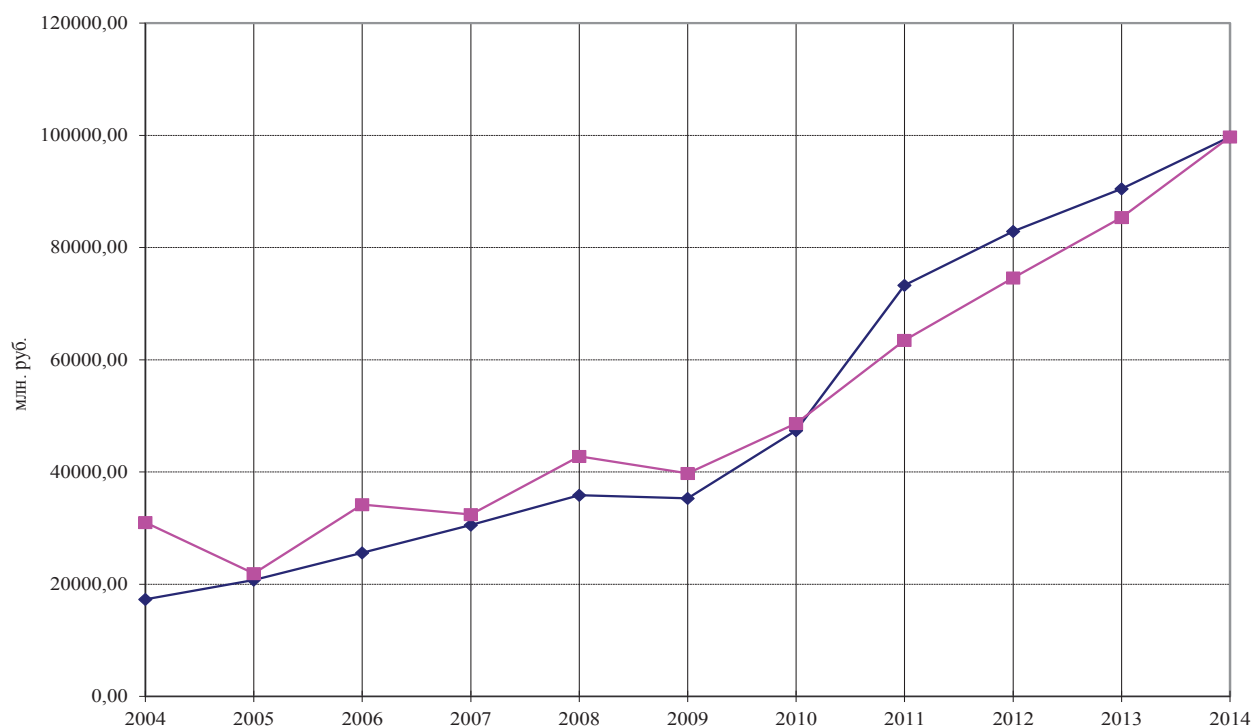


Рис. 6. Ретропрогноз показателя «Внутренние затраты на исследования и разработки за счет собственных средств научных организаций» (SNFE) в системе РИМП

