

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УРОВНЯ ОБРАЗОВАНИЯ И ЦИФРОВИЗАЦИИ НА ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РОСТ

Е. Г. ГОСПОДАРИК^{1), 2)}, В. Д. ЕРМАК¹⁾

¹⁾Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4, 220030, г. Минск, Беларусь

²⁾Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации,
пр. Ленинградский, 49, 125167, г. Москва, Россия

Построены эконометрические модели экономического роста с экзогенными переменными, отражающими степень образованности, цифровизации и продолжительность жизни населения, а также стартовый уровень валового национального дохода на душу населения. В основу панелей легли данные по 10 развитым и 10 развивающимся странам за последние 30 лет. Применялись базовый метод наименьших квадратов, метод с фиксированными эффектами (в трех версиях) и метод со случайными эффектами. Выявлены лучшие по точности модели. Сделаны экономические выводы.

Ключевые слова: экономический рост; образование; цифровизация; моделирование экономического роста.

MODELLING THE IMPACT THE LEVEL OF EDUCATION AND DIGITALISATION ON ECONOMIC GROWTH

C. G. GOSPODARIK^{a, b}, V. D. YERMAK^a

^aBelarusian State University, 4 Niezaliežnasci Avenue, Minsk 220030, Belarus

^bFinancial University under the Government of the Russian Federation,
49 Leningradsky Avenue, Moscow 125167, Russia

Corresponding author: C. G. Gospodarik (gospodarik@bsu.by)

Econometric models of economic growth are built with exogenous variables reflecting the degree of education, digitalisation and life expectancy of the population, as well as the starting level of gross national income per capita. The panels are based on data from 10 developed and 10 developing countries over the past 30 years. The basic least squares method, the fixed effects method (in three versions) and the random effects method were used. Models with the best accuracy are identified. Economic conclusions are made.

Keywords: economic growth; education; digitalisation; modelling of economic growth.

Образец цитирования:

Господарик ЕГ, Ермак ВД. Моделирование влияния уровня образования и цифровизации на экономический рост. Журнал Белорусского государственного университета. Экономика. 2022;2:81–92.

For citation:

Gospodarik CG, Yermak VD. Modelling the impact the level of education and digitalisation on economic growth. Journal of the Belarusian State University. Economics. 2022;2:81–92. Russian.

Авторы:

Екатерина Геннадьевна Господарик – кандидат экономических наук, доцент; заведующий кафедрой аналитической экономики и эконометрики экономического факультета¹⁾, профессор департамента бизнес-аналитики²⁾.

Владислав Дмитриевич Ермак – студент экономического факультета. Научный руководитель – Е. Г. Господарик.

Authors:

Catherine G. Gospodarik, PhD (economics), docent; head of the department of analytical economics and econometrics, faculty of economics^a, and professor at the department of business analysis^b.

gospodarik@bsu.by

Vladislav D. Yermak, student at the faculty of economics.

vladislav.yermak1@gmail.com

Теоретические основания и обзор литературы

Современная теория человеческого капитала концентрируется на изучении того, как уровень образованности населения влияет на экономический рост страны. По мнению лауреатов Нобелевской премии Т. В. Шульца [1] и С. Г. Беккера [2], образование, особенно высшее, является одним из важнейших компонентов человеческого капитала, детерминантой устойчивого экономического развития.

