

Модель образовательной структуры общества и прогноз эволюции уровней третичного образования

Model of the educational structure of society and the forecast of the evolution of tertiary education levels

doi 10.26310/2071-3010.2020.257.3.002



А. П. Зубарев,
к. ф.-м. н., старший научный сотрудник
✉ zubarev@fcntp.ru

A. P. Zubarev,
cand. sci. (phys. and math.), senior researcher



А. К. Скуратов,
д. т. н., старший научный сотрудник
✉ skuratov@fcntp.ru

A. K. Skuratov,
dr. sci. (engineering), senior researcher

ФГБНУ «Дирекция научно-технических программ»

Federal state budgetary institution «Directorate of scientific and technical programs»

Объектом исследования является образовательная структура населения России. В работе проанализировано современное состояние образовательной структуры населения, дан прогноз ее развития. В работе были использованы данные Росстата, Министерства науки и высшего образования, сборники Высшей школы экономики. Инструментом исследования образовательной структуры населения России послужила предложенная в работе балансовая математическая модель в виде дифференциальных уравнений, описывающих изменения в образовательных уровнях во времени и в различных возрастных группах. Проведены численные эксперименты, позволившие дать прогноз изменений выпусков бакалавров, магистров, специалистов и кандидатов наук до 2031 г. Дан прогноз изменений долей населения в возрастных группах с различными уровнями образования до 2031 г.

The object of the study is the educational structure of the population of the Russian Federation. The paper analyzes the current state of the educational structure of the population, gives a forecast of its development. The initial data used in this work were data from Rosstat, the Ministry of Science and Higher Education, and collections of the Higher School of Economics. A tool for studying the educational structure of the Russian population was the balance mathematical model proposed in the work in the form of differential equations that describe changes in educational levels over time and in different age groups. The technology proposed in the work for highlighting the general demographic background made it possible to find analytical solutions that describe changes in the shares of the population at various levels of education in age groups. Numerical experiments were conducted that made it possible to forecast changes in the graduations of bachelors, masters, specialists and candidates of sciences until 2031. The forecast of changes in the shares of the population in age groups with different levels of education until 2031 is given. The forecast of changes in the quality of education of people at the tertiary level of education is given.

Ключевые слова: система высшего образования, Болонский процесс, уровни третичного образования, математическое моделирование, демографический прогноз.

Keywords: higher education system, Bologna process, tertiary education levels, mathematical modeling, demographic forecast.

Введение

В настоящей работе методами математического моделирования исследуется образовательная структура общества. Традиционно изучения такого рода в широком смысле (как и педагогика в узком) относились к области гуманитарных наук. Но как отмечается в [1] барьер между математическим и гуманитарным постепенно преодолевается. Например, в [2, 3] рассмотрены математические модели социально-экономического поведения.

В России произошел переход от советской к болонской системе в сфере высшего образования. Характерная для советской системы последовательность: высшее образование – кандидат наук – доктор наук заменена на последовательность образовательных уровней 6 – 7 – 8, совокупность которых в соответствии с Международной стандартной классификацией образования МСКО 2011 [4] принято называть третичной

ступеню образования. В российских реалиях совокупность людей, находящихся на третичной ступени образования составляют бакалавры (6-й уровень МСКО 2011), магистры и специалисты (7-й уровень МСКО 2011), кандидаты и доктора наук (8-й уровень МСКО 2011, кандидат/доктор наук – аналог западного PhD). Результатом этого является наблюдаемое сокращение выпуска специалистов и увеличение выпусков бакалавров и магистров.

Исходные данные

В табл. 1 представлены данные по выпускам для вышеуказанных образовательных уровней [14, 15] а также количества людей, в отношении которых ВАК Минобрнауки принято решение о присуждении ученой степени кандидата наук [16, 17] за период 2010-2019 гг.

Прогнозирование в области образования можно разбить на два направления: количественное и каче-

Таблица 1

Выпуски бакалавров, магистров, специалистов и кандидатов наук, 2010-2019 гг., человек

Выпуск/год	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Бакалавров	126600	127600	128800	120172	214497	589754	762577	732625	660950	662314
Магистров	26400	36800	45200	56521	75381	77401	82470	137813	170437	212236
Специалистов	1306900	1270800	1218200	1114277	936396	633316	316032	99051	101766	109582
Кандидатов наук	21155	22827	21144	20014	9896	12524	10497	9572	8484	Н/д

ственное прогнозирование. Методы прогнозирования в образовании представлены в [5], где рассматриваются педагогические и дидактические проблемы, связанные с прогнозированием целей, содержания, методов, средств и организационных форм обучения, и воспитания учащихся на разных ступенях образования. В [6] рассматриваются различные подходы к количественному прогнозированию образования в России, такие как: институциональный подход, который опирается на эмпирические показатели и развитие государствообразующих социальных институтов, и играет ключевую роль в предвидении развития образования, такой подход реализован в [7]; формально-логистический подход, связанный с нормативным регулированием российского образования, включая его модернизацию и внедрение новых образовательных технологий, такой подход рассмотрен в [8]; также большую роль в развитии образовательной системы играет прогноз демографических тенденций. При построении математических моделей для решения, например, инженерно-технических задач используются физические законы, вариационные принципы, различного рода аналогии [9]. «Применительно к гуманитарным наукам использование этого богатого исследовательского арсенала сопряжено с принципиальными трудностями. Существенное присутствие «человеческого фактора», сознательное участие в социальных процессах как отдельных людей, так и целых социальных общностей порождает ряд фундаментальных проблем, препятствующих созданию отвечающих реальности математических моделей в этой сфере» [10]. Но в случае, когда для компонентов изучаемой системы, относящейся к социальной природе, связи реально существуют (например, балансовые) и их можно установить количественно, методы математического моделирования используются и их применение оправдано [11]. Так, например, для изучения возрастной и национальной структуры населения в [12] использовалась модель, построенная на системе интегро-дифференциальных уравнений, выражающих реально существующий баланс между рождаемостью, смертностью и миграцией. В настоящей статье рассмотрена упрощенная схема образовательной системы общества, представленная на рис. 1.