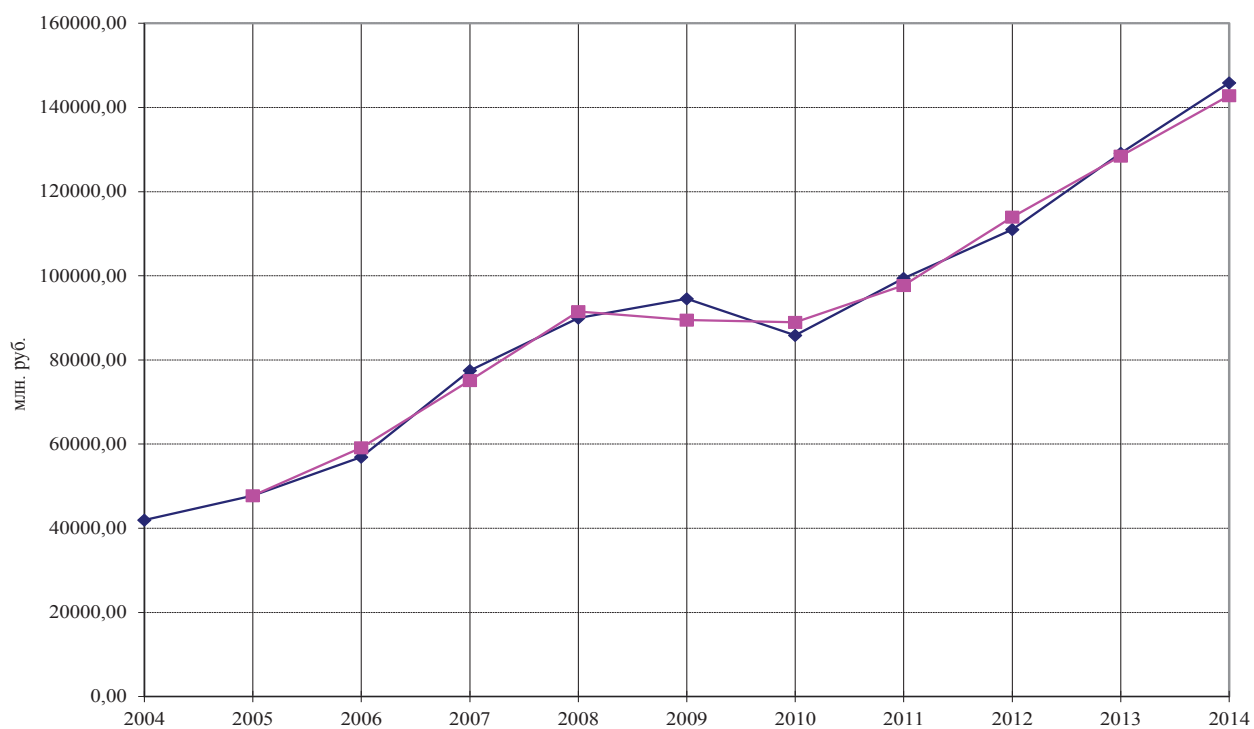


Рис. 7. Прогноз показателя «Внутренние затраты на исследования и разработки за счет средств организаций предпринимательского сектора» – SNFIN в системе РИАМС

ний показывает, что расчетные значения с достаточно высокой точностью совпадают с отчетными.

В табл. 4 приведены статистические характеристики расчета показателя «Внутренние затраты на исследования и разработки за счет средств организаций предпринимательского сектора».

В табл. 4:

- Коэффициент детерминации – $R^2 = 0,9881$;
- Критерий Дарбина-Уотсона – $DW = 3,4908$;
- F -статистика равна 5,01 что превышает допустимое значение для эталонных расчетных степеней свободы (5,9) и позволяет принять гипотезу о правильности использования принятых аргументов.

Поведение графиков отчетной и расчетной функций убеждают нас в том, что приближение достаточно хорошее, а отклонения незначительны. Темп роста замедлился в период кризиса 2008–2010 гг., но затем восстановился. Хотя на самом важном шаге ретропрогнозное значение и отличается от отчетного, но сохраняется в пределах допустимого отклонения (10%).

Таблица 4

Статистические характеристики расчета показателя «Внутренние затраты на исследования и разработки за счет средств организаций предпринимательского сектора»

Статистики		Коэффициенты					
R^2	f -stat	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5
0,9881	5,01E+01	-7,48E+05	1,49E+00	4,8E-01	3,85E+01	9,87E+01	-6,38E+03
Стандартные значения ошибок		Se_0	Se_1	Se_2	Se_3	Se_4	Se_5
		242859,65	0,4122257	0,208841	47,656290	37,29064	18923,101
Вычисление T -статистики		a_0/Se_0	a_1/Se_1	a_2/Se_2	a_3/Se_3	a_4/Se_4	a_5/Se_5
		-3,080933	3,617577	2,280480	0,806847	2,647007	-0,337070
SNFIN =		1	SNFIN_1	SNW	ASGFBS	SNE	M_2

Ретропрогноз показателя «Внутренние затраты на исследования и разработки за счет средств организаций предпринимательского сектора» (SNFIN), выполненный в системе РИМП

На рис. 8 представлены отчетные и расчетные ретропрогнозные значения показателя «Внутренние затраты на исследования и разработки за счет средств организаций предпринимательского сектора» (SNFIN) в системе РИМП.

Как показывает рис. 8, для показателя SNFIN на начальном участке происходит значительное расхождение расчетных и отчетных значений, однако, в последние 5 лет ИНС настраивается на задаваемый отчетными данными тренд, что позволяет получить незначительную ошибку $MAPE = 2,3\%$.

Прогноз показателя «Внутренние затраты на исследования и разработки по государственному сектору» (SNFG), выполненный в системе РИАМС

На рис. 9 приведены графики отчетных, расчетных и прогнозных значений показателя «Внутренние затраты на исследования и разработки по государственному сектору». Анализ графиков и сравнение таблиц отчетных и расчетных значений показывает, что расчетные значения с достаточно высокой точностью совпадают с отчетными.

В табл. 5 приведены статистические характеристики расчета показателя «Внутренние затраты на исследования и разработки по государственному сектору».



Рис. 8. Ретропрогноз показателя «Внутренние затраты на исследования и разработки за счет средств организаций предпринимательского сектора» (SNFIN) в системе РИМП