В начале 1990-х гг. в ряде эмпирических исследований была подтверждена положительная роль уровня образованности населения в технологическом прогрессе [3–11]. Например, Сакиру Адеболу Соларин и Йиен Юэн на основе панельных данных по 169 государствам за период с 1996 по 2013 г. обнаружили, что как в развитых, так и в развивающихся странах результаты научных исследований положительно влияют на экономический рост страны [10]. Анализ данных по Индии за период с 1951 по 2001 г. подтвердил наличие однонаправленной причинно-следственной связи между уровнем образованности населения и степенью экономического развития страны. Образование, особенно высшее, вносит прямой (делает работников более продуктивными) и косвенный (приводит к созданию знаний, идей и технологических инноваций) вклад в экономический рост страны [7]. Результаты исследования данных по Пакистану за период с 1970 по 2009 г. свидетельствуют о существовании причинно-следственной связи всех ступеней образования с уровнем экономического развития страны [3]. Используя модель панельных данных для изучения воздействия масштаба и качества образования на экономический рост шести провинций Китая за период с 2003 по 2014 г., Тяньтянь Чжу, Хуаронг Пэн и Чжан Юэджун выяснили, что вклад высшего образования в общий уровень образования составляет менее 1 %, а вклад высшего образования в экономическое развитие – менее 5 %, что ниже, чем вклад базового образования в экономический рост страны. В целом высшее образование положительно влияет на экономическое развитие Китая, причем технологическое образование играет в этом процессе более заметную роль, чем гуманитарное образование [9]. В публикации [11] на основе данных по 21 городу за период с 2000 по 2016 г. было установлено, что инвестиции в образование содействуют устойчивому экономическому росту Китая, однако их вклад различается по районам. Кроме того, модернизация образования способствует развитию экономики, а улучшение экономики, в свою очередь, позитивно влияет на совершенствование образования.

В последние годы появились работы [12; 13], в которых доказывается положительное воздействие уровня цифровизации на экономический рост страны.

Построение эконометрических моделей экономического роста с учетом экзогенных переменных, отражающих степень образованности и уровень цифровизации населения

Эмпирической базой для построения эконометрических моделей служат данные по 20 странам за период с 1990 по 2020 г. Панель d включает 10 развивающихся стран (Беларусь, Китай, Россия, Казахстан, Армения, Мексика, Аргентина, Колумбия, Польша и Южная Африка), а панель D – 10 развитых стран (Япония, США, Германия, Великобритания, Новая Зеландия, Дания, Канада, Франция, Люксембург и Нидерланды).

Использовались наиболее распространенные математические методы построения эконометрических моделей с панельными данными [14; 15]. К ним относятся базовый метод наименьших квадратов, метод с фиксированными эффектами в трех версиях (модель с фиктивными переменными, фиксированная внутригрупповая модель, модель первых разностей), а также метод со случайными эффектами.

Эконометрические модели строились по формуле

$$\begin{aligned} \ln(\text{GDP}_{i,t}) = & \beta_0 + \beta_1 \text{Expected_years_schooling}_{i,t} + \beta_2 \ln(\text{GNI_per_capita}_{i,t}) + \\ & + \beta_3 \text{ICT_goods_exports}_{i,t} + \beta_4 \text{Internet_users}_{i,t} + \\ & + \beta_5 \text{Life_expectancy}_{i,t} + \beta_6 \text{Mean_year_schooling}_{i,t} + \varepsilon_{i,t}, \end{aligned}$$

где $\text{GDP}_{i,t}$ – ВВП страны i в период t , выраженный в постоянных ценах¹; $\text{Expected_years_schooling}_{i,t}$ – средняя ожидаемая продолжительность обучения граждан страны i в период t ; $\text{GNI_per_capita}_{i,t}$ – валовой национальный доход на душу населения страны i в период t ; $\text{ICT_goods_exports}_{i,t}$ – доля экспорта товаров и услуг, связанных с информационно-коммуникационными технологиями, в суммарном объеме экспорта страны i в период t ; $\text{Internet_users}_{i,t}$ – доля населения страны i в период t , которое использует интернет; $\text{Life_expectancy}_{i,t}$ – средняя продолжительность жизни населения при рождении в стране i

¹В настоящей статье в качестве постоянной цены принято значение доллара США по состоянию на 2015 г.

в период t ; $\text{Mean_year_schooling}_{i,t}$ – средняя продолжительность обучения граждан в стране i в период t . Статистические данные для моделей взяты из баз данных Международного телекоммуникационного союза², ООН³ и Всемирного банка⁴.

Модели для развитых стран. На рис. 1 представлена модель 1D, построенная с помощью базового метода наименьших квадратов, для развитых стран.