Терминология и метод исследования

В статье использована терминология: все совокупности людей, входящие в ячейки рис. 1, называются группами. То есть человек без высшего образования входит в группу 1, бакалавр — в группу 2, магистр — в группу 3, специалист — в группу 4, кандидаты и доктора наук (PhD) — в группу 5. Несмотря на то, что магистры и специалисты по образовательному уровню считаются равнозначными, они были выделены в отдельные группы, так как, например, согласно действующим нормам, нельзя из группы 1 перейти в третью, а в четвертую можно. Особенностью схемы, представленной на рис. 1, является то, что фактически существующие в России две ученые степени (кандидаты и доктора наук) объединены в одну группу, обозначенную как 5-я — PhD. Таким названием, например, в США,



Рис. 1. Упрощенная схема образовательной системы

классифицируются научные и научно-педагогические кадры высшей ученой степени, которая следует сразу за степенью магистра наук. Люди, закончившие вуз с дипломом «специалист», выделены в группу 4. Они, как и «магистры» имеют право переходить в высшую категорию — группу 5 (PhD). И через аспирантуру, и через соискательство без аспирантуры [18]. На рис. 1 учтено также обстоятельство, что до 2007 г. бакалавры имели право поступать в аспирантуру (и, соответственно, защищать кандидатскую степень), а до 2014 г. они могли участвовать в соискательстве ученой степени «кандидат», но только без аспирантуры. Рассмотрим движение людей в схеме, представленной на рис. 1. Примем обозначения: пусть t — время (календарные годы), x — возраст (лет), $S_1(x, t)$ — количество людей в России без высшего образования в момент времени t и возраста x , $S_2(x, t)$ — количество людей с дипломом бакалавра, $S_3(x, t)$ — количество людей с дипломом магистра, $S_4(x, t)$ — количество людей с дипломом специалиста, $S_5(x, t)$ — количество людей, имеющих ученую степень (кандидаты и доктора наук), все также в момент времени t и возраста x . Идеология использованной в настоящей работе математической модели основывается на правиле баланса: сумма всех количеств людей в группах от первой до пятой (рис. 1) должна быть равна общему населению страны. То есть, например, если бакалавр защищается как магистр, то из бакалавров он удаляется, становясь магистром. Аналогично, если магистр получает диплом кандидата (успешно защищает кандидатскую диссертацию), то из магистров он удаляется, становясь PhD. С учетом таких демографических процессов как смертность и международная миграция, и переходов с уровня на уровень в схеме, представленной на рис. 1, математически движение населения по образовательной системе можно записать в виде системы дифференциальных уравнений:

$$\frac{\partial S_1}{\partial t} + \frac{\partial S_1}{\partial x} = -\mu_1 S_1 - \varphi_1 S_1 - B_{12} S_1 - B_{14} S_1, \quad (1)$$

$$\frac{\partial S_2}{\partial t} + \frac{\partial S_2}{\partial x} = -\mu_2 S_2 - \varphi_2 S_2 + B_{12} S_1 - B_{23} S_2 - B_{25} S_2, \quad (2)$$

$$\frac{\partial S_3}{\partial t} + \frac{\partial S_3}{\partial x} = -\mu_3 S_3 - \varphi_3 S_3 + B_{23} S_2 - B_{35} S_3, \quad (3)$$

$$\frac{\partial S_4}{\partial t} + \frac{\partial S_4}{\partial x} = -\mu_4 S_4 - \varphi_4 S_4 + B_{14} S_1 - B_{45} S_4, \quad (4)$$

$$\frac{\partial S_5}{\partial t} + \frac{\partial S_5}{\partial x} = -\mu_5 S_5 - \varphi_5 S_5 + B_{25} S_2 + B_{35} S_3 + B_{45} S_4. \quad (5)$$

