



ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОБОБЩАЮЩИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ РЕГИОНА

Е.В. Касаткина, Д.Д. Вавилова

Разработана информационно-аналитическая система прогнозирования основных социально-экономических показателей региона. В качестве последних приняты факторы производства — производственный и человеческий капитал региона и объемы инвестирования в них, а также валовый региональный продукт. Отмечено, что реализованные модели прогнозирования описывают динамику показателей региональной экономики и позволяют охарактеризовать и спрогнозировать экономическое состояние региона.

Ключевые слова: информационно-аналитическая система, база данных, факторы производства, валовой региональный продукт, прогнозирование.

ВВЕДЕНИЕ

Обеспечение устойчивости регионального развития в России представляет собой приоритетное направление социально-экономической политики в условиях нестабильности мировой экономики. Для принятия продуманных решений необходимы оперативный анализ и прогноз экономической ситуации региона. В связи с этим возникает потребность в прогнозировании экономических процессов.

Структура социально-экономических показателей довольно сложная. Задача экономического прогнозирования усложняется присутствием множества объективных и субъективных факторов внешней среды, влияние и возникновение которых оценить сложно [1]. Это ведет к высокой трудности их моделирования и прогнозирования, поэтому возрастает роль методов математического моделирования и прогнозирования данных показателей, которые невозможно реализовать без применения современных информационных технологий. Появление проблемы анализа исходной информации для прогнозирования динамики региональной экономики подталкивает к разработке информационно-аналитической системы (ИАС) для обеспечения автоматизации аналитических работ в целях обоснования принятия управленческих решений и других возможных применений.

Имеется немало программных пакетов статистической обработки данных, таких как SPSS, Eviews и др., однако они не позволяют осуществить системный подход к моделированию и прогнозированию обобщающих показателей развития региона.

Разработанным в последнее десятилетие системам прогнозирования экономических показателей свойственны те или иные недостатки. Так, представленная в работе [3] система разработки сценарных вариантных прогнозов на основе имитационных регрессионно-факторных моделей не допускает автоматического выбора вида модели для прогнозирования конкретных показателей, численно выражаемых с помощью временного ряда. Система расчета прогнозных показателей макроэкономики России [4] не позволяет анализировать показатели развития региона как составного элемента экономической системы Российской Федерации.

Предлагаемая вниманию читателей разработанная ИАС свободна от указанных недостатков. Кроме того, к ее достоинствам относится и возможность сравнения обобщающих показателей социально-экономического развития региона с показателями других субъектов РФ, где предлагаются мероприятия по стимулированию экономического роста. Оригинальная система мониторинга и прогнозирования показателей развития региона включает в себя моделирующие блоки ма-

тематической и программной обработки данных, а также оценку динамики состояния и прогноза развития региона.

В рамках выполнения Федеральной целевой программы «Разработка математического аппарата решения задач оптимального управления для различных переходных режимов экономики с учетом влияния многих факторов» для построения прогнозной динамики показателей региона, характеризующих эффективность функционирования экономической системы, была разработана ИАС «Региональное социально-экономическое прогнозирование». В ней реализована методика прогнозирования динамики макроэкономических показателей региона на краткосрочную перспективу. В качестве макропоказателей социально-экономического показателя региона рассматриваются:

- *производственный капитал* (основные производственные фонды, которые пополняются за счет капитальных вложений — инвестиций в производственный капитал);
- *человеческий капитал* (он состоит из выраженных в денежном эквиваленте капитала образования, капитала здоровья и капитала культуры, которые пополняются за счет инвестиций в человеческий капитал [2]);
- *валовой региональный продукт* (ВРП).

1. СТРУКТУРА ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

На рис. 1 представлена структура ИАС «Региональное социально-экономическое прогнозирование», которая состоит из трех основных блоков: база данных, аналитическая подсистема и блок визуализации результатов.

База данных разработана на основе системы управления реляционными базами данных MS SQL Server. Она содержит статистические данные по исходным экономическим показателям, размещенные на официальных сайтах статистики и Федерального казначейства РФ. Разработанная база данных интегрирована в программный комплекс, в котором на языке SQL-запросов реализованы возможности дополнения и изменения информации, а также получения необходимой статистической информации для расчетов.

Аналитическая подсистема разработана в среде программирования MS Visual Studio 2008. В ней реализована методика прогнозирования показателей региональной экономики, представленная на рис. 2.

В блоке визуализации представлены результаты моделирования и прогнозирования показателей в виде таблиц, графиков и диаграмм, часть из которых приведена на рис. 3—8.



Рис. 1. Структура информационно-аналитической системы регионального социально-экономического прогнозирования

2. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ИНВЕСТИЦИЙ В ФАКТОРЫ ПРОИЗВОДСТВА

К основным математическим моделям, с помощью которых осуществляется прогнозирование различных показателей, относят [5—9]:

- регрессионные модели;
- авторегрессионные модели и модели скользящего среднего;

— модели, построенные с помощью метода главных компонент;

— нейросетевые модели.

Входными данными для прогнозирования инвестиций служат годовая динамика производственного капитала и ежемесячная динамика бюджетных и частных инвестиций в человеческий капитал (в образование, здравоохранение и культуру) Удмуртской Республики с 1996 по 2012 г. [10, 11].



Рис. 2. Методика прогнозирования экономических показателей региона

Выходными данными предстают прогнозные значения инвестиций в производственный и человеческий капитал на краткосрочную перспективу.

Для выбора адекватной модели прогнозирования исходная база статистических данных разделяется на обучающее Ω^{learn} и тестовое Ω^{test} множества (участок ретропрогноза).