Dependent Variable: LOG(GDP)				
Method: Panel Least Squares				
Date: 05/19/22 Time: 15:10				
Sample (adjusted): 2000–2019				
Periods included: 20				
Cross-sections included: 10				
Total panel (balanced) observations: 200				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	60.10779	10.67556	5.630412	0.0000
Expected_years_schooling	–0.401750	0.064223	–6.255575	0.0000
LOG(GNI_per_capita)	–3.541213	0.422691	–8.377788	0.0000
ICT_goods_exports	0.143761	0.016084	8.938162	0.0000
Internet_users	–0.000907	0.009056	–0.100122	0.9204
Life_expectancy	–0.034492	0.078260	–0.440732	0.6599
Mean_year_schooling	1.137614	0.107958	10.53756	0.0000
R-squared	0.651087	Mean dependent var		27.75232
Adjusted R-squared	0.640240	S. D. dependent var		1.639534
S. E. of regression	0.983392	Akaike info criterion		2.838756
Sum squared resid	186.6427	Schwarz criterion		2.954197
Log likelihood	–276.8756	Hannan-Quinn criter.		2.885473
F-statistic	60.02441	Durbin-Watson stat		0.101260
Prob. (F-statistic)	0.000000			

Рис. 1. Результаты построения модели 1D при помощи базового метода наименьших квадратов в статистическом пакете Eviews для развитых стран
Fig. 1. Results of building a 1D model using the basic ordinary least squares method in the Eviews statistical package for developed countries

Модель объясняет вариацию эндогенной переменной $\ln(\text{GDP}_{i,t})$ на 65,1 % (низкая точность). Множественный коэффициент детерминации R-squared равен 0,640 24, что подтверждает плохое качество объяснений переменной $\ln(\text{GDP}_{i,t})$. Модель статистически значима при $\alpha = 0,01$. Переменные C, Expected_years_schooling, $\ln(\text{GNI_per_capita})$, ICT_goods_exports, Mean_year_schooling статистически значимы при $\alpha = 0,01$, а переменные Internet_users, Life_expectancy статистически незначимы ($\alpha = 0,1$). Таким образом, модель 1D имеет низкую объяснимость.

На рис. 2 представлена модель 2D, построенная при помощи метода с фиксированными эффектами (модель с фиктивными переменными), для развитых стран.

Модель с фиктивными переменными $D_1, D_2, \dots, D_9$ учитывает неоднородность выборки, т. е. может вводить константу, равную значению 1, для каждой страны. Например, для Японии фиктивная переменная $D_1 = 1$, тогда как для остальных стран переменная $D_1 = 0$, для США переменная $D_2 = 1$, а для остальных стран переменная $D_2 = 0$ и т. д. Модель 2D называется моделью с фиксированными эффектами, поскольку фиктивные переменные, несмотря на их изменчивость в зависимости от страны, остаются постоянными во времени.

Переменные ICT_goods_exports и Internet_users статистически незначимы ($\alpha = 0,1$). Остальные переменные статистически значимы при $\alpha = 0,07$. Модель объясняет вариацию эндогенной переменной $\ln(\text{GDP}_{i,t})$ на 99,9 % (отличная точность). Множественный коэффициент детерминации R-squared равен 0,999 288, что подтверждает чрезвычайно высокое качество объяснений переменной $\ln(\text{GDP}_{i,t})$.

²International Telecommunication Union [Electronic resource]. URL: <https://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Pages/links/nso.aspx> (date of access: 16.05.2022).

³United Nations Development Programme [Electronic resource]. URL: <https://hdr.undp.org/en/data> (date of access: 18.05.2022).

⁴The World Bank [Electronic resource]. URL: <https://databank.worldbank.org/home.aspx> (date of access: 18.05.2022).