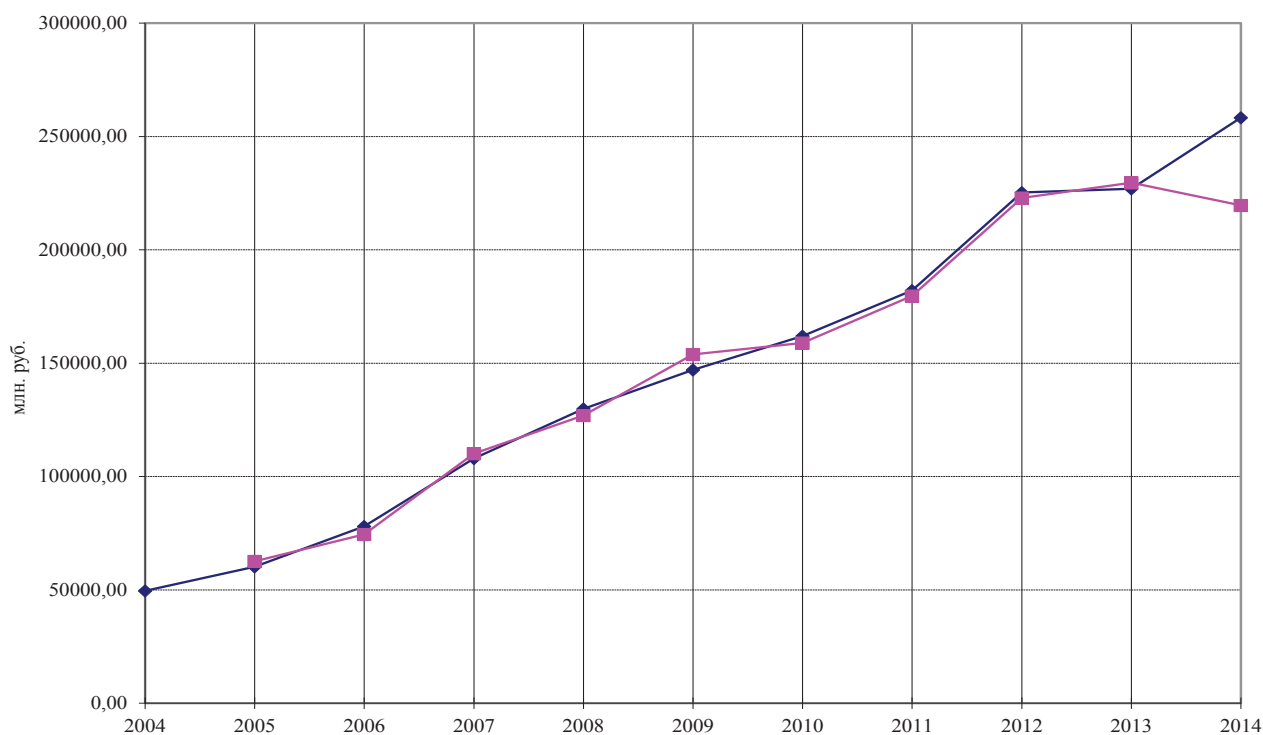


Рис. 9. Прогноз показателя «Внутренние затраты на исследования и разработки по государственному сектору» – SNFG в системе РИАМС

Таблица 5

Статистические характеристики расчета показателя «Внутренние затраты на исследования и разработки по государственному сектору»

Статистики		Коэффициенты						
R^2	f -stat	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6
0,9962	8,76E+01	5,82E+05	9,03E-01	8,9E+01	-4,65E-01	-1,53E+02	-2,00E+05	4,93E+02
Стандартные значения ошибок		Se_0	Se_1	Se_2	Se_3	Se_4	Se_5	Se_6
		305928,9	0,426	188,0751	0,61860	98,87519	59036,97	161,972
Вычисление T -статист.		a_0/Se_0	a_1/Se_1	a_2/Se_2	a_3/Se_3	a_4/Se_4	a_5/Se_5	a_6/Se_6
		1,902876	2,119	0,474644	-0,75163	-1,54695	-3,3908	3,04498
SNFG =		1	SNFG_1	ASGFBS	SNWG	SNEG	M_2	REZ

В табл. 5:

- Коэффициент детерминации – $R^2 = 0,9962$;
- Критерий Дарбина-Уотсона – $DW = 2,9411$;
- F -статистика равна 8,76, что превышает допустимое значение для эталонных расчетных степеней свободы (5,9) и позволяет принять гипотезу о правильности использования принятых аргументов.

Поведение графиков отчетной и расчетной функций убеждают нас в том, что приближение достаточно хорошее, а отклонения на отчетных участках незначительны. Но последнее – ретропрогнозное – значение отличается от отчетного более чем на 10% (14,8%).

Ретропрогноз показателя «Внутренние затраты на исследования и разработки по государственному сектору» (SNFG), выполненный в системе РИМП