Для оценки качества ретропрогнозов и выбора наилучшей для краткосрочного прогнозирования модели рассчитываются показатели:

— среднеквадратичная ошибка

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^{N^{test}} (y_t - y_t^{mod})^2}{N^{test} - 1}}, \quad t \in \Omega^{test};$$

— коэффициент корреляции расчетных и статистических значений моделируемого показателя

$$r = \frac{\sum_{t=1}^{N^{test}} (y_t - \bar{y})(y_t^{mod} - \bar{y}^{mod})}{N^{test} S_y S_{y^{mod}}},$$

$$\text{где } S_y = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^{N^{test}} (y_t - \bar{y})^2}{N^{test} - 1}}, \quad S_{y^{mod}} = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^{N^{test}} (y_t^{mod} - \bar{y}^{mod})^2}{N^{test} - 1}};$$

$t \in \Omega^{test}$;

— средняя относительная погрешность

$$\bar{\delta} = \frac{1}{N^{test}} \sum_{t=1}^{N^{test}} \left| \frac{y_t - y_t^{mod}}{y_t} \right| \cdot 100 \%, \quad t \in \Omega^{test}.$$

Здесь N^{test} — количество элементов в множестве Ω^{test} ; N^{learn} — количество элементов в Ω^{learn} ; y_t^{mod} — значение уровня ряда в момент времени t , рассчитанное по модели, \bar{y}^{mod} — его среднее значение.

Прогнозирование экономических показателей с помощью регрессионных моделей базируется на экстраполяции [5]. В регрессионных моделях динамика инвестиций задается в виде некоторой функции от времени $y_t^{mod} = f(t)$.

В работе рассмотрены модели:

линейная $y_t^{mod} = b_0 + b_1(t - t_0)$;

квадратичная $y_t^{mod} = b_0 + b_1(t - t_0) + b_2(t - t_0)^2$;

кубическая $y_t^{mod} = b_0 + b_1(t - t_0) + b_2(t - t_0)^2 + b_3(t - t_0)^3$;

гиперболическая $y_t^{mod} = b_0 + \frac{b_1}{t - t_0}$;

логарифмическая $y_t^{mod} = b_0 + b_1 \ln(t - t_0)$;

экспоненциальная $y_t^{mod} = b_0 e^{b_1(t - t_0)}$;

логистическая $y_t^{mod} = -\frac{y_{\max} - y_{\min}}{e^{b_0 + b_1(t - t_0)} + 1} + y_{\max}$.

Здесь t_0 — начальный момент времени, y_t — значение уровня ряда в момент времени t , b_0 , b_1 , b_2 и b_3 — оцениваемые параметры модели.

Оценка параметров представленных моделей (4)–(10) осуществляется методом наименьших квадратов. В табл. 1 приведены результаты оценки качества ретропрогноза инвестиций в образование Удмуртской Республики (где R^2 — коэффициент детерминации, рассчитанный на обучающем множестве Ω^{learn}).

Видно, что наилучший ретропрогноз получен с помощью гиперболической модели, где средняя погрешность $\bar{\delta}$ на тестовом множестве составляет примерно 25,8 %. Аналогично в ИАС рассчитываются показатели оценки качества ретропрогноза инвестиций в другие сферы социально-экономического развития региона.

Прогнозирование с помощью авторегрессионных моделей и моделей скользящего среднего (ARMA-моделей) предполагает, что текущее значение временного ряда y_t зависит от предыдущих значений y_{t-1} , y_{t-2} , ..., y_{t-p} , которые выступают в качестве объясняющих переменных, а также учитываются ошибки ε , ε_{t-1} , ..., ε_{t-q} [12]:

$$y_t^{mod} = \gamma_0 + \gamma_1 y_{t-1} + \dots + \gamma_p y_{t-p} + \varepsilon_t - \theta_1 \varepsilon_{t-1} - \dots - \theta_q \varepsilon_{t-q}$$

Таблица 1

Показатели оценки качества ретропрогноза инвестиций в образование Удмуртской Республики по регрессионным моделям

Регрессионная модель	δ	r	$\bar{\delta}$, %	R^2
Линейная	518,465	0,29	33,62	0,23*
Квадратичная	546,907	0,30	38,17	0,23*
Кубическая	590,669	0,31	43,42	0,23*
Гиперболическая	562,055	0,27	25,77	0,07*
Логарифмическая	508,566	0,28	26,46	0,19*
Экспоненциальная	518,145	0,30	34,05	0,19*
Логистическая	803,081	0,28	62,14	0,03

* — Уровень значимости $\alpha = 0,05$.



где p — порядок авторегрессионного процесса $AR(p)$, q — порядок модели скользящего среднего $MA(q)$, $\{\gamma_0, \gamma_1, \dots, \gamma_p, \theta, \dots, \theta_q\}$ — оцениваемые по методу максимального правдоподобия параметры модели.

Среди авторегрессионных моделей динамики инвестиций в образование наилучший ретропрогноз получаем с помощью модели ARMA (12, 6), где средняя погрешность $\bar{\delta}$ на тестовом множестве составляет 25,1 %.

Прогнозирование посредством метода главных компонент заключается в реализации приведенной далее последовательности.

Шаг 1. По временному ряду формируется матрица Y и задается лаг τ ($\tau = 2, 3, \dots, N - 1$):

$$Y = \begin{bmatrix} y_1 & y_2 & \dots & y_{N-\tau+1} \\ y_2 & y_3 & \dots & y_{N-\tau+2} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ y_\tau & y_{\tau+1} & \dots & y_N \end{bmatrix} = [\bar{y}^1 \ \bar{y}^2 \ \dots \ \bar{y}^m],$$

где $m = N - \tau + 1$.

Шаг 2. Строится матрица $C = YY^T/m$ и определяются ее собственные значения h_j и собственные векторы u^j .