Dependent Variable: LOG(GDP) Method: Panel Least Squares Date: 05/19/22 Time: 15:27 Sample (adjusted): 2000–2019 Periods included: 20 Cross-sections included: 10 Total panel (balanced) observations: 200				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	18.32925	0.708955	25.85390	0.0000
D ₁	0.436599	0.025845	16.89325	0.0000
D ₂	2.232184	0.053961	41.36640	0.0000
D ₃	0.552827	0.049450	11.17944	0.0000
D ₄	0.345809	0.039588	8.735141	0.0000
D ₅	–2.412535	0.046027	–52.41584	0.0000
D ₆	–1.801141	0.052239	–34.47893	0.0000
D ₇	–0.463275	0.026645	–17.38726	0.0000
D ₈	–3.927741	0.046340	–84.75985	0.0000
D ₉	–1.025984	0.037137	–27.62666	0.0000
Expected_years_schooling	–0.045847	0.008236	–5.566699	0.0000
LOG(GNI_per_capita)	0.264937	0.053017	4.997228	0.0000
ICT_goods_exports	0.002214	0.001715	1.291215	0.1982
Internet_users	–6.86E-05	0.000548	–0.125131	0.9006
Life_expectancy	0.102604	0.008309	12.34826	0.0000
Mean_year_schooling	–0.025833	0.014089	–1.833556	0.0683
R-squared	0.999342	Mean dependent var	27.75232	
Adjusted R-squared	0.999288	S. D. dependent var	1.639534	
S. E. of regression	0.043744	Akaike info criterion	–3.344321	
Sum squared resid	0.352086	Schwarz criterion	–3.080456	
Log likelihood	350.4321	Hannan-Quinn criter.	–3.237539	
F-statistic	18624.56	Durbin-Watson stat	0.259665	
Prob. (F-statistic)	0.000000			

Рис. 2. Результаты построения модели 2D при помощи метода с фиксированными эффектами (модель с фиктивными переменными) в статистическом пакете *Eviews* для развитых стран

Fig. 2. Results of building a 2D model using the fixed effects method (dummy variables model) in the *Eviews* statistical package for developed countries

Понятно, что модель 2D лучше модели 1D, однако в этом необходимо удостовериться при помощи теста Вальда (рис. 3). Его результаты позволяют установить, достаточно ли сильны отличия моделей друг от друга, чтобы гарантировать выбор в пользу модели, построенной при помощи метода с фиксированными эффектами.

Переменные $\text{Probability(F-statistic)}$ и $\text{Probability(Chi-square)}$ равны значению 0, т. е. $P\text{-value} = 0,000$ меньше $\alpha = 0,01$. В тесте Вальда проверены следующие гипотезы:

- H_0 : $C(2) = C(3) = \dots = C(10) = 0$, так как различия малы;
- H_1 : $C(2) \neq C(3) \neq \dots \neq C(10) \neq 0$, так как различия велики.

Поскольку переменная F , или χ^2 -статистика, значима ($P\text{-value} = 0,000$ меньше $\alpha = 0,01$), то гипотеза H_0 отвергается в пользу гипотезы H_1 , согласно которой модель 2D является более подходящей и точной, чем модель 1D.

На рис. 4 представлена модель 3D, построенная при помощи метода со случайными эффектами, для развитых стран. Пусть в модели 3D символу ω_i соответствует ошибка, связанная с конкретной страной, т. е. случайное отклонение константы страны от среднего значения всех стран, а символу $\varepsilon_{i,t}$ – случайная ошибка.

Переменные $\text{Mean_year_schooling}$ и Internet_users статистически незначимы ($\alpha = 0,1$), тогда как все остальные переменные статистически значимы при $\alpha = 0,1$. Модель объясняет вариацию эндогенной переменной $\ln(\text{GDP}_{i,t})$ на 73,9 % (высокая точность). Множественный коэффициент детерминации $R\text{-squared}$ равен 0,730601, что подтверждает хорошее качество объяснений переменной $\ln(\text{GDP}_{i,t})$.

Однако по сравнению с качеством модели 2D качество модели 3D хуже. Чтобы выяснить, какая модель является наилучшей, следует использовать тест Хаусмана (рис. 5).

Wald Test: Equation: EQ02_FIXED_LSDV_DUMMIES			
Test Statistic	Value	df	Probability
F-statistic	10817.28	(9, 184)	0.0000
Chi-square	97355.49	9	0.0000
Null Hypothesis: C(2) = C(3) = C(4) = C(5) = C(6) = C(7) = C(8) = C(9) = C(10) = 0 Null Hypothesis Summary			
Normalized Restriction (= 0)		Value	Std. Err.
C(2)		0.436599	0.025845
C(3)		2.232184	0.053961
C(4)		0.552827	0.049450
C(5)		0.345809	0.039588
C(6)		−2.412535	0.046027
C(7)		−1.801141	0.052239
C(8)		−0.463275	0.026645
C(9)		−3.927741	0.046340
C(10)		−1.025984	0.037137
Restrictions are linear in coefficients.			