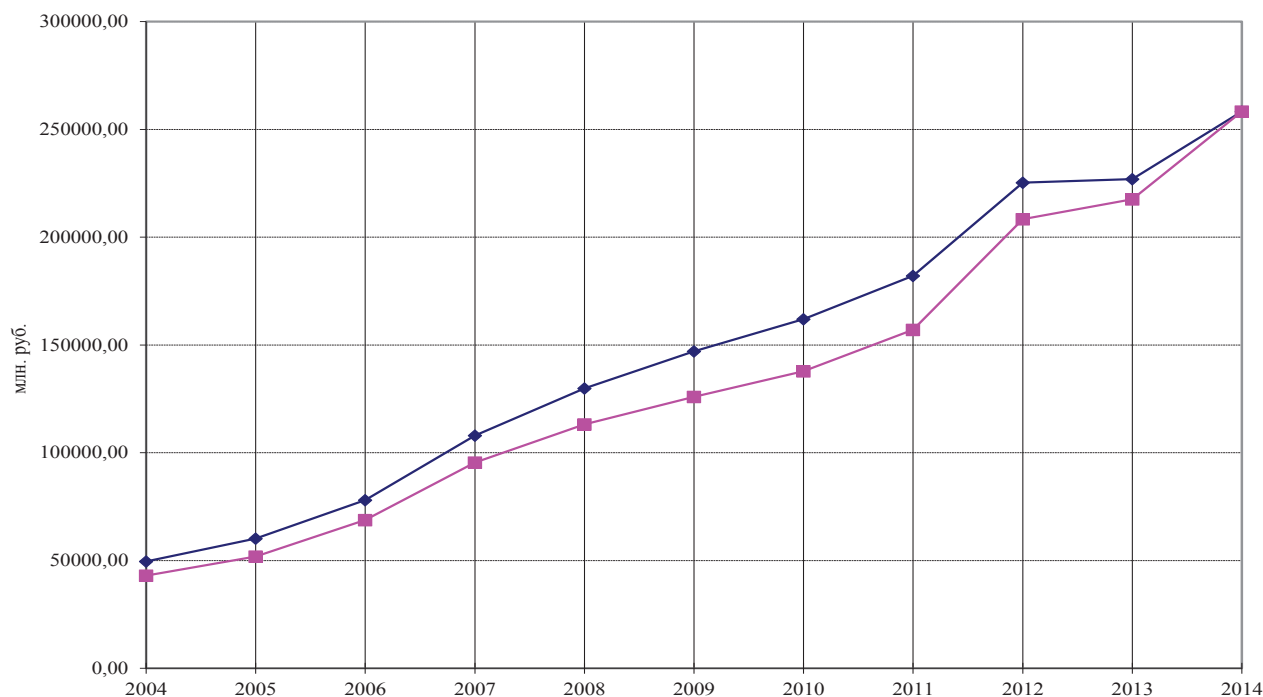


Рис. 10. Ретропрогноз показателя «Внутренние затраты на исследования и разработки по государственному сектору» SNFG в системе РИМП

На рис. 10 приведены графики отчетных и прогнозных расчетных значений показателя «Внутренние затраты на исследования и разработки по государственному сектору» (SNFG), выполненный в системе РИМП.

Как показывает рис. 10, для показателя SNFG имеет место расхождение отчетной и расчетной траекторий, которое увеличивается в середине отчетного ряда и уменьшается к последним точкам временного ряда.

Ретропрогноз показателя «Внутренние текущие затраты на исследования и разработки на оплату труда» (SNFOT), выполненный в системе РИАМС

На рис. 11 приведены графики отчетных, расчетных и прогнозных значений показателя «Внутренние текущие затраты на исследования и разработки на оплату труда». Анализ графиков и сравнение таблиц отчетных и расчетных значений показывает, что расчетные значения с достаточно высокой точностью совпадают с отчетными.

