

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ РАЗВИТИЯ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА В ГЕРМАНИИ

**С.А. Варламова, П.В. Котков**

*Пермский национальный исследовательский политехнический университет, филиал в г. Березники, г. Березники, Россия*

**Введение.** В статье рассматривается новая модель зависимости индекса человеческого ресурса государства от набора факторов. Индекс человеческого ресурса не имеет общемировой методики оценки, однако весьма важен для управления государством. Одним из методов формального оценивания характеристики большой социально-экономической системы является обоснованное ранжирование частных критериев.

**Цель работы.** С использованием только формальных методов математического моделирования разработать рекомендации по повышению показателей индекса человеческого развития на государственном уровне.

**Материалы и методы.** Выбраны частные критерии, описывающие индекс человеческого развития. Определена их ранжировка, обеспечивающая наибольшую гладкость годового тренда. Построен набор математических моделей, которые оценивались как по аппроксимации исходных данных, так и по качеству постпрогноза. В качестве рабочей выбрана регрессионно-дифференциальная модель второго порядка, показаны ее преимущества и недостатки по сравнению с линейной многофакторной моделью. Исследовано влияние изменений управляемых и неуправляемых факторов на показатели индекса человеческого развития. Показаны возможности по управлению системой.

**Заключение.** На основании краткосрочных прогнозов сформулированы рекомендации по улучшению показателей индекса человеческого развития.

*Ключевые слова:* прогнозирование, математическое моделирование, индекс человеческого развития.

### Введение

Индекс человеческого развития (ИЧР) [1] – показатель, который преобразует данные уровня жизни, образованности и долголетия за определенный период времени как основных характеристик человеческого потенциала на исследуемой территории в единое значение. Индекс человеческого развития позволяет оценить, развивается ли страна в ключе интересов своих граждан или же нет. Однако на показатели, участвующие в ИЧР, оказывают свое влияние и другие факторы – какие-то в большей степени, какие-то в меньшей.

Рассматриваемая задача является многокритериальной, и итоговый критерий ( $y_0$ ) представляет собой взвешенную сумму частных критериев. В качестве частных критериев рассматриваются: средняя зарплата по стране (дол. США) ( $y_1$ ), средняя продолжительность жизни (лет) ( $y_2$ ), валовый национальный доход по приоритету покупательской способности (ВНД ППС) на душу населения (дол. США) ( $y_3$ ), государственные расходы на образование (млн дол. США) ( $y_4$ ). Данные реакции были выбраны, поскольку они содержатся в ИЧР.

В качестве факторов, оказывающих воздействие на объект исследования, выбраны [2, 3]: количество безработных (млн чел.) ( $x_1$ ), валовый внутренний продукт (ВВП) на человека (тыс. дол. США) ( $x_2$ ), расход государства на медицину на одного человека (дол. США) ( $x_3$ ), количество зафиксированных преступлений ( $x_4$ ), цена продуктовой корзины (дол. США) ( $x_5$ ), курс доллара к национальной валюте ( $x_6$ ), количество туристических отправок из страны (млн чел. год) ( $x_7$ ), количество человек, имеющих доступ к сети Интернет (млн чел.) ( $x_8$ ), количество перелетов внутри страны (млн. чел.) ( $x_9$ ), расходы государства на инновационные разработки (млн дол. США.) ( $x_{10}$ ).

Выбранные факторы влияют на реакции следующим образом: количество безработных косвенно указывает на наличие рабочих мест в стране; ВВП на человека косвенно указывает на экономическое состояние страны; количество зафиксированных нападений косвенно указывает на общую безопасность граждан страны; цена продуктовой корзины в целом указывает на продо-

## Управление в социально-экономических системах

вольственную безопасность; количество перелетов внутри страны и за её пределами соответствует параметрам мобильности граждан; количество вложенных денег в науку косвенно указывает на вклад государства в науку и косвенно – на появление инноваций в стране.

Исходные данные были взяты из открытого источника в сети Интернет<sup>1</sup>.

Годовые ряды факторов и критериев представлены в табл. 1.