Шаг 3. Формируется система линейных алгебраических уравнений

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^r u_1^j h_j = y_{N-\tau+2}, \\ \dots \\ \sum_{j=1}^r u_{\tau-1}^j h_j = y_N, \quad r = \tau - 1, \end{cases}$$

которая решается методом Гаусса относительно h_j , $j = \overline{1; \tau - 1}$.

Шаг 4. По формуле

$$y_{N+1} \approx \sum_{j=1}^r u_\tau^{(r-j)} h_j.$$

строится продолжение временного ряда y_{N+1} .

Шаг 5. Полученное значение y_{N+1} добавляется в исходную числовую последовательность, и для расчета дальнейших прогнозных значений алгоритм повторяется до тех пор, пока не будет выполнен прогноз на весь необходимый интервал времени.

Среди моделей динамики инвестиций в образование, полученных с помощью метода главных компонент, наилучший ретропрогноз наблюдается у модели с лагом 12, где средняя относительная

погрешность $\bar{\delta}$ на тестовом множестве составляет 26,9 %.

Прогнозирование посредством искусственных нейронных сетей. Для прогнозирования объемов инвестирования в человеческий капитал реализовано моделирование с помощью искусственных нейронных сетей (ИНС). Именно ИНС дают наименьшую ошибку, а также обладают свойством воссоздавать неявные математические связи, которые невозможно выявить в исходных данных с помощью традиционных математических моделей [13]. В ИАС содержится подпрограмма структурной оптимизации прогнозных нейросетевых моделей [14], реализующая процедуру подбора структуры многослойной нейронной сети с помощью генетического алгоритма [15], обучение же ИНС осуществляется методом обратного распространения ошибок [16].

Для нейросетевого прогнозирования подбирается показатель временного запаздывания лаг τ , который определяет, какие из показателей в прошлом оказывают большее влияние на настоящее его значение. Для этого исходная статистическая база данных разделяется на обучающее множество и тестовое (участок ретропрогноза). На обучающем множестве данных проводится обучение ИНС. На тестовом множестве данных выбирается наилучшая модель нейронной сети для прогнозирования на основе показателя средней относительной погрешности.

Выбранный экспериментальным путем, исходя из анализа ретропрогноза инвестиций в образование (J_1), здравоохранение (J_2) и культуру (J_3), показатель τ используется для нейросетевого прогнозирования инвестиций в человеческий капитал.

Как уже отмечалось, наименьшую ошибку моделирования и прогнозирования динамики инвестиций в человеческий капитал дают нейросетевые модели. Так, в табл. 2 приведены результаты оценки качества ретропрогноза инвестиций в образование Удмуртской Республики, полученные с помощью нейросетевых моделей.

Именно нейросетевая модель с лагом 12 используется для прогнозирования инвестиций в образование населения Удмуртской Республики, поскольку имеет наименьшую погрешность в 9,2 % на участке прогноза, что более чем в 2,5 раза меньше погрешности лучшей из регрессионной и авторегрессионных моделей и модели, полученной с помощью метода главных компонент.

Погрешность нейронной сети с лагом 12, обученной по ежемесячным данным 1996—2012 гг., составляет 1,0 %. Прогноз на краткосрочный период (2013—2017 гг.) инвестиций в образование Удмуртской Республики приведен на рис. 3.