В уравнениях (1)-(5) $\mu_k, \varphi_k, k=1, 2, 3, 4, 5$ коэффициенты смертности и международной миграции для людей соответствующей группы. Отметим, что коэффициенты смертности μ_k всегда положительны, а миграции φ_k могут быть как положительными (оттоки из страны), так и отрицательными (притоки в страну). Левые части уравнений (1)-(5) – обычная форма записи в эволюционных дифференциальных уравнениях при рассмотрении вопросов демографии [11, 12]. Коэффициенты переходов в (1)-(5): B_{12} (из 1 в 2) – из «без высшего образования» в «бакалавры», B_{14} (из 1 в 4) – из «без высшего образования» в «специалисты», B_{23} (из 2 в 3) – из «бакалавров» в «магистры», B_{25} (из 2 в 5) – из «бакалавров» в PhD, B_{35} (из 3 в 5) – из «магистров» в PhD, B_{45} (из 4 в 5) – из «специалистов» в PhD. Выполним в систему уравнений (1)-(5) подстановку:

$$S_k(x, t) = R(x, t) Y_k(x, t), k=1, \dots, 5, \quad (6)$$

где $R(x, t)$ – все население России в момент времени t в возрасте x . Функции $Y_k = S_k/R$ – являются долями k -й группы среди всего населения, так и будем их называть. Введем обозначения $A_k = \mu_k + \varphi_k, k=1, \dots, 5$ и

$$\frac{\partial}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} = \hat{L}.$$

Предположим, что $A_2 = A_3 = A_4 = A_5 = A_{HE}$, т. е. смертность и миграционные характеристики людей находящихся на третичной ступени образования одного возраста одинаковые, тогда:

$$\begin{aligned} \hat{L}R &= -A_1S_1 - A_2S_2 - A_3S_3 - A_4S_4 - A_5S_5 = -A_1S_1 - \\ &- A_{HE}(S_2 + S_3 + S_4 + S_5) = -A_1S_1 - A_{HE}(R - S_1) = \\ &= (A_{HE} - A_1)S_1 - A_{HE}R \Rightarrow \hat{L}S_1 = R\hat{L}Y_1 + Y_1LR = R\hat{L}Y_1 + \\ &+ Y_1((A_{HE} - A_1)RY_1 - A_{HE}R) = -A_1RY_1 - B_{12}RY_1 - B_{14}RY_1 \Rightarrow \hat{L}Y_1 = \\ &= (-A_{HE} - A_1)Y_1^2 + ((A_{HE} - A_1) - B_{12} - B_{14})Y_1. \end{aligned}$$

Используем формулы этой цепочки, подставим (6) в уравнения (2)-(5) и получим систему уравнений для долей населения:

$$\hat{L}Y_1 = -aY_1^2 + (a - B_{12} - B_{14})Y_1, \quad (7)$$

$$\hat{L}Y_2 = -(B_{23} + B_{25} + aY_1)Y_2 + B_{12}Y_1, \quad (8)$$

$$\hat{L}Y_3 = -(B_{35} + aY_1)Y_3 + B_{23}Y_2, \quad (9)$$

$$\hat{L}Y_4 = -(B_{45} + aY_1)Y_4 + B_{14}Y_1, \quad (10)$$

$$\hat{L}Y_5 = -aY_1Y_5 + B_{25}Y_2 + B_{35}Y_3 + B_{45}Y_4, \quad (11)$$

где $a = A_{HE} - A_1; A_{HE} = A_2 = A_3 = A_4 = A_{15}$.

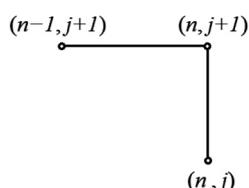


Рис. 2. Шаблон разностной схемы бегущего счета «правый верхний уголок»

Таким образом, представление (6) позволило, выделив общий нестационарный демографический фон $R(x, t)$, оставить только нестационарность, связанную с перераспределением во времени между $Y_k(x, t)$, поскольку очевидно, что выполняется баланс $Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_4 + Y_5 = 1$ для любых x и t . Краевые условия при $x=0$ задаются, исходя из факта, что в нулевом возрасте нет бакалавров, магистров, специалистов и PhD. Для демографических проблем на решения необходимо накладывать также начальные условия по времени, которые логично связать со временем проведения общенациональной переписи населения. В случае если все движение в модели, представленной на рис. 1, начинается только с некоторого возраста $x_0 > 0$, то краевое условие будет выглядеть $Y_1(x=x_0, t) = 1$. На практике x_0 возможно связать с характерным возрастом получения диплома «бакалавр» – нижнем уровне третичной ступени образования.

Разработка вычислительной модели

При выполнении работы были применены численные методы расчетов. Для уравнений (7)-(11) был использован метод «бегущего счета». На рис. 2 представлен использованный шаблон схемы метода «бегущего счета» «правый верхний уголок» [13]. По горизонтали шаблона – изменение по x , по вертикали – по t .

Конечно-разностное представление оператора \hat{L} на схеме рис. 2:

$$\hat{L}Y_k = \frac{Y_k(n, j+1) - Y_k(n, j)}{\Delta t} + \frac{Y_k(n, j+1) - Y_k(n-1, j+1)}{\Delta x}. \quad (12)$$

Особенностью выбранной схемы является ее безусловная устойчивость по начальным и крайвым данным [13]. Использование метода «бегущего счета» позволяет находить решение (7)-(11) послойно, переходя от слоя с известными значениями к следующему слою и т. д. «Нулевыми» слоями с известными значениями должны служить заданные соответствующим образом начальные и краевые условия, о которых будет сказано ниже.