Таблица 1

Критерии и факторы

Table 1

Criteria and factors

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
$y_1$	2920	2950	3004	3103	3141	3227	3311
$y_2$	78,9	79,13	79,53	79,74	79,84	79,99	80,44
$y_3$	32634	34332	36990	38400	37870	39960	43770
$y_4$	126,73	128,18	148,68	165,11	166,31	167,03	180,32
$x_1$	3,17	3,01	2,81	2,59	2,67	2,38	1,98
$x_2$	32133	33777	36451	38029	37042	39187	42693
$x_3$	3268	3461	3631	3857	4120	4315	4578
$x_4$	0,49	0,51	0,52	0,51	0,14	0,14	0,13
$x_5$	2350	2380	2469	2522	2485	2422	2540
$x_6$	1,1829	1,3321	1,3219	1,4408	1,5108	1,3756	1,3037
$x_7$	86,62	81,80	82,09	86,20	85,52	85,87	84,69
$x_8$	56,65	59,47	61,86	64,04	64,70	67,05	65,26
$x_9$	90,78	99,64	106,10	107,94	103,33	97,33	107,04
$x_{10}$	68,352	74,875	82,224	97,344	92,016	91,854	104,97
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
$y_1$	3391	3449	3527	3612	3703	3771	3842
$y_2$	80,54	80,49	81,09	80,64	80,99	80,99	81,4
$y_3$	44590	46250	48110	49010	50910	53680	54890
$y_4$	173,97	184,08	191,38	161,71	166,46	174,08	190,43
$x_1$	1,81	1,76	1,69	1,57	1,44	1,30	1,16
$x_2$	43564	45232	47191	47979	49921	52574	53735
$x_3$	4696	4945	5174	5329	5463	5748	5955
$x_4$	0,13	0,12	0,12	0,12	0,14	0,13	0,13
$x_5$	2317	2469	2576	2228	2257	2380	2563
$x_6$	1,2905	1,3426	1,2258	1,1045	1,0389	1,1956	1,1463
$x_7$	82,72	87,45	83,008	83,73	90,96	92,40	91,55
$x_8$	66,19	67,90	69,80	71,71	73,78	69,76	70,82
$x_9$	105,97	109,06	112,35	117,22	116,71	114,16	109,79
$x_{10}$	102,34	104,55	112,81	97,498	100,57	109,95	121,41

### 1. Линейная многофакторная модель

На первом этапе необходимо исключить размерность величин. Для этого рассчитаем нормированные значения критериев  $y_1$ – $y_4$ :

$$y_i^*(t_k) = \frac{y_i(t_k) - \min_t y_i(t_k)}{\max_t y_i(t_k) - \min_t y_i(t_k)}, \quad (1)$$

где

<sup>1</sup> Сайт статистики <https://www.statista.com/>

$$t_k = \{t_1, t_2, \dots, t_k\}, k = \overline{1, k} \quad (2)$$

$k$  – период, за который доступны данные по исследуемому объекту. Затем необходимо аналогичным образом нормировать факторы  $x_1 - x_{10}$ .

Рассчитаем общее значение критерия  $y_0$  на основе частных нормированных критериев  $y_1 - y_4$ :

$$y_0(t_k) = \sum_i^k a_i y_i(t_k); \quad (3)$$

где  $a_i$  – вес  $i$ -го критерия.

Вес каждого критерия рассчитывается:

$$a_i = \frac{1}{R_i}; \quad (4)$$

где  $R_i$  – значение ранга каждого критерия. Ранг каждого критерия определяется только с помощью комбинации частных критериев для  $y_1 - y_4$  таким образом, чтобы сохранялось условие:

$$R: \sum_{k=1}^{K-1} |y(t_{k+1}) - y(t_k)| \rightarrow \min. \quad (5)$$

Это условие необходимо соблюдать, поскольку исследуется большая социально-экономическая система, и для неё резкие изменения невозможны. Данные критерии могут быть подобраны различными способами. При этом чем меньше значение ранга – тем большее влияние он оказывает на систему в целом [4, 5].

В данном исследовании значения рангов были определены методом полного перебора. Итоговые значения рангов:  $R_1=1, R_2=3, R_3=2, R_4=4$ .

Вес критерия и ранг имеют обратную пропорциональную зависимость, поэтому средняя зарплата имеет на объект наибольшее влияние, а расходы государства на образование – наименьшее. Это показывает, что большие зарплаты способствуют получению больших преимуществ, что не противоречит логике.

После выполнения описанной выше работы необходимо исследовать влияние отдельных факторов на исследуемый объект. Одним из способов проведения такого анализа является построение линейной многофакторной модели (ЛММ). Линейная многофакторная модель имеет вид:

$$y_0(x(t)) = c_0 + \sum_i^n c_i x_i(t), \quad (6)$$

где  $c_i$  – коэффициенты влияния  $i$ -го фактора.

Как правило, из ЛММ исключаются факторы, имеющие высокую взаимную корреляцию друг с другом [6]. Такими факторами в рассматриваемой задаче являются факторы номер 1, 2, 3 и 8, поэтому их необходимо исключить из построения ЛММ.

Коэффициенты модели определим, решая задачу минимизации квадратичной невязки:

$$S = \sum_{k=1}^K (y_0(t_k) - y(t_k)) \rightarrow \min, \quad (7)$$

где  $y_0(t_k)$  – известное значение,  $y(t_k)$  – расчетное значение. Задача минимизации решается методами покоординатного или градиентного спуска [7, 8].

В результате решения задачи оптимизации были получены коэффициенты влияния, представленные в табл. 2.