Рис. 3. Результаты теста Вальда для модели 2D в статистическом пакете *Eviews*Fig. 3. Results of Wald test for 2D model in the *Eviews* statistical package

Dependent Variable: LOG(GDP) Method: Panel EGLS (Cross-section random effects) Date: 05/19/22 Time: 16:52 Sample (adjusted): 2000–2019 Periods included: 20 Cross-sections included: 10 Total panel (balanced) observations: 200 Swamy and Arora estimator of component variances				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	18.01385	0.708388	25.42936	0.0000
Expected_years_schooling	-0.043705	0.008171	-5.349090	0.0000
LOG(GNI_per_capita)	0.229955	0.052707	4.362849	0.0000
ICT_goods_exports	0.002838	0.001712	1.657501	0.0990
Internet_users	-0.000177	0.000548	-0.322436	0.7475
Life_expectancy	0.101894	0.008246	12.35715	0.0000
Mean_year_schooling	-0.016869	0.014000	-1.204867	0.2297
Effects Specification			S. D.	Rho
Cross-section random			0.431611	0.9898
Idiosyncratic random			0.043744	0.0102
Weighted Statistics				
R-squared	0.738723	Mean dependent var		0.628776
Adjusted R-squared	0.730601	S. D. dependent var		0.110503
S. E. of regression	0.057355	Sum squared resid		0.634896
F-statistic	90.94678	Durbin-Watson stat		0.141398
Prob. (F-statistic)	0.000000			

Рис. 4. Результаты построения модели 3D при помощи метода со случайными эффектами в статистическом пакете *Eviews* для развитых странFig. 4. Results of building a 3D model using the random effects method in the *Eviews* statistical package for developed countries

Correlated Random Effects – Hausman test Equation: EQ04_RANDOM Test cross-section random effects			
Test Summary	Chi-Sq. Statistic	Chi-Sq. d. f.	Prob.
Cross-section random	696.440168	7	0.0000

Рис. 5. Результаты теста Хаусмана для модели 3D в статистическом пакете *Eviews*Fig. 5. Results of Hausman test for 3D model in the *Eviews* statistical package

В тесте Хаусмана проверены следующие гипотезы:

- H_0 : $\text{cov}(\omega_i, x_{i,t}) = 0$, т. е. модель 2D более подходящая;
- H_1 : $\text{cov}(\omega_i, x_{i,t}) \neq 0$, т. е. модель 3D более подходящая.

Так как P-value = 0 больше $\alpha = 0,01$, то гипотеза H_0 отвергается в пользу гипотезы H_1 , согласно которой модель 3D является более подходящей и точной, чем модель 2D.

В лучшей модели 3D положительно влияют на экономический рост высокоразвитых стран переменные, отражающие показатели валового национального дохода на душу населения, долю экспорта товаров и услуг, связанных с информационно-коммуникационными технологиями, в суммарном объеме экспорта, а также среднюю продолжительность жизни. В связи с этим для ускоренного роста экономического благосостояния высокоразвитых стран необходимо увеличение показателей валового национального дохода на душу населения и объемов экспорта товаров и услуг, связанных с информационно-коммуникационными технологиями.

Модели для развивающихся стран. На рис. 6 представлена модель 1d, построенная при помощи базового метода наименьших квадратов, для развивающихся стран.