Диапазон возрастов, исследованных в работе – от 19 лет до 85 лет, диапазон времени – от 2010 г. до 2031 г. включительно. Примем диапазон возрастов от 19 до 85 лет за единицу, тогда $\Delta x = \Delta t = \Delta = 1/66; 0 \leq x \leq 1; 0 \leq t \leq 21/66$. Подставив (12) в (7)-(11) и решив неявную схему метода «бегущего счета» относительно $Y_k(n, j+1)$ получим следующие выражения:

$$Y_1(n, j+1) =$$

$$\frac{(a - B_{12} - B_{14})\Delta - 2 + \left(\left[(a - B_{12} - B_{14})\Delta - 2 \right]^2 + 4a\Delta [Y_1(n, j) + Y_1(n-1, j+1)] \right)^{1/2}}{2a\Delta}, \quad (13)$$

$$Y_2(n, j+1) = \frac{Y_2(n, j) + Y_2(n-1, j+1) + B_{12}Y_1(n, j+1)\Delta}{2 + [B_{25} + B_{23} + aY_1(n, j+1)]\Delta}, \quad (14)$$

$$Y_3(n, j+1) = \frac{Y_3(n, j) + Y_3(n-1, j+1) + B_{23}Y_2(n, j+1)\Delta}{2 + [B_{35} + aY_1(n, j+1)]\Delta}, \quad (15)$$

$$Y_4(n, j+1) = \frac{Y_4(n, j) + Y_4(n-1, j+1) + B_{14}Y_1(n, j+1)\Delta}{2 + [B_{45} + aY_1(n, j+1)]\Delta}, \quad (16)$$

$$Y_5(n, j+1) = \frac{Y_5(n, j) + Y_5(n-1, j+1) + [B_{25}Y_2(n, j+1) + B_{35}Y_3(n, j+1) + B_{45}Y_4(n, j+1)]\Delta}{2 + aY_1(n, j+1)\Delta} \quad (17)$$

Входящие в правые части уравнений (13)-(17) значения $a, B_{12}, B_{14}, B_{23}, B_{25}, B_{35}, B_{45}$ берем в узле $(n, j+1)$. Необходимо задать начальные и краевые условия. Краевое условие очевидно: среди младенцев нет людей с высшим образованием. В нашем случае будем полагать, что при $x=0$ (в 19 лет) $Y_1=1; Y_2=Y_3=Y_4=Y_5=0$. Для задания начального условия используем данные переписи населения за 2010 г. [19]. В данных переписи были указаны количества людей, проживающих в России в 2010 г. в возрастных пятилетних диапазонах, имеющих образование от «без начального образования», «начальное образование» и до уровней, составляющих «высшее образование». Кандидаты наук и доктора наук в данных переписи представлены в десятилетних возрастных диапазонах: 20-29 лет, 30-39 лет, 40-49 лет, 50-59 лет, 60-69 лет, 70 лет и старше. Начальные данные строились для людей без высшего образования (Y_1), бакалавров (Y_2), магистров (Y_3) и специалистов (Y_4) аппроксимацией непрерывными кусочно линейными (кусочно непрерывно дифференцируемыми) в пятилетних диапазонах функций по годам. Всего для людей, относящихся к группам $k=1, \dots, 4$, данными переписи 2010 г. было представлено 11 возрастных диапазонов: 20-24 лет, 25-29 лет, 30-34 лет, 35-39 лет, 40-44 лет, 45-49 лет, 50-54 лет, 55-59 лет, 60-64 лет, 65-69 лет, 70 лет и старше. Для возрастов 19 и младше выполнялось условие $Y_1=1; Y_2=Y_3=Y_4=Y_5=0$. Аналогичным образом кусочно линейными непрерывными функциями строилась аппроксимация начальных значений Y_5 (PhD) в 2010 г., но с использованием десятилетних возрастных диапазонов.

Для коэффициентов переходов $B_{12}, B_{14}, B_{23}, B_{25}, B_{35}, B_{45}$ как функций времени $t \in [0; 21/66]$ и возраста $x \in [0; 1]$ были использованы следующие модельные представления:

$$B_{kn}(x, t) = X_{kn}(x)T_{kn}(t), \quad (18)$$

$$X_{kn}(x) = \Theta(x - x_{kn}) \frac{(x - x_{kn})^{p_{kn}} \exp(-\alpha_{kn}(x - x_{kn}))}{\max [(x - x_{kn})^{p_{kn}} \exp(-\alpha_{kn}(x - x_{kn}))]}; \quad (19)$$

$$p_{kn} > 0; \alpha_{kn} > 0,$$

$$T_{kn}(t) = \frac{c_{kn} \exp(\gamma_{kn}(t_{kn} - t)) + d_{kn}}{\exp(\gamma_{kn}(t_{kn} - t)) + 1}; \quad c_{kn} > 0; d_{kn} > 0. \quad (20)$$