Коэффициенты влияния факторов для ЛММ

Таблица 2

Coefficients of factor influences for LMM

Table 2

$c_1$	$c_2$	$c_3$	$c_4$	$c_5$	$c_6$	$c_7$	$c_8$	$c_9$	$c_{10}$
-0,2756	0	0,5594	0	0,0124	0	0,036	0	0,0585	0,1024

Значения 0 у коэффициентов означают, что они выключены из построения модели, а именно факторы  $c_2, c_4, c_6, c_8$ . Знак коэффициента свидетельствует о положительном или отрицательном влиянии фактора на итоговый критерий. Так, например, количество безработных ( $c_1$ ) оказывает

наибольшее отрицательное влияние на систему, что не противоречит здравому смыслу; количество безработных косвенно указывает на количество рабочих мест в стране, и если показатель безработицы растет (косвенно падает показатель доступных рабочих мест), значит, и влияние на систему будет отрицательным. Расходы на медицину оказывают наибольшее положительное влияние: этот показатель влияет на медицинское обслуживание, что также не противоречит здравому смыслу. Наименьшее положительное влияние оказывает цена продуктовой корзины, поскольку данные о средней зарплате по стране на исследуемом промежутке всегда выше, чем цена продуктовой корзины, поэтому данный показатель влияет на систему в меньшей степени. Коэффициенты  $c_7$ ,  $c_9$ ,  $c_{10}$  также имеют положительный коэффициент при построении модели, так как общие затраты государства на инновационные исследования, количество авиаперелетов внутри страны (косвенный показатель горизонтальной мобильности), а также возможность внешнего туризма жителей страны положительно влияют на уровень жизни.

После получения модели, а также получения значений влияния факторов необходимо попробовать спрогнозировать поведение исследуемого объекта. Для того чтобы проверить возможности полученной модели, применим метод постпрогноза, который позволяет определить горизонт прогнозирования исследуемой системы. Метод заключается в расчете реакции системы на уже известных данных [9]. Постепенно будем уменьшать количество известных лет для нахождения горизонта прогнозирования (рис. 1).

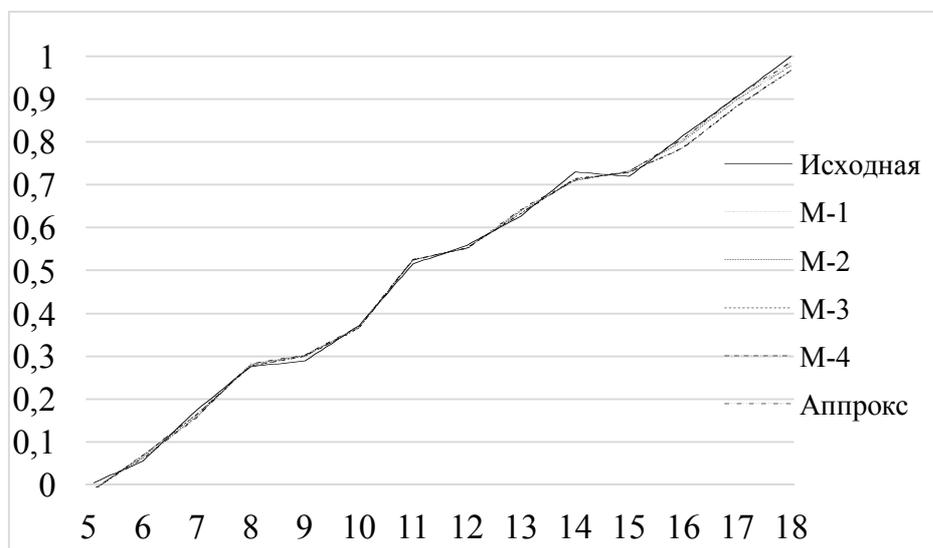


Рис. 1. Аппроксимация и постпрогноз по известным данным  
Fig. 1. Approximation and post-forecast based on known data

Как видно из графика (рис. 1), модель хорошо аппроксимирует данные и строит постпрогноз, очень близкий к настоящим значениям исследуемого объекта. Поэтому воспользуемся полученной ранее моделью для прогнозирования поведения объекта на ближайшие 3 года: так как это большая социально-экономическая система, зависящая от многих факторов, то делать прогнозы на срок более 3 лет нерационально.

Для того чтобы спрогнозировать реакцию исследуемого объекта с изменением значения значащих факторов, необходимо принять допущение, что характер изменения факторов останется прежним на весь период наблюдения или хотя бы на его часть.

Поэтому определим, по какому закону изменялись факторы, и затем рассчитаем их значения с помощью соответствующих уравнений [10].

Основные законы изменения значащих факторов:

1. Факторы изменяются квадратично:

$$x(t) \approx a + b \cdot t + c \cdot t^2. \quad (8)$$

2. Факторы изменяются линейно:

$$x(t) \approx a + b \cdot t. \quad (9)$$

Изменение значений факторов не принадлежит ни к квадратичному закону, ни к линейному и происходит относительно какого-либо значения:

$$x(t) \approx \bar{x} + \Delta x. \tag{10}$$

Для того чтобы определить, по какому закону изменяются исследуемые факторы, необходимо вычислить коэффициенты линейной корреляции между полученными и исходными данными.