Dependent Variable: LOG(GDP) Method: Panel Least Squares Date: 05/19/22 Time: 21:40 Sample (adjusted): 2000–2019 Periods included: 20 Cross-sections included: 10 Total panel (balanced) observations: 197				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	14.64675	1.828511	8.010207	0.0000
Expected_years_schooling	–0.043776	0.082584	–0.530075	0.5967
LOG(GNI_per_capita)	2.251236	0.240041	9.378553	0.0000
ICT_goods_exports	0.102705	0.010118	10.15092	0.0000
Internet_users	0.007539	0.003253	2.317313	0.0216
Life_expectancy	–0.074326	0.013411	–5.542051	0.0000
Mean_year_schooling	–0.288889	0.046795	–6.173507	0.0000
R-squared	0.776808	Mean dependent var		26.45316
Adjusted R-squared	0.769759	S. D. dependent var		1.772046
S. E. of regression	0.850288	Akaike info criterion		2.548402
Sum squared resid	137.3680	Schwarz criterion		2.665065
Log likelihood	–244.0176	Hannan-Quinn criter.		2.595628
F-statistic	110.2139	Durbin-Watson stat		0.021054
Prob. (F-statistic)	0.000000			

Рис. 6. Результаты построения модели 1d при помощи базового метода наименьших квадратов в статистическом пакете *Eviews* для развивающихся странFig. 6. Results of building a 1d model using the basic ordinary least squares method in the *Eviews* statistical package for developing countries

Модель объясняет вариацию эндогенной переменной $\ln(\text{GDP}_{i,t})$ на 77,7 % (средняя точность). Множественный коэффициент детерминации R-squared равен 0,769 759, что подтверждает удовлетворительное качество объяснений переменной $\ln(\text{GDP}_{i,t})$. Модель статистически значима при $\alpha = 0,01$. Переменные C,

$\ln(\text{GNI_per_capita})$, ICT_goods_exports , $\text{Mean_year_schooling}$ статистически значимы при $\alpha = 0,01$, переменная Internet_users статистически значима при $\alpha = 0,03$, а переменная $\text{Expected_years_schooling}$ статистически незначима ($\alpha = 0,1$).

На рис. 7 представлена модель 2d, построенная при помощи метода с фиксированными эффектами (модель с фиктивными переменными), для развивающихся стран.

Dependent Variable: LOG(GDP)				
Method: Panel Least Squares				
Date: 05/19/22 Time: 21:49				
Sample (adjusted): 2000–2019				
Periods included: 20				
Cross-sections included: 10				
Total panel (balanced) observations: 197				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	17.79191	0.236868	75.11305	0.0000
D ₁	–1.646087	0.034768	–47.34435	0.0000
D ₂	3.514614	0.060012	58.56558	0.0000
D ₃	1.234104	0.039343	31.36796	0.0000
D ₄	–0.879212	0.038414	–22.88806	0.0000
D ₅	–2.852466	0.035267	–80.88293	0.0000
D ₆	1.082600	0.040983	26.41550	0.0000
D ₇	–0.124302	0.024528	–5.067760	0.0000
D ₈	–0.182586	0.035330	–5.168062	0.0000
D ₉	0.303344	0.051156	5.929768	0.0000
Expected_years_schooling	0.046297	0.007371	6.281152	0.0000
LOG(GNI_per_capita)	0.820066	0.024069	34.07090	0.0000
ICT_goods_exports	–0.003179	0.002204	–1.442223	0.1510
Internet_users	0.000901	0.000290	3.107864	0.0022
Life_expectancy	0.009101	0.002612	2.484009	0.0006
Mean_year_schooling	0.008008	0.007385	1.084282	0.2797
R-squared	0.999563	Mean dependent var	26.45316	
Adjusted R-squared	0.999527	S. D. dependent var	1.772046	
S. E. of regression	0.038539	Akaike info criterion	–3.596584	
Sum squared resid	0.268825	Schwarz criterion	–3.329928	
Log likelihood	370.2635	Hannan-Quinn criter.	–3.488640	
F-statistic	27614.28	Durbin-Watson stat	0.245252	
Prob. (F-statistic)	0.000000			

Рис. 7. Результаты построения модели 2d при помощи метода с фиксированными эффектами (модель с фиктивными переменными) в статистическом пакете *Eviews* для развивающихся стран

Fig. 7. Results of building a 2d model using the fixed effects method (dummy variables model) in the *Eviews* statistical package for developing countries

Модель с фиктивными переменными $d_1, d_2, \dots, d_9$ учитывает неоднородность выборки. Переменные ICT_goods_exports и $\text{Mean_year_schooling}$ статистически незначимы, тогда как остальные переменные статистически значимы при $\alpha = 0,01$. Модель объясняет вариацию эндогенной переменной $\ln(\text{GDP}_{i,t})$ на 99,96 % (отличная точность). Множественный коэффициент детерминации R-squared равен 0,999527, что подтверждает чрезвычайно высокое качество объяснений переменной $\ln(\text{GDP}_{i,t})$.