Представления (18)-(20) для коэффициентов переходов позволяют для каждого из них явно указать при каком x_{kn} начинается переход из группы k в группу n (т. е. с какого возраста), при каком

$$x_{kn}^* = \frac{p_{kn}}{\alpha_{kn}} + x_{kn}$$

достигается максимальное значение (как функции возраста) и при каком характерном t_{kn} происходит переход к «новой» структуре выпусков, так как из (20) следует: если, например, $\gamma_{kn} > 0$, то при $t \ll t_{kn} \Rightarrow T_{kn} = c_{kn}$; при $t = t_{kn} \Rightarrow T_{kn} = (c_{kn} + d_{kn})/2$; при $t \gg t_{kn} \Rightarrow T_{kn} = d_{kn}$ (в случае $\gamma_{kn} < 0$ при $t \ll t_{kn} \Rightarrow T_{kn} = d_{kn}$; при $t = t_{kn} \Rightarrow T_{kn} = (c_{kn} + d_{kn})/2$; при $t \gg t_{kn} \Rightarrow T_{kn} = c_{kn}$). Нормировка в формуле (20) на

$$\max [(x - x_{kn})^{p_{kn}} \exp(-\alpha_{kn}(x - x_{kn}))]$$

была принята для лучшей графической визуализации коэффициентов переходов как функций возраста при их сравнении. В группу 5 (PhD) могут переходить как из группы 3 (магистры) так и из группы 4 (специалисты). Будем полагать, что условия этих переходов одинаковые, т. е. $B_{35} = B_{45}$. Также необходимо помнить, что до 2014 г. бакалавры тоже могли становиться кандидатами. Для учета такого перехода было использовано представление: $B_{25} = q_{25} B_{35}$ ($q_{25} = \text{const}$) до 2014 г. и $B_{25} = 0$ с 2014 г.

Было сделано предположение, что функция $a = A_{HE} - A_1$; $A_{HE} = A_2 = A_3 = A_4 = A_5$ зависит только от возраста, т. е. разница в смертности и миграционных характеристиках людей с высшим образованием и без высшего образования со временем сохраняется. Было принято следующее модельное представление:

$$a = a_0 + a_1 \cos(2\pi x) + a_2 \cos(4\pi x) + a_3 \cos(6\pi x) + b_1 \sin(2\pi x) + b_2 \sin(4\pi x) + b_3 \sin(6\pi x).$$

Таблица 2

Данные микропереписи 2015 г.

Возраст, микроперепись 2015 г.	Указавшие уровень образования, чел.	На 1000 человек, имеющих высшее образование	На 1000 человек, не имеющих высшего образования
15-19	94662	0	1000
20-24	112808	239	761
25-29	168378	409	591
30-34	166184	401	599
35-39	156372	357	643
40-44	146584	315	685
45-49	135579	282	718
50-54	158461	243	757
55-59	175050	215	785
60-64	151608	201	799
65-69	113435	205	795
70 и более	206730	137	863

Оптимизация заключалась в процедуре приближения модельных значений выпусков, получаемых из решения разностных уравнений (13)-(17) на выбранной сетке, к фактическим, с использованием эволюционного поиска решения. Опять же напомним, что выпуск бакалавров равен переходу из 1 в 2; выпуск специалистов — переходу из 1 в 4; выпуск магистров — переходу из 2 в 3; выпуск PhD — сумме переходов из 2 в 5, из 3 в 5 и из 4 в 5. Модельные значения переходов из группы k в группу n для любых x и t за промежутков времени $\Delta=1/66$ (т. е. за год) равны $B_{kn} Y_k R \Delta$. Затем модельные значения переходов суммировались по x . В качестве начальных условий для (13)-(17) были использованы аппроксимации $Y_k, k=1, \dots, 5$ для 2010 г. Также были использованы данные микропереписи 2015 г. [20] для приближения средних значений модельной функции Y_1 в возрастных диапазонах табл. 2 к фактическим.

В качестве минимизируемой целевой функции было выбрано среднее из: среднеквадратичное относительное отклонение (СКО) 10 модельных выпусков бакалавров (2010-2019 гг.), СКО 10 модельных выпусков магистров (2010-2019 гг.), СКО 10 модельных выпусков специалистов за те же годы, СКО 9 модельных выпусков PhD за 2010-2018 гг. и СКО 11 значений модельной функции Y_1 в 2015 г. в возрастных диапазонах 20-24, 25-29, 30-34, 35-39, 40-44, 45-49, 50-54, 55-59, 60-64, 65-69, 70 лет и более от их фактических значений.

Результаты расчетов

Приведем полученные модельные коэффициенты переходов $B_{12}, B_{14}, B_{23}, B_{25}, B_{35}=B_{45}$ с одного образовательного уровня на другой, более высокий. На рис. 3-6 представлены графики этих коэффициентов перехода для 2010 и 2030 гг. Для наглядности возраст указан в годах. B_{12} в 2030 г. вырос по сравнению с 2010 г. более чем в девять раз. B_{14} — упал в восемь раз. B_{23} — вырос в два раза. Это отражает переход в рассматриваемый период времени к болонской

системе высшего образования. Коэффициенты $B_{35}=B_{45}$ упали более чем в два раза. Возможно, это связано с существенным повышением требований к работе диссертационных советов, а также существенным сокращением их числа [21, 22].

Относительно B_{25} (переход из бакалавров в PhD) можно сказать следующее. Поскольку $q_{25}=0,9999949$ и $B_{25}=q_{25}B_{35}$ (до 2014 г.), то можно сказать, что до 2014 г. $B_{25}=B_{35}$, а с 2014 г. $B_{25}=0$.

Модельные значения выпусков из группы k в группу n для любых x и t за промежутков времени Δ (т. е. за год) равны $B_{kn} Y_k R \Delta$, где $R=R(x, t)$ — количество людей в России возраста x в этом году. В качестве $R(x, t)$ для 2019 г. и более использован «средний демографический сценарий» Росстата. На рис. 7-10 приведены рассчитанные по модели и просуммированные по всем возрастам и фактические значения выпусков.