На следующем этапе прогнозируем поведение исследуемого объекта на ближайшие 3 года (рис. 2).

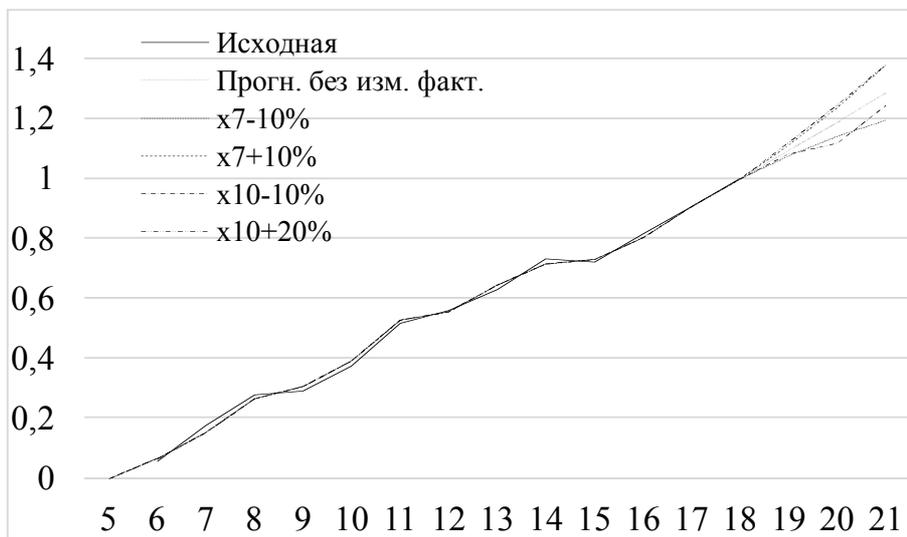


Рис. 2. Прогноз ЛММ на 3 года  
Fig. 2. LMM forecast for 3 years

Оценка ИЧР Германии вырастет на 22,5 % через три года (результат на рис. 2) при условии сохранения тенденции развития факторов.

Факторы расхода на научные исследования ( $x_{10}$ ) и число туристических отправок из страны ( $x_7$ ) могут быть управляемыми, так как органам власти под силу контролировать и изменять их. Оба фактора оказывают влияние на исследуемый объект при увеличении или уменьшении их больше чем на 10 % (рис. 2). В табл. 3 представлена зависимость изменения объекта от изменения факторов.

Таблица 3  
Прогноз на три года при изменении управляемых факторов  
Table 3  
Forecast for three years with a change in managed factors

Изменение фактора / номер года	Исходные данные	1	2	3
$x_{10} + 20 \%$	1,255	1,766	2,615	3,654
$x_{10} - 10 \%$	1,255	1,51	2,1	2,7
$x_7 - 10 \%$	0,6236	-0,1169	-1,91	-4,458
$x_7 + 10 \%$	0,6236	1,364	2,132	3,225

По данным табл. 3 можно сделать вывод, что изменение фактора  $x_{10}$  на 20 % ведет к значительному увеличению значения ИЧР и такому же результату, что и изменение фактора  $x_7$  на 10 %. Изменение же факторов в сторону уменьшения значений ведет к снижению значений системы, но система сохраняет свой рост, а не снижается.

Сравним полученные результаты при моделировании поведения системы с помощью линейной многофакторной модели с построенной далее регрессионно-дифференциальной моделью.

## 2. Регрессионно-дифференциальная модель

Для дальнейшего исследования рассмотрим регрессионно-дифференциальную модель (РДМ), она имеет следующий вид [11, 12]:

$$y''(t) + g \cdot y'(t) = a + b \cdot y(t) + \sum_{i=1}^m c_i \cdot x_i(t), \quad (11)$$

где  $g$  – коэффициент влияния производной первого порядка,  $a$  – константа влияния второй производной реакции при построении тренда,  $b$  – коэффициент «обратной связи», описывающий влияние значения реакции на ее же вторую производную,  $c_i$  – коэффициенты влияния факторов.

Для интерполяции годового ряда критерия используются сплайны, а не кусочно-линейные приближения, так как при интегрировании ОДУ второго порядка и выше получается гладкая кривая, на которую не оказывает влияние характер изменения значащих факторов [13, 14]. При этом будем подбирать значения факторов таким образом, чтобы исходная модель хорошо аппроксимировала данные и полученные коэффициенты имели влияние на систему с нужным знаком [15, 16].

Методом полного перебора были получены значения для коэффициентов и построена модель РДМ4 (рис. 3), она также хорошо приводит данные к исходным, но дает не противоречащие здравому смыслу коэффициенты влияния факторов (табл. 4).