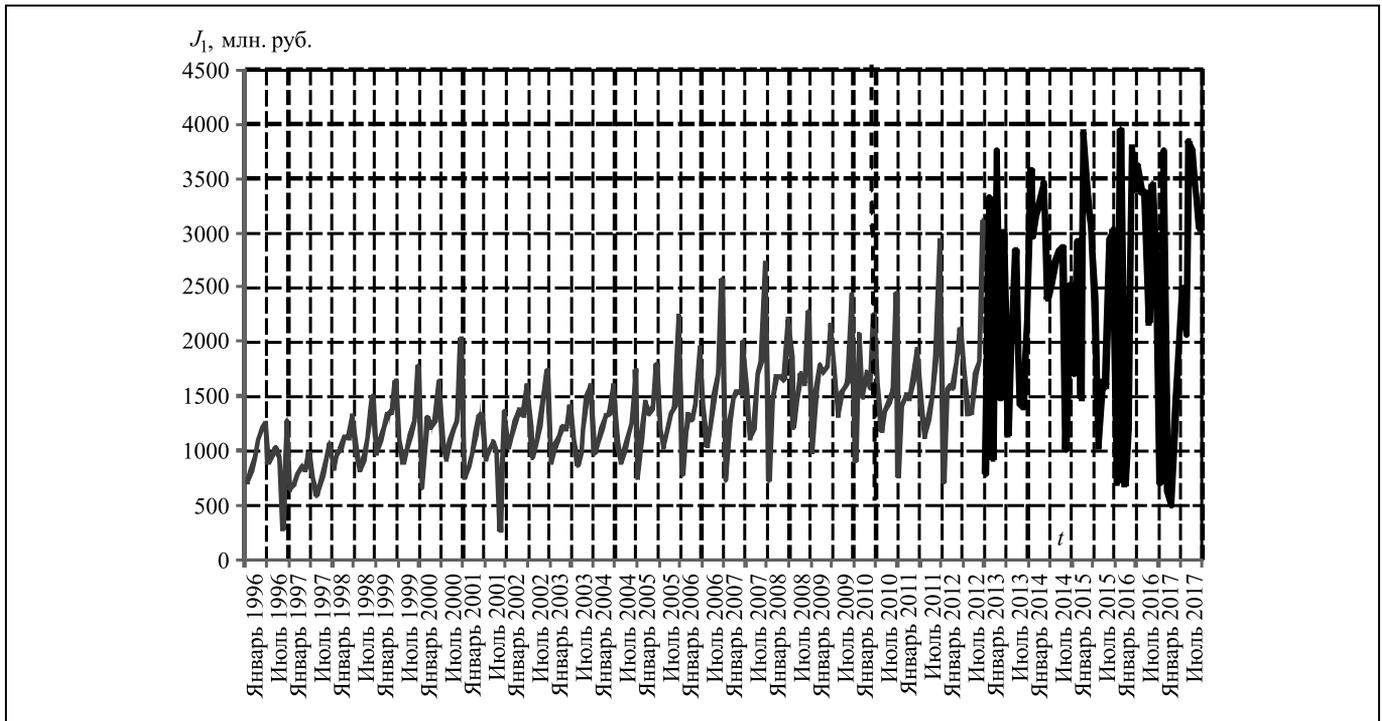


Рис. 3. Динамика инвестиций в образование Удмуртской Республики с 1996 по 2012 г. и их прогноз на период 2013—2017 гг.

Результаты краткосрочного прогнозирования объемов инвестирования в человеческий и производственный капитал Удмуртской Республики получены в модуле прогнозирования инвестиций в факторы производства (см. рис. 2).

Таблица 2

Показатели оценки качества ретропрогноза инвестиций в образование Удмуртской Республики по нейросетевым моделям

Лаг модели	σ	r	$\bar{\delta}$
2	653,167	0,16	22,65
3	787,646	-0,07	20,30
4	743,587	0,64	19,51
5	848,142	0,08	18,42
6	851,232	0,19	18,84
7	876,241	0,07	19,34
8	915,278	0,14	20,87
9	975,012	0,37	18,39
10	888,142	-0,07	18,71
11	784,321	0,24	15,65
12	580,960	0,34	9,21
24	468,013	0,64	10,52
36	513,521	0,42	13,14
48	554,667	0,54	12,42

3. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАЗВИТИЯ РЕГИОНА

3.1. Прогнозирование структурной динамики факторов производства

Прогнозирование факторов производства представляет собой сложную задачу, решение которой невозможно без анализа их структуры. В структуре производственного капитала важно распределение производственных фондов по срокам эксплуатации, в структуре человеческого капитала — распределение численности населения региона по возрастным группам и территории.

Регрессионное моделирование позволяет оценить параметры функции выбытия производственного капитала и распределения численности населения региона по возрастам, которые необходимы для прогнозирования динамики факторов производства.

Пример визуализации результатов прогнозирования структурной динамики факторов производства представлен на рис. 4.

3.2. Прогнозирование факторов производства

Для моделирования динамики и построения краткосрочного прогноза производственного K (рис. 5) и человеческого H капитала (рис. 6) реализованы экономико-математические модели

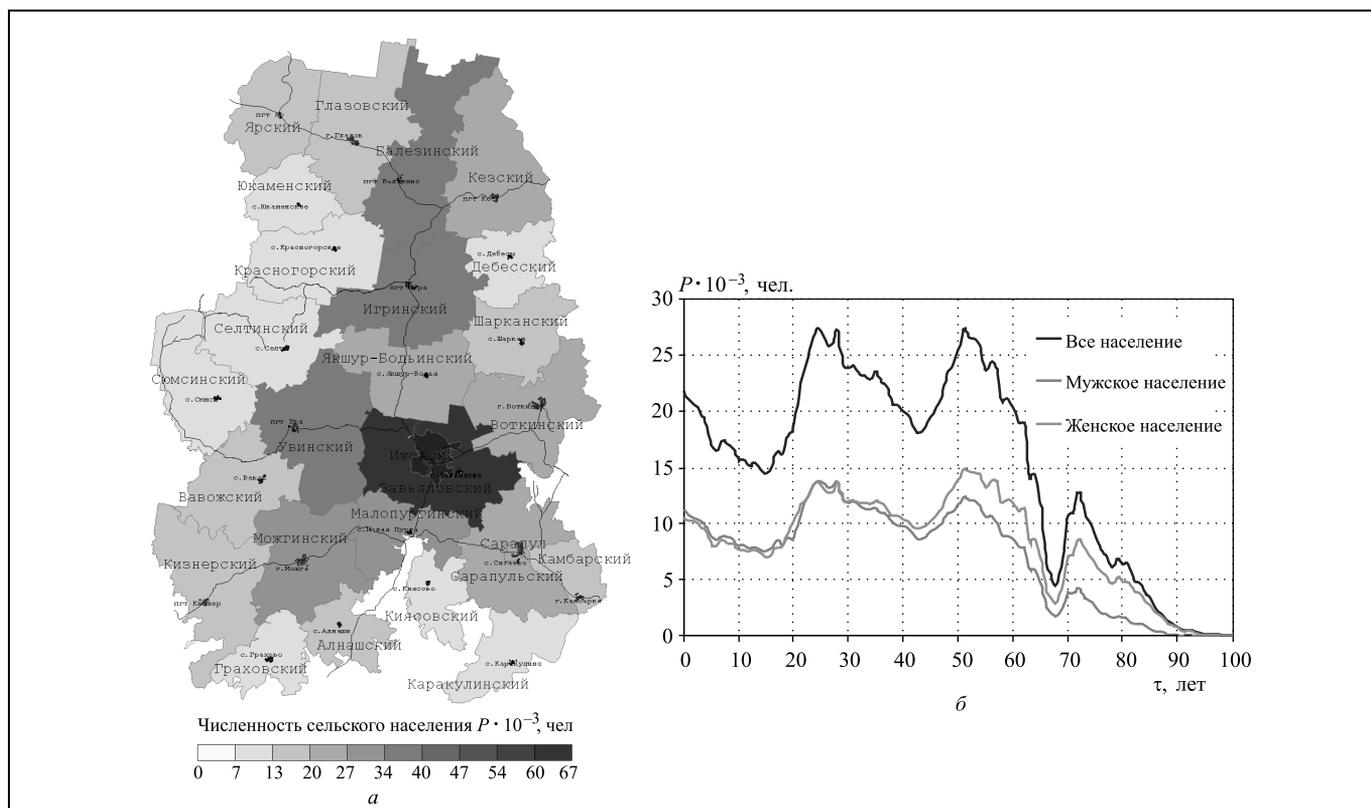


Рис. 4. Визуализация результатов прогнозирования структурной динамики факторов производства: а — распределение численности сельского населения Удмуртской Республики по районам в 2012 г.; б — распределение населения Удмуртской Республики по возрастам в 2012 г.