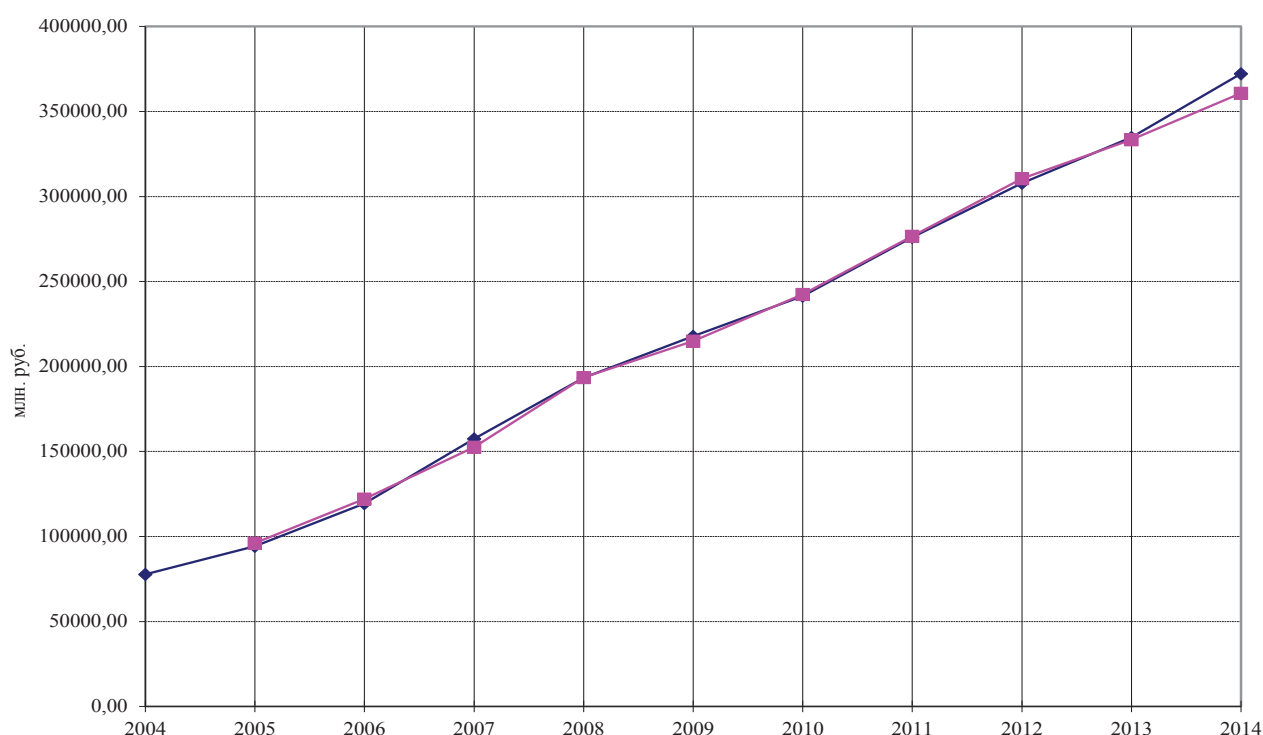


Рис. 11. Ретропрогноз показателя «Внутренние текущие затраты на исследования и разработки на оплату труда» SNFOT в системе РИАМС

В табл. 6 приведены статистические характеристики расчета показателя «Внутренние текущие затраты на исследования и разработки на оплату труда».

В табл. 6:

- Коэффициент детерминации – $R^2 = 0,999$;
- Критерий Дарбина-Уотсона – $DW = 2,411$;
- F -статистика равна 61,1, что значительно превышает допустимое значение для эталонных расчетных степеней свободы (5,9) и позволяет принять гипотезу о справедливости применения используемых аргументов.

Поведение графиков отчетной и расчетной функций убеждают нас в том, что приближение достаточно хорошее, а отклонения незначительны. На последнем шаге ретропрогнозное значение и отличается от отчетного, но сохраняется в пределах допустимого отклонения (10%).

Таблица 6

**Статистические характеристики расчета показателя
«Внутренние текущие затраты на исследования и разработки на оплату труда»**

Статистики		Коэффициенты					
R^2	f -stat	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5
0,99901	6,11E+02	-5,46E+05	1,54E+00	1,3E-01	-3,08E+02	1,19E+02	1,07E+04
Стандартные значения ошибок		Se_0	Se_1	Se_2	Se_3	Se_4	Se_5
		256532,9203	0,361050249	0,28650716	178,597880	30,0184392	16389,1466
Вычисление T -статистики		a_0/Se_0	a_1/Se_1	a_2/Se_2	a_3/Se_3	a_4/Se_4	a_5/Se_5
		-2,12820387	4,259068204	0,46312519	-1,7227514	3,95625882	0,65031634
SNFOT =		1	SNFOT_1	SNW	ASGFBS	SNE	M_2

Ретропрогноз показателя «Внутренние текущие затраты на исследования и разработки на оплату труда» (SNFOT), выполненный в системе РИМП

На рис. 12 приведены отчетные и расчетные прогнозные значения показателя «Внутренние затраты на исследования и разработки за счет средств предпринимательского сектора» SNFPS в системе РИМП.