Коэффициенты влияния факторов

Таблица 4

Table 4

Factors influence factors

$c_1$	$c_2$	$c_3$	$c_4$	$c_5$	$c_6$	$c_7$	$c_8$	$c_9$	$c_{10}$
-1,63	11,3	0,16	-1,2	0,36	0,11	0,22	0	0	0,24

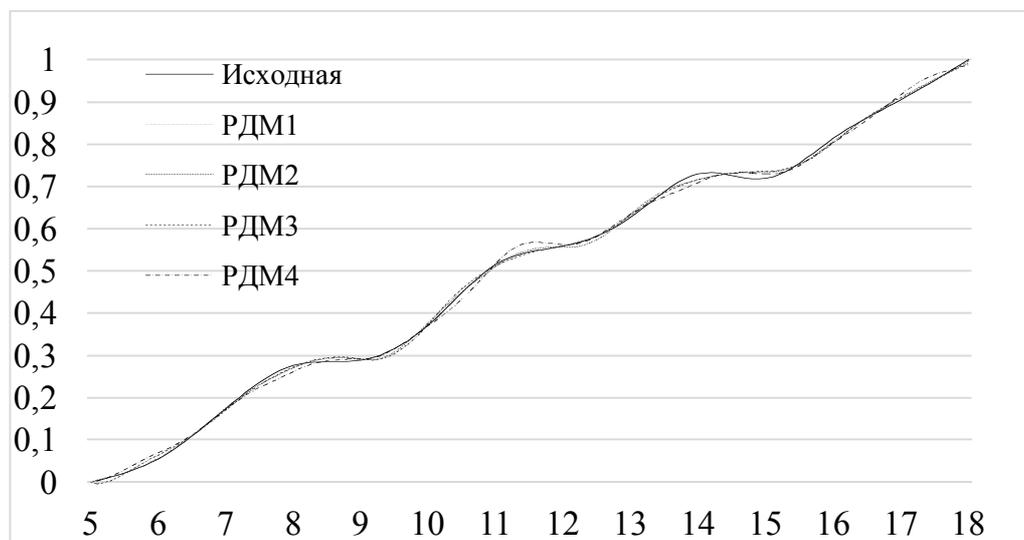


Рис. 3. РДМ  
Fig. 3. RDM

Ноль означает, что факторы выключены из построения модели, а именно количество перелетов внутри страны и количество людей, имеющих доступ к сети Интернет. Видно, что ВВП на душу населения имеет наибольшее положительное воздействие, так как это показатель, отражающий экономическое развитие страны относительно своих граждан. А количество безработных – наибольшее отрицательное, так как этот показатель косвенно указывает на количество рабочих мест в стране. Также отрицательное влияние на систему оказывает количество зафиксированных преступлений, действительно этот показатель косвенно указывает на безопасность граждан страны, и чем выше уровень преступности, тем выше количество преступлений, это логично. А наименьшее положительное воздействие оказывает курс доллара к евро, это логично, поскольку евро, широко используемое в Германии, оценивается выше, чем доллар США по банковскому

курсу обмена. Также положительное влияние на поведение системы оказывают критерии  $c_{10}$ ,  $c_7$ ,  $c_5$ ,  $c_3$ . Количество вложений в инновации, а также расходы на медицину в целом положительно влияют на развитие системы, так как указывают на появление инноваций в стране и уровень медицинского обслуживания. Коэффициент туристических отправок из страны также положительно влияет на жителей страны: если возможны путешествия в другие страны, значит, финансовое состояние это позволяет. Цена продуктовой корзины положительно влияет на систему, так как имеет тенденцию к линейному уменьшению, т. е. продуктовая корзина стоит дешевле, чем раньше, что также положительно влияет на жителей, это не противоречит логике.

Теперь необходимо получить горизонт прогнозирования с помощью метода постпрогноза так же, как и ранее с ЛММ. Посмотрим, хорошо ли модель аппроксимирует данные и имеет ли большой горизонт прогнозирования (рис. 4).

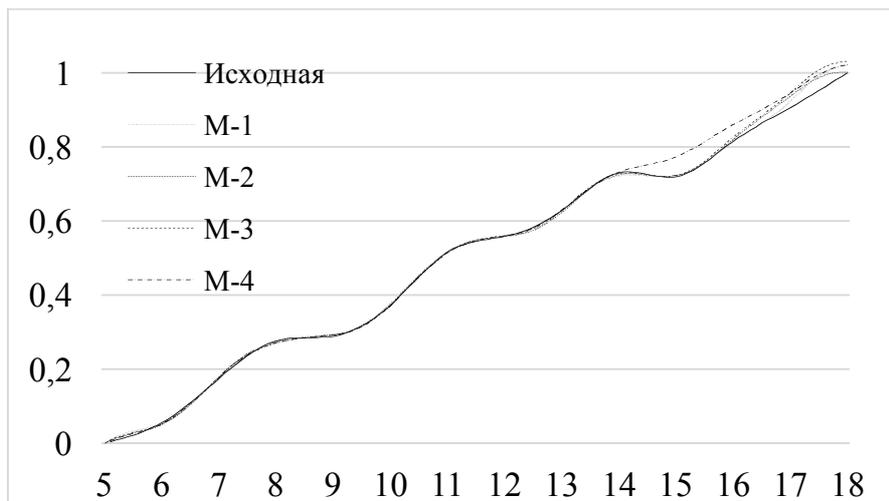


Рис. 4. Постпрогноз с уменьшением количества известных лет  
 Fig. 4. Post-forecast with a decrease in the number of known years