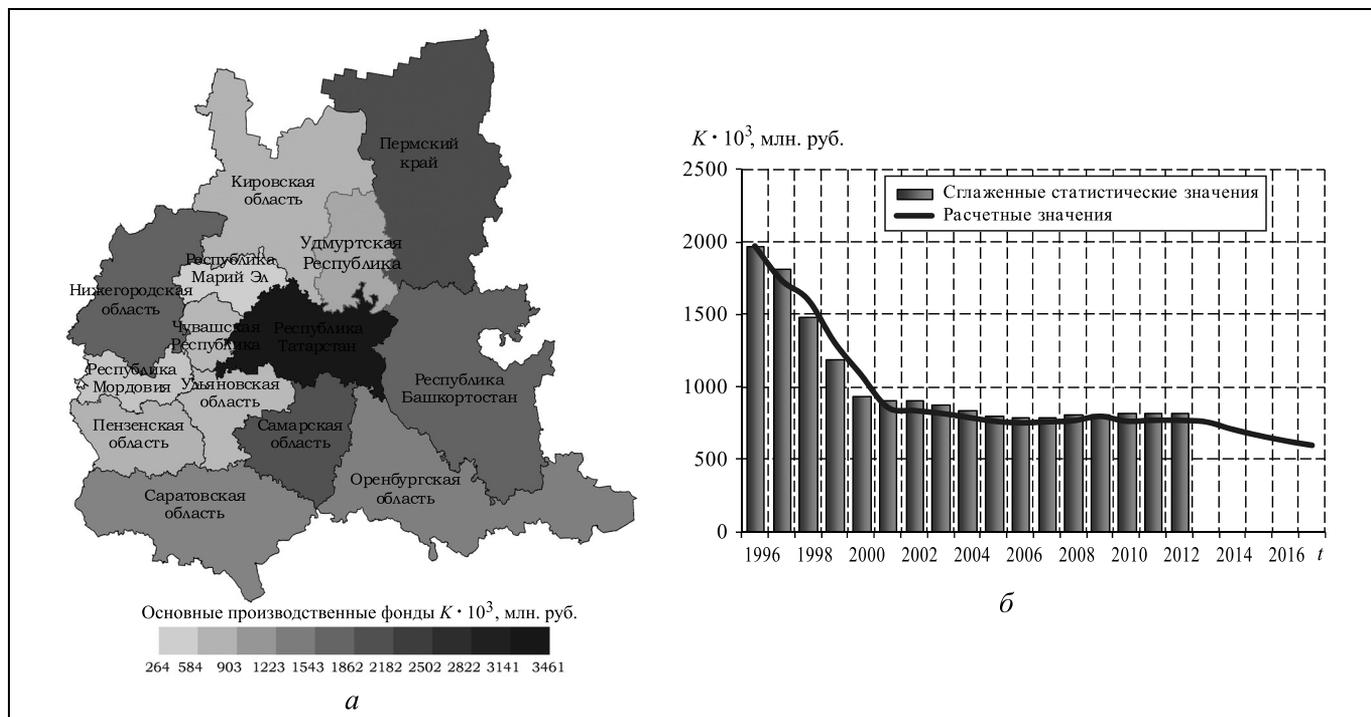


Рис. 5. Визуализация результатов прогнозирования производственного капитала: а — распределение производственного капитала по субъектам Приволжского Федерального округа в 2012 г.; б — динамика производственного капитала Удмуртской Республики и ее прогноз