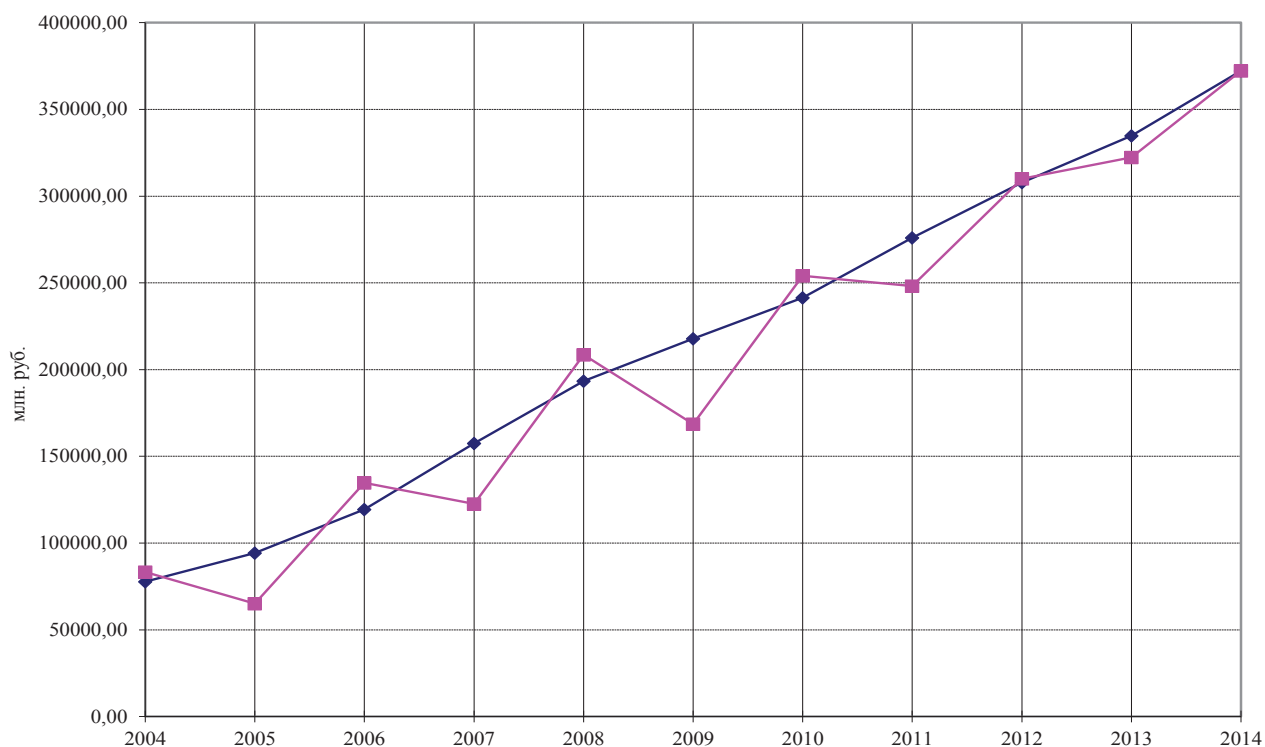


Рис. 12. Ретропрогноз показателя «Внутренние текущие затраты на исследования и разработки на оплату труда» SNFOT в системе РИМП

Как следует из рисунка, визуальный анализ показателя SNFOT показывает значительные колебания в начальном участке траектории, которые затухают к окончанию временного ряда. В заключительном отрезке имеют место сближения отчетной и расчетной траекторий.

В конечной точке происходит совпадение отчетного и прогнозного значений исследуемого показателя.

Выводы

В процессе выполнения прогнозных расчетов получены характеристики качества регрессионных моделей. Выше они были приведены для каждого исследуемого показателя. Ниже представлена сводная табл. 7, в которой приведены характеристики точности ретропрогноза каждого показателя в РИАМС и РИМП, а также время расчета каждого показателя в РИАМС и РИМП.

Таблица 7

Результаты сравнения моделей по точности и времени решения

Показатель	Время решения в РИАМС (секунд)	Точность ретроверификации в РИАМС (%)	Время решения в РИМП, (секунд)	Точность ретроверификации в РИМП (%)
SNFS	1,6	5,92	460	4,2
SNFE	1,6	8,82	500	7,3
SNFIN	1,6	2,06	500	2,3
SNFG	1,6	14,98	460	6,3
SNFOT	1,6	3,06	500	3,6

Таким образом, в представленном исследовании впервые проведен сравнительный анализ результатов прогноза некоторых показателей раздела «Внутренние затраты» сферы научных исследований и инноваций по времени расчета и точности ретроверификации. Время расчета регрессионных уравнений значительно (на два порядка) меньше, чем время расчета траекторий с помощью нейронных сетей. При этом средние относительные ошибки остаются сопоставимыми для двух методов.

Исходные данные в РИАМС не нуждаются в преобразованиях и специальной подготовке к расчетам, в то время как для нейросетевых моделей расчеты должны производиться с нормализованной информацией. В РИМП необходимо хранение масштабных множителей каждого показателя и необходима система восстановления прогнозного показателя в заданных единицах измерения. РИАМС использует стандартные средства (EXCEL) для создания баз данных отчетных и расчетных показателей. Для работы ИНС требуются специальные программные средства-преобразователи для перевода данных к принятым стандартам. Регрессионные модели имеют многоаспектные критерии качества, включая *F*-статистику. Для нейросетевых моделей существенным критерием является близость показателей расчетной и отчетной траекторий в последних четырех – пяти точках.

Для регрессионных моделей необходимо знание предметной области для того, чтобы определять зависимость исследуемого показателя от факторов – аргументов, а для прогноза в ИНС в нашем случае не используются взаимозависимости показателей. Кроме того, для регрессионных моделей необходим экспертный набор сценарных показателей и экспертные значения этих сценарных показателей на прогнозном отрезке времени. В ИНС варианты сценарных условий задаются экспертно параметрами функций активации выходных нейронов.

Проведенные исследования показали, что работа с ИНС более трудоемка. При построении расчетной модели каждого показателя требуется установка значительного числа индивидуальных параметров настройки.

Но основное преимущество РИМП остается неоспоримым: получение прогноза более высокой точности, чем в РИАМС, когда исчерпаны возможности повышения точности рас-

четов в системе РИАМС. Именно поэтому были разработаны соответствующие инструментальные средства.

Для исследователей обнаружены актуальные задачи, которые сводятся к тому, чтобы увеличить быстродействие получения результатов и снизить трудоемкость подготовки выполнения расчетов в системе РИМП.

Статья подготовлена по материалам научно-исследовательской работы, выполняемой ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ в рамках государственного задания (№ 2.42.2016/НМ) в сфере научной деятельности Минобрнауки России.

Список литературы

1. Гришин В.И., Абдикеев Н.М., Колмаков И.Б., Воронова Т.А., Турлак В.А., Филиппов Д.И. Система расчета прогнозных показателей макроэкономики России // Финансовая аналитика. Проблемы и решения. Научно-практический и информационно-аналитический сборник / М.: Издательский дом «Финансы и кредит» № 13 (37) октябрь 2010 с. 2–15.