Рис. 7-10 показывают, что в ежегодных выпусках происходят (и будут происходить) значительные изменения. Все это неизбежно отражается в образовательной структуре общества. На рис. 11-15 показаны рассчитанные по модели изменения для укрупненных возрастных групп 20-39 лет, 40-59 лет, 60 лет и старше. Все эти изменения происходят на общем демографическом фоне (рис. 16).

Заключение

Рассчитанные по модели прогнозы: доля людей возраста 20-39 лет в образовательных группах специалист и PhD будет снижаться, а в группах бакалавр и магистр увеличиваться. Если принять, что специалист и магистр примерно равнозначные уровни, то оценка их совокупного количества в возрасте 29 лет и младше в 2010 г. было 5749,8 тыс. человек [19], в 2031 г. по прогнозу будет 1152,9 тыс. человек, т. е. снижение на 80%. В возрастной группе до 39 лет существенно снизится количество PhD. В 2010 г. в возрасте 39 лет и младше было Phd 198,5 тыс. человек, в 2031 г. по прогнозу будет 50,3 тыс. человек, снижение на 75%. Прогноз показал, что количество защит кандидатских диссертаций будет

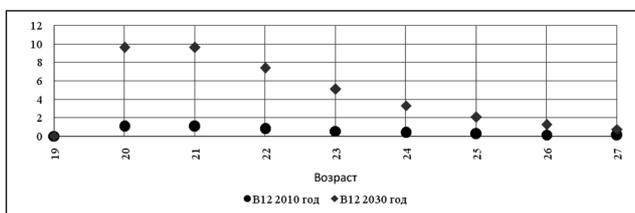


Рис. 3. Коэффициент B_{12} для 2010, 2030 гг.

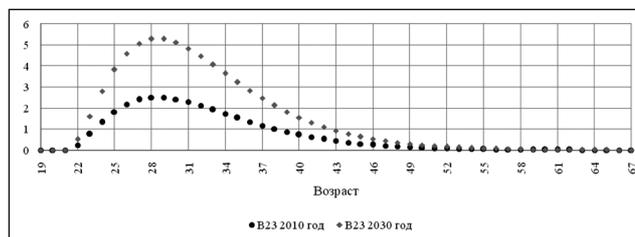


Рис. 5. Коэффициент B_{23} для 2010, 2030 гг.

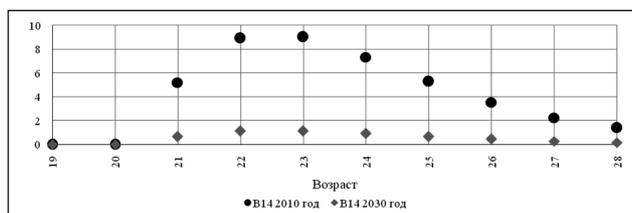


Рис. 4. Коэффициент B_{14} для 2010, 2030 гг.

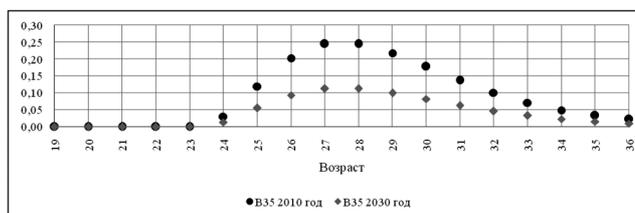


Рис. 6. Коэффициенты $B_{35}=B_{45}$ для 2010, 2030 гг.



Рис. 7. Выпуск бакалавров



Рис. 8. Выпуск магистров



Рис. 9. Выпуск специалистов

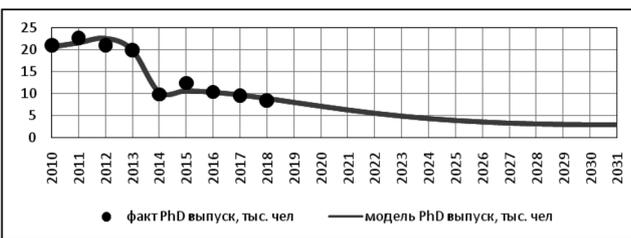


Рис. 10. Выпуск PhD

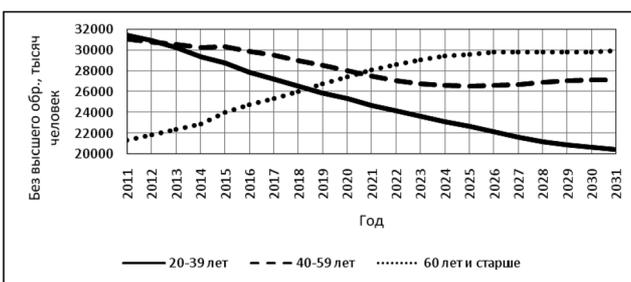


Рис. 11. Количество людей без высшего образования в возрастных группах

падать: если в 2010 г. по фактическим данным было выдано дипломов кандидат наук – 20653, в 2018 г. – 8484, то в 2031 г. по прогнозу будет выдано 2952 диплома, падение по сравнению с 2010 г. 86%, по сравнению с 2018 г. – 67%.