Как видно, РДМ аппроксимирует данные хуже, чем ЛММ модель, и уже при M-4 известных лет погрешность аппроксимации значительно увеличивается, и полученная модель уже не сохраняют тенденцию модели, построенной по исходным данным по сравнению с M-3 известных лет. Это значит, что модель также позволяет строить прогнозы и её возможный горизонт прогнозирования при использовании этой модели составляет максимум 3 года (рис. 5).

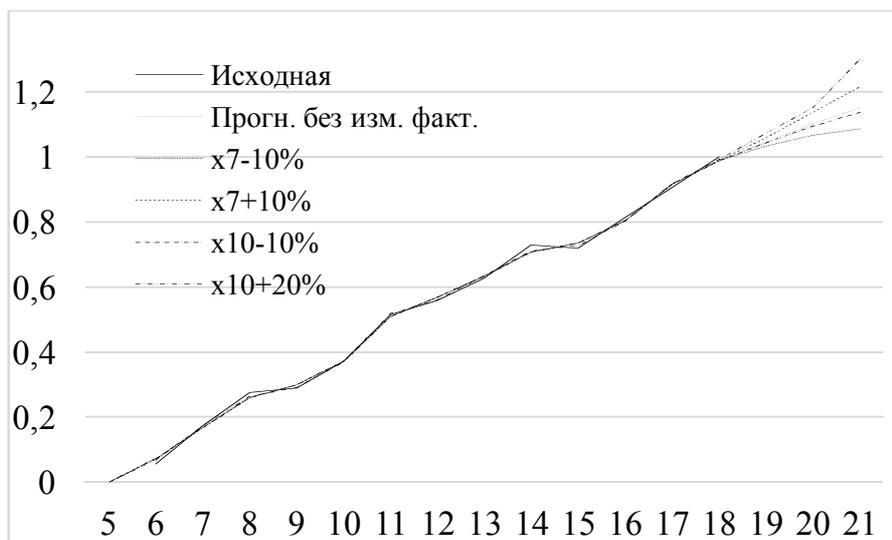


Рис. 5. Прогнозирование на 3 по РДМ  
 Fig. 5. Prediction of 3 by RDM

## Управление в социально-экономических системах

Если предположить, что тенденция развития факторов сохранится, то ИЧР Германии вырастет на 17 % через три года (см. рис. 5).

Для того чтобы сравнить результаты прогнозирования моделей, возьмем те же факторы, что и при построении ЛММ, с теми же процентными изменениями (см. рис. 5), а также посмотрим на значения коэффициентов (табл. 5).

Таблица 5

Прогноз на три года при изменении управляемых факторов РДМ

Table 5

Forecast for three years with a change in the controlled factors of the RDM

Изменение фактора/ номер года	Исходные данные	1	2	3
$x_{10} - 10\%$	1,255	1,026	1,055	1,088
$x_{10} + 20\%$	1,255	1,776	2,615	3,653
$x_7 - 10\%$	0,6236	-0,117	-1,91	-4,459
$x_7 + 10\%$	0,6236	1,36	2,13	3,225

В целом регрессионно-дифференциальная модель ведет себя плавнее, чем линейная многофакторная модель.

### Выводы

Обе построенные модели позволяют прогнозировать ИЧР, а также исследовать влияние отдельных факторов. Сами модели ведут себя логично по отношению к изменению отдельных факторов, нет слишком больших возрастаний и слишком больших спадов относительно прогноза без изменения факторов, так как ИЧР сложный параметр, и он не может быстро увеличиваться или уменьшаться, поэтому все сделанные прогнозы закономерны и соответствуют выбранной экономической системе, а именно ИЧР. В дальнейшем прогнозировании можно пользоваться как ЛМ, так и РД моделями, они показывают схожее поведение самой модели и факторов. Если ИЧР начнет снижаться по естественным причинам, то можно воспользоваться увеличением изменяемых факторов  $x_7$  и  $x_{10}$  для того, чтобы направить систему к росту. Если же по естественным причинам значение ИЧР будет снижаться значительно больше 6–8 %, то изменения управляемых факторов по отдельности будет недостаточно для возврата ИЧР к предыдущим значениям и его повышению. Можно сказать, что при неизменном поведении факторов модели ЛМ и РД показывают, что ИЧР будет расти и этот рост составит от 17 % до 22 % в течение ближайших трех лет. Также обе модели показывают, что при воздействии на управляемые факторы можно добиться как снижения, так и увеличения показателя ИЧР, максимального увеличения и уменьшения показателя можно добиться при изменении параметра  $x_{10}$ .