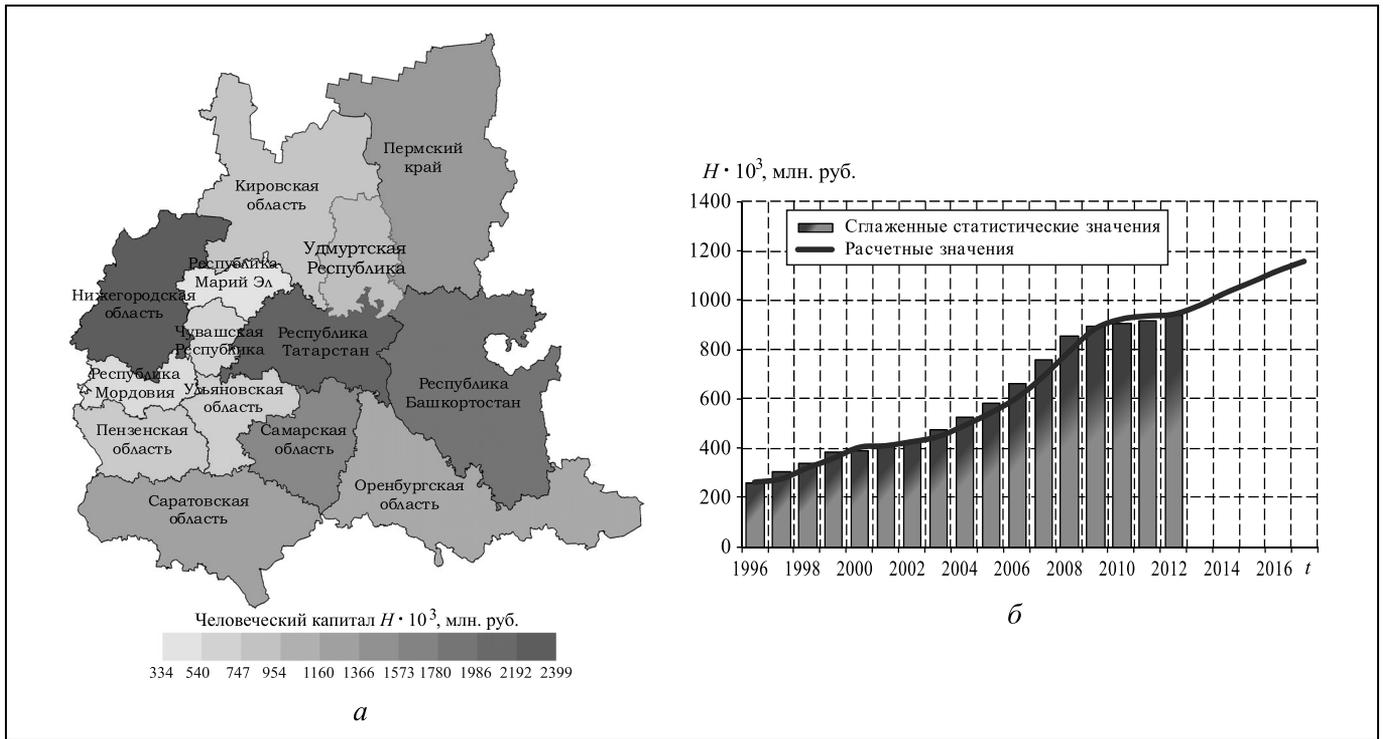


Рис. 6. Визуализация результатов моделирования человеческого капитала: *а* — распределение человеческого капитала по субъектам Приволжского Федерального округа в 2012 г.; *б* — динамика человеческого капитала Удмуртской Республики и ее прогноз

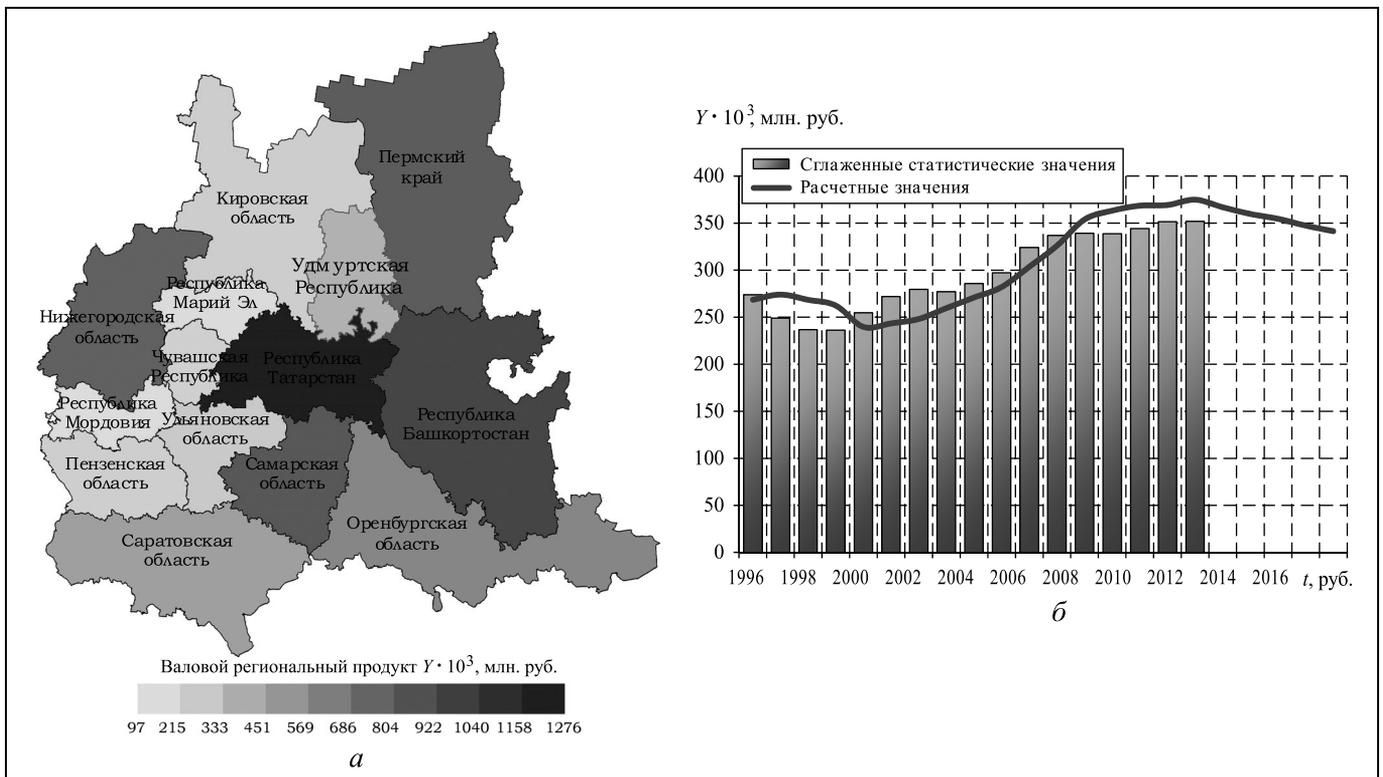


Рис. 7. Визуализация результатов прогнозирования валового регионального продукта: *а* — распределение ВРП по субъектам Приволжского Федерального округа в 2012 г.; *б* — динамика ВРП Удмуртской Республики и ее прогноз



[2, 17], представляющие собой дифференциальные уравнения с заданными начальными условиями (задача Коши), для решения которых применяется численная схема явного метода Эйлера.