Формирование предложений по решению выявленных проблем, очевидно, представляют собой

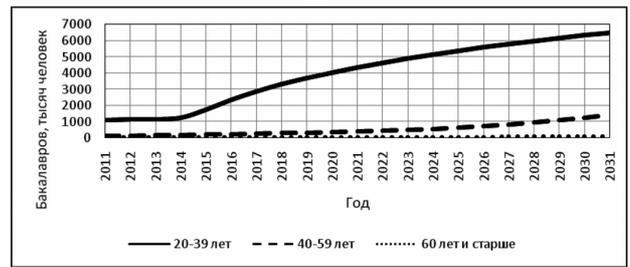


Рис. 12. Количество бакалавров в возрастных группах



Рис. 13. Количество магистров в возрастных группах

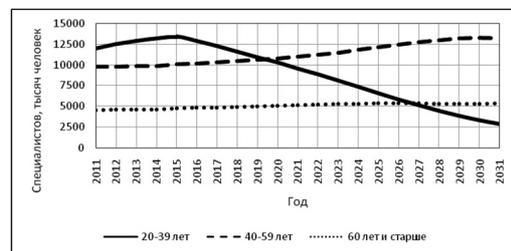


Рис. 14. Количество специалистов в возрастных группах

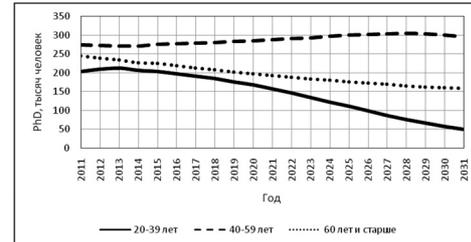


Рис. 15. Количество PhD в возрастных группах

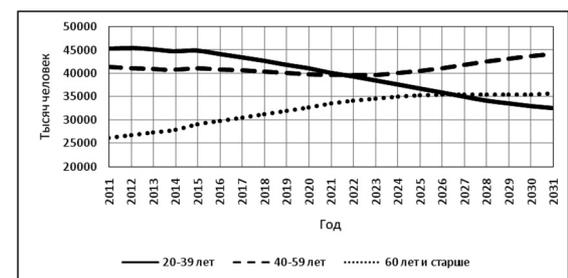


Рис. 16. Все население России в возрастных группах, Росстат

предмет новых исследований, связанных с реализацией объявленных национальных проектов.

* * *

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в рамках реализации Государственного задания ФГБНУ «Дирекция научно-технических программ» № 075-01395-20-00.

Список использованных источников

1. В. А. Успенский. Математическое и гуманитарное: преодоление барьера. МЦНМО, 2011. 48 с.
2. И. Г. Поспелов. Модель отбора поведения в социально-экономических системах//Труды конференции «Моделирование социального поведения». М.: МГУ, 2001. С. 37-42.

3. О. А. Кузнецов, Е. А. Рябова. Обобщение модели отбора поведения в социально-экономических системах//Журнал Средневолжского математического общества. 2014. Т. 16. № 3. С. 62-71.
4. Международная стандартная классификация образования МСКО 2011. Институт статистики ЮНЕСКО. 87 с. <http://asv.mgsu.ru/universityabout/UMO-ASV/dokumenty/intredok/MSKO-2011.pdf>.
5. В. С. Клопченко. Методы прогнозирования в образовании//Известия Южного федерального университета. 2006. № 5 (60). С. 210-214.
6. Ф. Э. Шереги. Прогноз образования в России: концепция и эмпирические показатели//Мир России. 2011. № 3. С. 155-181.
7. Я. И. Кузьминов, Б. Л. Рудник, И. Д. Фрумин, Л. И. Якобсон и др. Российское образование-2020: модель образования для инновационной экономики. Материал для обсуждения //Вопросы образования. 2008. № 1. С. 32-64.
8. Т. Л. Клячко, В. А. Мау. Тенденции развития высшего профессионального образования в Российской Федерации//Вопросы образования. 2007. № 3. С. 46-64.
9. А. А. Самарский, А. П. Михайлов. Математическое моделирование: Идеи. Методы. Примеры. М.: Наука, 2001. 320 с.
- 10.. А. П. Михайлов, А. П. Петров. Поведенческие гипотезы и математическое моделирование в гуманитарных науках//Математическое моделирование. 2011. Т. 23. № 6. С. 18-32.
11. А. П. Зубарев, А. К. Скуратов, К. Реймер, И. Н. Чернова. Моделирование возрастной структуры и мобильности научных кадров//Математическое моделирование. 2018. Т. 30. № 3. С. 67-82.
12. Ю. Н. Орлов, В. М. Суслин. Кинетические уравнения в нелинейных моделях демографии. Препринты ИПМ им. Келдыша РАН, 2001. 047.
13. Н. Н. Калиткин, П. В. Корякин. Численные методы. Методы математической физики: учебник для студ. учреждений высш. проф. образования. В 2-х кн. Кн. 2. М.: Академия, 2013. 304 с.
14. Министерство науки и высшего образования Российской Федерации. Форма ВПО-1 «Сведения о деятельности образовательного учреждения, реализующего программы высшего профессионального образования». <https://minobrnauki.gov.ru/ru/activity/statan/stat/highed>.
15. Статистические сборники Росстата. <https://uisrussia.msu.ru/stat/Publications/Publications.htm>.
16. Статистические сборники ВШЭ. Индикаторы науки. <https://www.hse.ru/primarydata/in2019>.
17. Единая государственная информационная система учета результатов научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ гражданского назначения. <https://rosrid.ru>.
18. Постановление Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842 «О порядке присуждения ученых степеней».
19. Всероссийская перепись населения 2010 г. http://www.gks.ru/free_doc/new_site/perepis2010/croc/perepis_itogi1612.htm.
20. Микрперепись населения 2015 г. http://www.gks.ru/free_doc/new_site/population/demo/micro-perepis/finish/micro-perepis.html.
21. Перечень диссертационных советов, не достигших критериальных значений, определенных Планом мероприятий по оптимизации сети диссертационных советов. <http://originaldissertations.com/disssoveti4.html>.
22. <http://www.ras.ru/digest/shownews.aspx?id=e88a8b45-2482-4cc9-bc90-945571c5d6ee>.