### Литература

1. Спиридонов, С.П. Индекс развития человеческого потенциала как ключевой индикатор качества жизни / С.П. Спиридонов // Вестник Тамбовского университета. Серия: Гуманитарные науки. – 2010. – № 11 (91). – С. 161–172.
2. Кудрявцева, С.С. Интегральные оценки качества жизни населения / С.С. Кудрявцева // Вестник Казанского технологического университета. – 2012. – № 9. – С. 259–264.
3. Спиридонов, С.П. Индикаторы качества жизни / С.П. Спиридонов // Современные проблемы науки. – 2011. – № 3. – С. 41–43.
4. Янченко Т.В. Определение оптимальной ранжировки частных критериев оценки краевого социального ресурса / Т.В. Янченко, А.В. Затонский // Экономика и менеджмент систем управления. – 2013. – № 4 (10). – С. 99–104.
5. Асалханов, П.Г. Линейные и нелинейные многофакторные модели в задаче прогнозирования сроков агротехнологических операций / П.Г. Асалханов // Вестник Саратовского государственного технического университета. – 2012. – Т. 4. № 1 (68). – С. 171–176.

6. Юкласова, А.В. Многофакторный корреляционно-регрессионный анализ рентабельности Газбанка / А.В. Юкласова, А.А. Макарова // Вестник Самарского государственного университета. Серия: Экономика и управление. – 2015. – № 9-1 (131). – С. 277–283.

7. Байковская, М.И. Метод покоординатного спуска / М.И. Байковская, А.С. Дягилев // XLII научно-техническая конференция преподавателей и студентов университета. 26–27 мая 2009 г. – Витебск, 2009.

8. Гасников, А.В. Современные численные методы оптимизации. Метод универсального градиентного спуска / А.В. Гасников. – 2-е изд. – М.: Московский физико-технический институт (государственный университет). – 2018. – 181 с.

9. Purcell, M. Prediction of household and commercial BMW generation according to socioeconomic and other factors for the Dublin region / M. Purcell, W.L. Magette // Waste Management – 2009 – vol. 29, no. 4. – P. 1237–1250.

10. Григалашвили, А.С. О применимости корреляционного анализа для исключения факторов в регрессионно-дифференциальных моделях / А.С. Григалашвили, Л.Ф. Кокиарова, И.О. Зуева // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2016. – Т. 22. № 1. – С. 35–44.

11. Литвинов, А.Е. Регрессионно-дифференциальное моделирование социально-экономической системы / А.Е. Литвинов // Управление инвестициями и инновациями. – 2015. – № 3. – С. 2–11.

12. Алешин, И.Ю. Интерполяция неизвестных функций кубическими сплайнами / И.Ю. Алешин, А.В. Сычева, Д.К. Агишева, Т.А. Матвеева // Современные наукоемкие технологии. – 2014. – № 5-2. – С. 188–189.

13. Tchobanoglous, G. Integrated solid waste management, engineering principles and management. McGraw-Hill Series in Waste Resources and Environmental Engineering / G. Tchobanoglous, H. Theisen, S. Vigil, // New York – 1993.

14. Рогова, Т.Н. Уравнения регрессии в моделях оптимизации / Т.Н. Рогова // Мир транспорта. – 2009. – Т. 7. № 2 (26). – С. 138–143.

15. Затонский, А.В. Об аппроксимации факторов дифференциальной модели социально-экономической системы / А.В. Затонский, Н.А. Сиротина, Т.В. Янченко // Современные исследования социальных проблем (электронный научный журнал). – 2012. – № 11. – С. 6.

16. Затонский А.В. Программные средства глобальной оптимизации систем автоматического регулирования. М.: Инфра-М: ИЦ РИОР. – 2013. 136 с

**Варламова Светлана Александровна**, канд. техн. наук, доцент кафедры автоматизации технологических процессов, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, филиал в г. Березники, г. Березники; varlamovasa@mail.ru.

**Котков Павел Викторович**, магистрант, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, филиал в г. Березники, г. Березники; give88@mail.ru.

*Поступила в редакцию 11 июня 2020 г.*

## MODELING THE INDICATOR OF HUMAN POTENTIAL DEVELOPMENT IN GERMANY

S.A. Varlamova, varlamovasa@mail.ru,

P.V. Kotkov, give88@mail.ru

Perm National Research Polytechnic University, Berezniki Branch, Berezniki, Russian Federation

**Introduction.** The article is about a new model of the dependence of the state's human resource index on a set of factors. The human resource index does not have a global assessment methodology, but it is very important for government management. One of the methods for the formal assessment of the characteristics of a large socio-economic system is the reasonable ranking of particular criteria.

**Purpose.** The aim is a development of recommendations for increasing the indicators of human development index at the state level using only formal methods of mathematical modeling.