Средняя погрешность моделирования (по всем статистическим данным) динамики производственного капитала составила 3,6 %, человеческого капитала — 3,9 %.

Наблюдается тенденция снижения производственного капитала Удмуртской Республики в 2013—2017 гг. Средний темп падения ОПФ за прогнозный период составит 6,2 %, при сложившихся в 2008—2012 гг. тенденциях в 1,3 %.

Человеческий капитал в 2013—2017 гг. имеет тенденцию роста, в основном, за счет прогнозируемого увеличения объемов частных инвестиций в человеческий капитал. Средний темп роста человеческого капитала на прогнозный период составит 4,3 %, при сложившихся в 2008—2012 гг. тенденциях в 4,1 %.

3.3. Прогнозирование валового регионального продукта

Прогнозирование ВРП осуществляется на основе производственной функции в виде функции Кобба — Дугласа [18]. Производственная функция строится на сглаженных статистических данных по значениям человеческого капитала, производственного капитала и ВРП.

Параметры производственной функции оцениваются методами эконометрического моделирования [4], для Удмуртской Республики по статистическим данным за период 1996—2012 гг. она имеет вид: $Y = 0,42K^{0,42}H^{0,58}$. Коэффициент детерминации построенной зависимости $R^2 = 0,93$. Статистика Фишера $F = 197,3$, что свидетельствует об адекватности модели с уровнем надежности 99 %.

В ценах 2012 года объем ВРП на 2017 г. составит 341,5 млрд руб. (рис. 7), в то время как по стратегии социально-экономического развития Удмуртской Республики на период до 2025 г. [19] эта величина — 510 млрд руб. С учетом коэффициента дисконтирования в 0,085 прогнозный объем ВРП составит 513 млрд руб., что соответствует целевой стратегии развития региона посредством наращивания объемов инвестиций в человеческий капитал Удмуртской Республики.

Спроектированная ИАС позволяет проводить параметрические исследования и анализировать пути повышения темпов роста показателей социально-экономического развития региона. Так, например, для достижения ежегодного повышения роста валового регионального продукта на 2 % в период 2013—2017 гг., наилучшим вариантом будет реализация представленного далее сценария.

Сценарий. Стимулировать экономический рост путем одновременного увеличения инвести-

ций в производственный и человеческий капитал. В этом случае для достижения ежегодного 2 %-го приращения ВРП следует увеличивать инвестиции в производственный капитал на 18,0 % в год

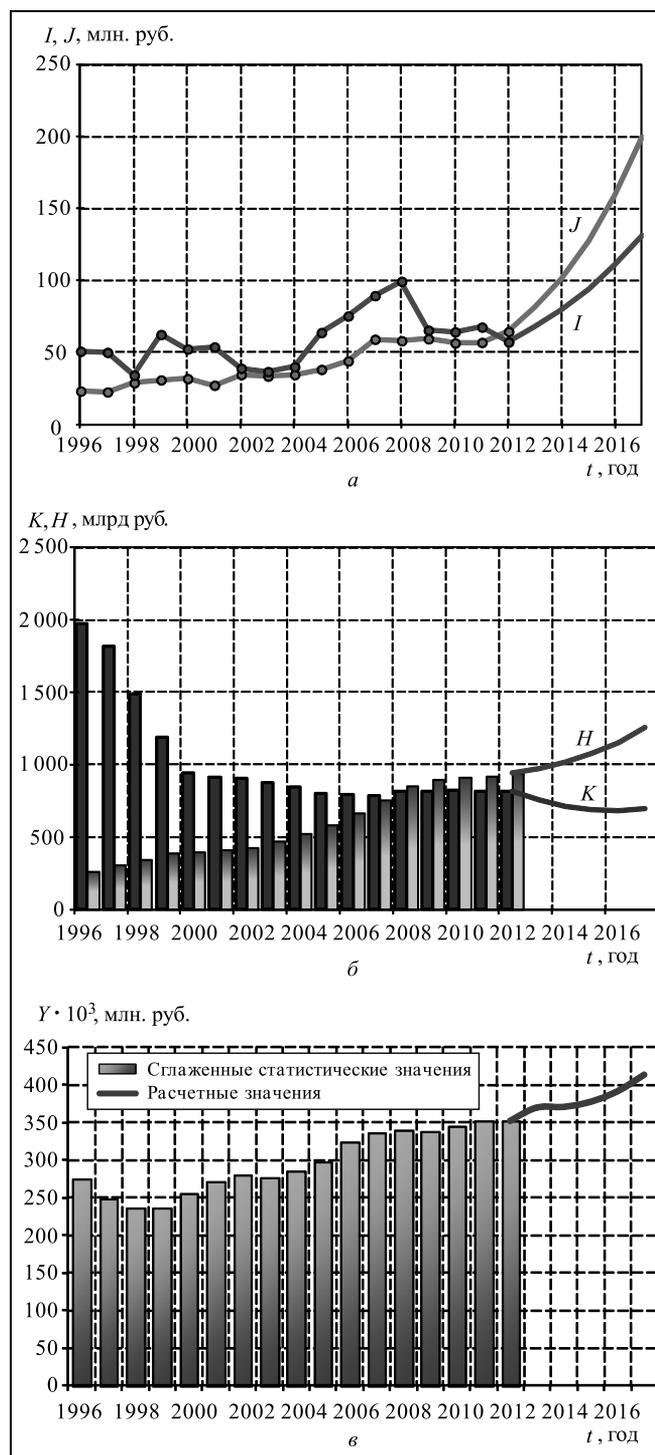


Рис. 8. Динамика инвестиций в факторы производства (а), производственного и человеческого капитала (б), валового регионального продукта (в) Удмуртской Республики с 1996 по 2012 г. и их прогноз по сценарию на период 2013—2017 гг. в ценах 2012 г.