2. Колмаков И.Б., Кольцов А.В., Доможаков М.В. Основы построения системы комплексного прогноза сферы исследований и инноваций во взаимосвязи с макроэконометрическими моделями экономики России // Инноватика и экспертиза. 2015. № 1 (14). С. 255–275.

3. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ «Программа реализации распределенной системы эконометрических моделей прогноза показателей научной сферы РФ» / № 2013 660446 Заявка № 2013618318 от 16 сентября 2013 Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 6 ноября 2013. Авторы-правообладатели Ганжа А.В., Колмаков И.Б., Кольцов А.В., Потапов С.В.

4. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ «Программа реализации распределенной метасистемы эконометрических моделей прогноза» / № 2013617339 Заявка № 2013 615488 от 27 июня 2013 г. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 9 августа 2013. Авторы-правообладатели Колмаков И.Б., Китова О.В., Потапов С.В.

5. Методологические положения по статистике. Выпуск 1 /М.: Госкомстат России, 1996 г. 674 с.

6. Китова О.В., Колмаков И.Б., Шарафутдинова 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.

7. Китова О.В., Колмаков И.Б., Кольцов А.В., Доможаков М.В. Анализ динамики результатов верификации краткосрочных прогнозов показателей сферы научных исследований и инноваций в Российской Федерации // Вестник РЭУ им. Г.В. Плеханова. 2016. № 5. С. 160–172.

8. Колмаков И.Б., Доможаков М.В. Синтез эконометрических и нейросетевых систем прогноза показателей сферы исследований и инноваций Российской Федерации // Управленческие науки М.: ФГБОУ ВО ФУН № 2 2016 с. 101.

9. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ «Программа ретроверификации и краткосрочного прогноза показателей развития экономики РФ, реализованной на принципах построения нейросетевых моделей с использованием обучающих и тестовых выборок, настраиваемых методом Доможакова» / № 2016618000 Заявка № 2016615616 от 30 мая 2016 г. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 19 июля 2016. Авторы-правообладатели Доможаков М.В., Колмаков И.Б.

10. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ «Программа реализации распределенной метасистемы интеллектуальных моделей краткосрочных прогнозов показателей развития экономики РФ (РИМП)» / № 2016619339 Заявка № 2016619488 от 23 августа 2016 г. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 21 октября 2016 г. Авторы-правообладатели Доможаков М.В., Колмаков И.Б., Пеньков И.А., Кривошеева Я.В.

11. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ «Гибридные регрессионные и интеллектуальные метасистемы краткосрочного прогноза показателей развития экономики РФ (ГРИМС)» / № 2016619339 Заявка № 2016618488 от 23 сентября 2016 г. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 21 ноября 2016 г. Авторы-правообладатели Колмаков И.Б., Китова О.В., Доможаков М.В., Пеньков И.А., Кривошеева Я.В. (Available at: http://www1.fips.ru/fips_serv1/fips_servlet).