References

1. V. A. Uspensky. Matematicheskoe i gumanitarnoe: preodolenie bar'era. MCNMO, 2001. 48 p.
2. I. G. Pospelov. Model selection of behavior in socio-economic systems//In: Trudy konferencii «Modelirovaniye social'nogo povedeniya». M.: Moscow state university, 2001. P. 37-42.
3. O. A. Kuznetsov, E. A. Ryabova. A generalization of the behavior selection model in socio-economic systems//Zhurnal Srednevolzhskogo matematicheskogo obshchestva. V. 16. № 3. 2014. P. 62-71.
4. International Standard Classification of Education ISCED 2011. UNESCO Institute for Statistics. 86 p. <http://uis.unesco.org/sites/default/files/documents/international-standard-classification-of-education-isced-2011-en.pdf>.
5. V. S. Klopchenko. Forecasting methods in education//Izvestiya Yuzhnogo federal'nogo universiteta. № 5 (60). 2006. P. 210-214.
6. F. E. Sheregi. Education Forecast in Russia: Concept and Empirical Indicators//Mir Rossii. 2011. № 3. P. 155-181.
7. Ya. I. Kuzminov, B. L. Rudnik, I. D. Frumin, L. I. Jacobson et al. Russian education-2020: a model of education for an innovative economy//Material for discussion Voprosy obrazovaniya. № 1. 2008. P. 32-64.
8. T. L. Klyachko, V. A. Mau. Trends in the development of higher professional education in the Russian Federation//Voprosy obrazovaniya. № 3. 2007. P. 46-64.
9. A. A. Samarsky, A. P. Mikhailov. Matematicheskoe modelirovaniye: Idei. Metody. Primery. M.: Nauka, 2001. 320 p.
10. A. P. Mikhailov, A. P. Petrov. Behavioral hypotheses and mathematical modeling in the humanities//Matematicheskoe modelirovaniye. Vol. 23. № 6. 2011. P. 18-32.
11. A. P. Zubarev, A. K. Skuratov, K. Reimer, I. N. Chernova. Modeling the age structure and mobility of scientific personnel//Matematicheskoe modelirovaniye. Vol. 30. № 3. 2018. P. 67-82.
12. Yu. N. Orlov, V. M. Suslin. Kinetic equations in nonlinear demographic models, KIAM Preprints Keldysh RAS, 2001. 047.
13. N. N. Kalitkin, P. V. Koryakin. Chislennyye metody. Metody matematicheskoy fiziki: uchebnyk dlya stud. uchrezhdeniy vyssh. prof. obrazovaniya. V 2-p kn. Kn. 2. M.: Akademiya, 2013. 304 p.
14. Ministerstvo nauki i vysshego obrazovaniya Rossiyskoy federacii. Forma VPO-1 «Svedeniya o deyatel'nosti obrazovatel'nogo uchrezhdeniya, realizuyushchego programmy vysshego professional'nogo obrazovaniya». <https://minobrnauki.gov.ru/ru/activity/statan/stat/highed>.
15. Statisticheskie sborniki Rosstata. <https://uisrussia.msu.ru/stat/Publications/Publications.htm>.
16. Statisticheskie sborniki VSHE. Indikatory nauki. <https://www.hse.ru/primarydata/in2019>.
17. Edinaya gosudarstvennaya informacionnaya sistema ucheta rezul'tatov nauchno-issledovatel'skih, opytno-konstruktorskih i tekhnologicheskikh rabot grazhdanskogo naznacheniya. <https://rosrid.ru>.
18. Postanovleniye Pravitel'stva RF ot 24 sentyabrya 2013 g. № 842 «O poryadke prisuzhdeniya uchenykh stepeney».
19. Vserossiyskaya perepis' naseleniya 2010 g. http://www.gks.ru/free_doc/new_site/perepis2010/croc/perepis_itogi1612.htm.
20. Mikroperepis' naseleniya 2015 g. http://www.gks.ru/free_doc/new_site/population/demo/micro-perepis/finish/micro-perepis.html.
21. Perechen' dissertatsionnykh sovetov, ne dostigshih kriterial'nykh znachenij, opredelennykh Planom meropriyatij po optimizacii seti dissertatsionnykh sovetov. <http://originaldissertations.com/disssoveti4.html>.
22. <http://www.ras.ru/digest/shownews.aspx?id=e88a8b45-2482-4cc9-bc90-945571c5d6ee>.