(14,7 млрд руб./год) и в человеческий капитал на 25,4 % в год (27,1 млрд руб./год). При этом будет наблюдаться спад объемов производственных фондов уже на 3,1 % в год и рост человеческого капитала на 5,9 % в год. Данный сценарий является наиболее реализуемым в прогнозном периоде в соответствии со стратегией развития Удмуртской Республики до 2025 г. (рис. 8).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для увеличения сложившихся к настоящему времени темпов развития социально-экономической системы Удмуртской Республики необходимо перевести ее на новый уровень развития, обновив технологическую базу в приоритетных секторах экономики и построив улучшенную систему капитализации человеческих ресурсов.

С помощью разработанной информационно-аналитической системы можно анализировать и прогнозировать динамику показателей социально-экономического развития других регионов. Для этого сначала необходимо собрать исходные статистические данные, которые предоставляют органы государственной статистики и казначейства РФ:

— объемы инвестирования в производственный капитал, образование, здравоохранение и культуру населения региона;

— данные структурной динамики производственного и человеческого капитала региона;

— динамику производственного капитала региона;

— валовой региональный продукт.

Затем посредством информационно-аналитической системы регионального прогнозирования смоделировать динамику объемов инвестирования в факторы производства конкретного региона, динамику самих факторов производства и результата деятельности — валового регионального продукта.

В разработанную систему можно включить модуль многомерной кластеризации [20] субъектов РФ, который позволяет ранжировать регионы на основе социально-экономических показателей и прогнозировать изменение их рейтингов.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Околенова Э.Ю.* Методы оценки и прогнозирования инвестиционных процессов рынка коммерческой недвижимости: автореф. дис. ... д-ра экон. наук. — Воронеж, 2008.
2. *Кетова К.В., Русяк И.Г.* Экономико-математическая модель анализа и прогноза фактора человеческого капитала // Экономика, статистика, информатика. Вестник УМО. — 2007. — № 2. — С. 56—60.
3. *Китова О.В., Колмаков И.Б., Дьяконова Л.П.* Система гибридных моделей вариантного краткосрочного прогнозирования показателей социально-экономического развития

- России // Вестник российского экономического университета им. Г.В. Плеханова. — 2014. — № 12 (78). — С. 88—103.
4. Система расчета прогнозных показателей макроэкономики России / В.И. Гришин, Н.М. Абдикеев, И.Б. Колмаков и др. // Дайджест-финансы. — 2010. — № 11. — С. 20—32.
5. *Ашманов С.А.* Введение в математическую экономику. — М.: Наука, 1984. — 296 с.
6. *Айвазян С.А., Мхитарян В.С.* Прикладная статистика и основы эконометрики. — М.: ЮНИТИ, 1998. — 1005 с.
7. *Горелов С.* Математические методы в прогнозировании. — М.: Прогресс, 1993.
8. *Замков О.О.* Математические методы в экономике: учебник. — М.: Дело и Сервис, 2001.
9. *Федосеев В.В.* Экономико-математические методы и прикладные модели. — М.: ЮНИТИ, 2002.
10. Федеральная служба государственной статистики [Электронный ресурс] / Официальный сайт Федеральной службы государственной статистики. — Режим доступа: <http://www.gks.ru> (дата обращения: 14.04.2014).
11. Отчетность об исполнении консолидированного бюджета РФ, Министерство Финансов Российской Федерации, Федеральное казначейство (Казначейство России) [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.goskazna.ru/reports/cb.html> (дата обращения: 14.04.2014).
12. *Магнус Я.Р., Катышев П.К., Пересецкий А.А.* Эконометрика. Начальный курс. — М.: Дело, 2004. — 576 с.
13. *Кетова К.В., Касаткина Е.В., Насридинова Д.Д.* Прогнозирование динамики инвестиционных процессов // Вестник Ижевского гос. техн. ун-та им. М.Т. Калашникова. — 2013. — № 3 (59) — С. 150—154.
14. *Трушкова Е.В.* Опыт применения генетического алгоритма для оптимизации системы топливоснабжения // Математическое моделирование. — 2013. — Т. 25, № 1. — С. 99—112.
15. *Кетова К.В., Касаткина Е.В., Насридинова Д.Д.* Программа структурной оптимизации прогнозных нейросетевых моделей. Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2014615568. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 08.08.2014 г.
16. *Рутковская Д., Пилиньский М., Рутковский Л.* Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы: Пер. с польск. И.Д. Рудинского. — М.: Горячая линия — Телеком, 2006. — 452 с.
17. *Кетова К.В., Касаткина Е.В., Насридинова Д.Д.* Прогнозирование показателей социально-экономического развития региона // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. — 2013. — № 4 (28). — С. 104—120.
18. *Клейнер Г.Б.* Производственные функции: Теория, методы, применение. — М.: Финансы и статистика, 1986. — 239 с.
19. Стратегия социально-экономического развития Удмуртской Республики на период до 2025 года. Приложение к Закону Удмуртской Республики от 09 октября 2009 г. № 40-РЗ.
20. *Кетова К.В., Сабурова Е.А., Шумилова К.В.* Программа многомерной кластеризации на основе генетического алгоритма. Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2014616275. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 28.08.2014.

Статья представлена к публикации членом редколлегии Л.П. Боровских.

Касаткина Екатерина Васильевна — канд. физ.-мат. наук, доцент, ✉ e.v.trushkova@gmail.com,

Вавилова Дайана Дамировна — аспирант, ✉ daiana1604@yandex.ru,

Ижевский государственный технический университет им. М.Т. Калашникова.