**Materials and methods.** Particular criteria described the human development index are selected. Their ranking is determined, which ensures the greatest smoothness of the annual trend. A set of mathematical models is designed. They are estimated both by approximating the initial data and by the quality of post-forecast. The second-order regression-differential model is chosen as the working one, its advantages and disadvantages in compare with the linear multifactor model are shown. The influence of changes in controlled and uncontrolled factors on indicators of the human development index is studied. System management features are shown.

**Conclusion.** Some recommendations are formulated based on short-term forecasts to improve the human development index.

*Keywords:* forecasting, mathematical modeling, human resource index.

### References

1. Spiridonov S.P. [Index of Development of Human Potential as the Key Indicator of Life Quality]. *Bulletin of the Tambov University. Series: Humanities*, 2010, no. 11(91), pp. 161–172. (in Russ.)
2. Kudrjavceva S.S. [Integral Estimates of the Quality of Life of the Population]. *Bulletin of Kazan Technological University*, 2012, no. 9, pp. 259–264. (in Russ.)
3. Spiridonov S.P. [Life Quality Indicators]. *Modern problems of science*, 2011, no. 3, pp. 41–43. (in Russ.)
4. Janchenko T.V., Zatonkij A.V. [Determination of the Optimal Ranking of Evaluation Criteria of Regional Social Resource]. *Economics and Management Systems Management*, 2013, no. 4(10), pp. 99–104. (in Russ.)
5. Asalhanov P.G. [Linear and Nonlinear Multiple Factor Models in the Problem of Forecasting the Terms of Agrotechnological Operations]. *Bulletin of the Saratov State Technical University*, 2012, vol. 4, no. 1(68), pp. 171–176. (in Russ.)
6. Yuklasova A.V., Makarova A.A. [Multivariate correlation and regression analysis of profitability of "Gazbank"]. *Bulletin of Samara State University. Series: Economics and Management*, 2015, no. 9-1(131), pp. 277–283. (in Russ.)
7. Bajkovskaja M.I., Djagilev A.S. [Coordinate descent method]. *XLII nauchno-tehnicheskaya konferentsiya prepodavateley i studentov universiteta* [XLII scientific and technical conference of teachers and students of the university (May 26-27, 2009)]. Vitebsk, 2009, pp. 49–50. (in Russ.)
8. Gasnikov A.V. *Sovremennye chislennye metody optimizacii. Metod universal'nogo gradientnogo spuska* [Modern Numerical Optimization Methods. Universal Gradient Descent Method]. Moscow, Moscow Institute of Physics and Technology (State University), 2018. 181 p.
9. Purcell M., Magette W.L. Prediction of Household and Commercial BMW Generation According to Socio-Economic and other Factors for the Dublin Region. *Waste Management*, 2009, vol. 29, no. 4, pp. 1237–1250.

10. Grigalashvili A.S., Koksharova L.F., Zuyeva I.O. [Application of Correlation Analysis to Exclude Factors from Regression-Differential Models]. *Bulletin of the Tambov State Technical University*, 2016, vol. 22, no. 1, pp. 35–44. (in Russ.)
11. Litvinov A.E. [Regression differential modeling of a socio-economic system]. *Investment and Innovation Management*, 2015, no. 3, pp. 2–11. (in Russ.)
12. Aleshin I.Ju., Sycheva A.V., Agisheva D.K., Matveeva T.A. [Interpolation of unknown functions by cubic splines]. *Modern high technology*, 2014, no. 5-2, pp. 188–189. (in Russ.)
13. Tchobanoglous G., Theisen H., Vigil S., *Integrated Solid Waste Management, Engineering Principles and Management*. New York, *McGraw-Hill Series in Waste Resources and Environmental Engineering*, 1993.
14. Rogova T.N. [Regression Equations in Optimization Models]. *World of transport*, 2009, vol. 7, no. 2(26), pp. 138–143. (in Russ.)
15. Zatonsky A.V., Sirotina N.A., Janchenko T.V. [About Approximation of Factors in Developer's Differential Model for Agriculture of Perm Region]. *Modern studies of social problems (electronic scientific journal)*, 2012, no. 11, pp. 6–6. (in Russ.)
16. Zatonsky A.V. *Programmnyye sredstva global'noy optimizatsii sistem avtomaticheskogo regulirovaniya* [Software tools for global optimization of automatic control systems]. Moscow, *Infra-M*, 2013. 136 p.

*Received 11 June 2020*

---

#### ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Варламова, С.А. Моделирование показателя развития человеческого потенциала в Германии / С.А. Варламова, П.В. Котков // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2020. – Т. 20, № 3. – С. 85–95. DOI: 10.14529/ctcr200309

#### FOR CITATION

Varlamova S.A., Kotkov P.V. Modeling the Indicator of Human Potential Development in Germany. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Computer Technologies, Automatic Control, Radio Electronics*, 2020, vol. 20, no. 3, pp. 85–95. (in Russ.) DOI: 10.14529/ctcr200309