Чтобы удостовериться в том, что модель 2d лучше модели 1d, необходимо провести тест Вальда (рис. 8).

Переменные $\text{Probability(F-statistic)}$ и $\text{Probability(Chi-square)}$ равны значению 0, т. е. $P\text{-value} = 0,000$ меньше $\alpha = 0,01$. В тесте Вальда проверены следующие гипотезы:

- $H_0: C(2) = C(3) = \dots = C(10) = 0$, так как различия малы;
- $H_1: C(2) \neq C(3) \neq \dots \neq C(10) \neq 0$, так как различия велики.

Поскольку переменная F , или χ^2 -статистика, значима ($P\text{-value} = 0,000$ меньше $\alpha = 0,01$), то гипотеза H_0 отвергается в пользу гипотезы H_1 , согласно которой модель 2d является более подходящей и точной, чем модель 1d.

На рис. 9 представлена модель 3d, построенная при помощи метода со случайными эффектами, для развивающихся стран.

Wald Test: Equation: EQ02_FIXED_LSDV_DUMMIES			
Test Statistic	Value	df	Probability
F-statistic	10256.54	(9, 181)	0.0000
Chi-square	92308.84	9	0.0000
Null Hypothesis: C(2) = C(3) = C(4) = C(5) = C(6) = C(7) = C(8) = C(9) = C(10) = 0 Null Hypothesis Summary			
Normalized Restriction (= 0)		Value	Std. Err.
C(2)		−1.646087	0.034768
C(3)		3.514614	0.060012
C(4)		1.234104	0.039343
C(5)		−0.879212	0.038414
C(6)		−2.852466	0.035267
C(7)		1.082600	0.040983
C(8)		−0.124302	0.024528
C(9)		−0.182586	0.035330
C(10)		0.303344	0.051156
Restrictions are linear in coefficients.			

Рис. 8. Результаты теста Вальда для модели 2d в статистическом пакете *Eviews*Fig. 8. Results of Wald test for 2d model in the *Eviews* statistical package

Dependent Variable: LOG(GDP) Method: Panel EGLS (Cross-section random effects) Date: 05/19/22 Time: 22:05 Sample (adjusted): 2000–2019 Periods included: 20 Cross-sections included: 10 Total panel (balanced) observations: 200 Swamy and Arora estimator of component variances				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	17.84229	0.438078	40.72860	0.0000
Expected_years_schooling	0.046174	0.007370	6.265463	0.0000
LOG(GNI_per_capita)	0.820404	0.024065	34.09047	0.0000
ICT_goods_exports	−0.002875	0.002202	−1.305638	0.1933
Internet_users	0.000915	0.000290	3.157885	0.0018
Life_expectancy	0.009035	0.002611	3.461057	0.0007
Mean_year_schooling	0.007592	0.007382	1.028445	0.3050
Effects Specification			S. D.	Rho
Cross-section random			1.184852	0.9998
Idiosyncratic random			0.038539	0.0011
Weighted Statistics				
R-squared	0.980870	Mean dependent var		0.193696
Adjusted R-squared	0.980266	S. D. dependent var		0.281464
S. E. of regression	0.039545	Sum squared resid		0.297120
F-statistic	1623.667	Durbin-Watson stat		0.220355
Prob. (F-statistic)	0.000000			

Рис. 9. Результаты построения модели 3d при помощи метода со случайными эффектами в статистическом пакете *Eviews* для развивающихся странFig. 9. Results of building a 3d model using the random effects method in the *Eviews* statistical package for developing countries

Переменные Mean_year_schooling и ICT_goods_exports статистически незначимы, а все остальные переменные статистически значимы при $\alpha = 0,01$. Модель объясняет вариацию эндогенной переменной $\ln(\text{GDP}_{i,t})$ на 98,1 % (высокая точность). Множественный коэффициент детерминации R-squared равен 0,980 266, что подтверждает отличное качество объяснений переменной $\ln(\text{GDP}_{i,t})$.