Bibliography

1. Grishin V.I., Abdikeev N.M., Kolmakov I.B., Voronova T.A., Turlak V.A., Filippov D.I. (2010) *Sistema rascheta prognoznykh pokazateley makroekonomiki Rossii* [System of calculation of the forecasted macroeconomic indicators of Russia] *Finansovaya analitika. Problemy i resheniya. Nauchno-prakticheskiy i informatsionno-analiticheskiy sbornik* [Financial analyst. Problems and solutions. Scientific-practical and information-analytical collection] *Finansi i kredit* [Publishing house. Finance and credit], Moscow, No. 13 (37) October, pp. 2–15.
2. Kolmakov I.B., Koltsov A.V., Domozhakov M.V. (2015) *Osnovy postroeniya sistemy kompleksnogo prognoza sfery issledovaniy i innovatsiy vo vzaimosvyazi s makroekonometricheskimi modelyami ekonomiki Rossii* [The Fundamentals of the system of comprehensive forecast areas of research and innovation in conjunction with the macroeconometric models of the economy of Russia] *Innovatika i ekspertiza* [Innovation and expert examination]. No. 1 (14), pp. 255–275.
3. *Svidetel'stvo o gosudarstvennoy registratsii programmy dlya EVM «Programma realizatsii raspredelennoy sistemy ekonometricheskikh modeley prognoza pokazateley nauchnoy sfery RF» No. 2013 660446 Zayavka No. 2013618318 ot 16 sentyabrya 2013 Zaregistrovano v Reestre programm dlya EVM 6 noyabrya 2013* [The certificate of state registration for computer program «Program for the implementation of a distributed system of econometric models forecasting performance of the scientific sphere of the Russian Federation» No. 2013660446 Application No. 2013618318 dated 16 September 2013. Entered in the Register of computer programs on 6 November 2013. The authors, copyright holders Ganzha O.V., Kolmakov I.B., Kol'tsov A.V., Potapov S.V.].
4. *Svidetel'stvo o gosudarstvennoy registratsii programmy dlya EVM «Programma realizatsii raspredelennoy metasistemy ekonometricheskikh modeley prognoza» No. 2013617339 Zayavka No. 2013 615488 ot 27 iyunya 2013 g. Zaregistrovano v Reestre programm dlya EVM 9 avgusta 2013* [The certificate of state registration for computer program «Program implement a distributed metasystem of econometric models to forecast» No. 2013617339 Application No. 615488 2013 dated 27 June 2013. Entered in the Register of computer programs on 9 August 2013]. The authors, copyright holders Kolmakov I.B., Kitov O.V., Potapov S.V.
5. *Metodologicheskie polozheniya po statistike* [Methodological provisions on statistics] *Goskomstat Rossii* [GOSKOMSTAT of Russia] Moscow, 1996, Issue 1, p. 674.
6. Kitova O.V., Kolmakov I.B., Sharafutdinova A.R. (2013) *Analiz tochnosti i kachestva kratkosrochnogo prognoza pokazateley sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiya Rossii* [Analysis of the accuracy and quality of short-term forecast of socio-economic development of Russia] *Vestnik Rossiyskogo ekonomicheskogo universiteta imeni G.V. Plekhanova* [Bulletin of the Russian economic University named after G.V. Plekhanov]. No. 9, pp. 111–119.
7. Kitova O.V., Kolmakov I.B., Koltsov A.V., Domozhakov M.V. (2016) *Analiz dinamiki rezul'tatov verifikatsii kratkosrochnykh prognozov pokazateley sfery nauchnykh issledovaniy i innovatsiy v Rossiyskoy Federatsii* [Analysis of results of verification of short term forecasts to the sphere of scientific researches and innovation in the Russian Federation] *Vestnik Rossiyskogo ekonomicheskogo universiteta im. G.V. Plekhanova* [Bulletin of the Russian economic University named after G.V. Plekhanov], No. 5, pp. 160–172.
8. Kolmakov I.B., Domozhakov M.V. (2016) *Sintez ekonometricheskikh i neyrosetevykh sistem prognoza pokazateley sfery issledovaniy i innovatsiy Rossiyskoy Federatsii* [Synthesis of econometric and neural network systems to forecast indicators of the sphere of research and innovation of the Russian Federation] *Upravlencheskie nauki FGBOU VO FUN* [Management science Federation of Managerial Sciences], Moscow, No. 2, p. 101.
9. *Svidetel'stvo o gosudarstvennoy registratsii programmy dlya EVM «Programma retroverifikatsii i kratkosrochnogo prognoza pokazateley razvitiya ekonomiki RF, realizovannoy na printsipakh postroeniya neyrosetevykh modeley s ispol'zovaniem obuchayushchikh i testovykh vyborok, nastraiyaemykh metodom Domozhakova» No. 2016618000 Zayavka No. 2016615616 ot 30 maya 2016 g. Zaregistrovano v Reestre programm dlya EVM 19 iyulya 2016. Avtory-pravoobladateli Domozhakov M.V., Kolmakov I.B.* [The certificate of state registration for computer program «Program of retroorbital and short-term forecast of indicators of economic development of the Russian Federation, implemented on the principles of the neural network models using training and test samples, adjusted by method Domozhakov» No. 2016618000 Application No. 2016615616 from 30 may 2016 Registered in the Register of computer programs on 19 July 2016. The authors – copyright holders Domozhakov M.V., Kolmakov I.B.].
10. *Svidetel'stvo o gosudarstvennoy registratsii programmy dlya EVM «Programma realizatsii raspredelennoy metasistemy intellektual'nykh modeley kratkosrochnykh prognozov pokazateley razvitiya ekonomiki RF (RIMP)»*

No. 2016619339 Zayavka No. 2016619488 ot 23 avgusta 2016 g. Zaregistrirvano v Reestre programm dlya EVM 21 oktyabrya 2016 g. Avtory-pravoobladateli Domozhakov M.V., Kolmakov I.B., Pen'kov I.A., Krivosheeva Ya.V. [The certificate of state registration for computer program «Program implement a distributed meta-mental models of short term forecasts of development of economy of the Russian Federation (RIMP)» No. 2016619339 Application No. 2016619488 of August 23, 2016 Registered in the Register of computer programs on 21 October 2016 authors – copyright holders are: Domozhakov M.V., Kolmakov I.B., Pen'kov I.A., Krivosheeva J.V].

11. Svidetel'stvo o gosudarstvennoy registratsii programmy dlya EVM «Gibridnye regressionnyye i intellektual'nye metasistemy kratkosrochnogo prognoza pokazateley razvitiya ekonomiki RF (GRIMS)» No. 2016619339 Zayavka No. 2016618488 ot 23 sentyabrya 2016 g. Zaregistrirvano v Reestre programm dlya EVM 21 noyabrya 2016 g. Avtory-pravoobladateli Kolmakov I.B., Kitova O.V., Domozhakov M.V., Pen'kov I.A., Krivosheeva Ya.V. [The certificate of state registration for computer program «Hybrid regression and intellectual metasystems of short-term forecast of indicators of economic development of the Russian Federation (GRIMS)» No. 2016619339. Application No. 2016618488 of 23 September 2016 Registered in the Register of computer programs on November 21, 2016. Authors, rights holders Kolmakov I.B., Kitov O.V., Domozhakov M.V., Pen'kov I.A., Krivosheeva J.V.] Available at: http://www1.fips.ru/fips_servl/fips_servlet.