Модели 2d и 3d обладают одинаково хорошими свойствами. Чтобы определить, какая из них лучше, следует воспользоваться тестом Хаусмана (рис. 10).

Correlated Random Effects – Hausman test Equation: EQ04_RANDOM Test cross-section random effects			
Test Summary	Chi-Sq. Statistic	Chi-Sq. d. f.	Prob.
Cross-section random	16.071990	6	0.0134

Рис. 10. Результаты теста Хаусмана для модели 3d в статистическом пакете Eviews

Fig. 10. Results of Hausman test for 3d model in the Eviews statistical package

В тесте Хаусмана проверены следующие гипотезы:

- H_0 : $\text{cov}(\omega_i, x_{i,t}) = 0$, т. е. модель 2d более подходящая;
- H_1 : $\text{cov}(\omega_i, x_{i,t}) \neq 0$, т. е. модель 3d более подходящая.

Так как P-value = 0,013 4 меньше $\alpha = 0,02$, то гипотеза H_0 отвергается в пользу гипотезы H_1 , что свидетельствует о большей точности модели 3d. Однако если P-value = 0,013 4 больше $\alpha = 0,01$, то модель 2d лучше, чем модель 3d. Несмотря на это, лучшей является модель 3d, согласно которой наибольшее положительное влияние на экономический рост имеют показатели валового национального дохода на душу населения, средняя ожидаемая продолжительность обучения, доля населения, использующего интернет, и средняя продолжительность жизни.

Сравнение построенных моделей и погрешность прогнозирования экономического роста

В табл. 1 сравниваются модели 2d и 2D для развивающихся и развитых стран соответственно. Для развивающихся стран было проведено 197 наблюдений, а для развитых стран – 200.

Таблица 1

Сравнение моделей 2d и 2D для развивающихся и развитых стран соответственно

Table 1

Comparison of 2d and 2D models for developing and developed countries, respectively

Переменная	Развивающиеся страны	Развитые страны
Константа C	17,863** (0,227)	17,723** (0,698)
Expected_years_schooling $_{i,t}$	0,046** (0,007)	–0,046** (0,008)
GNI_per_capita $_{i,t}$	0,820** (0,024)	0,265** (0,053)
ICT_goods_exports $_{i,t}$	–0,003 (0,002)	0,002 (0,002)
Internet_users $_{i,t}$	0,001** (0,000 3)	$-7 \cdot 10^{-5} \sim 0$ (0,000 5)
Life_expectancy $_{i,t}$	0,001** (0,003)	0,103** (0,008)
Mean_year_schooling $_{i,t}$	0,008 (0,007)	–0,026* (0,014)

Примечание. Разработано на основе расчетов в статистическом пакете Eviews; знаком * отмечен показатель, который статистически значим при $\alpha = 0,1$, а знаком ** – показатель, который статистически значим при $\alpha = 0,01$, в остальных случаях показатели статистически незначимы.

В развитых странах показатели, отражающие среднюю ожидаемую и реальную продолжительность обучения, а также долю населения, которое использует интернет, перестали положительно сказываться на росте ВВП. Это связано с тем, что развитые государства достигли оптимальной точки по этим показателям, поэтому дальнейшее их улучшение не ускоряет рост ВВП, чего нельзя сказать о развивающихся странах.

Для окончательного прогнозирования ВВП необходимо провести несколько корректировок и улучшений, заключающихся в изменении спецификации моделей путем добавления статистически значимой переменной $\log(\text{GDP}(-1))$. В результате модель экономического роста ВВП для развивающихся стран приняла следующий вид:

$$\begin{aligned} \log(\text{GDP}) = & 7,84 + 0,015 \text{Expected_years_schooling} + \\ & + 0,36 \log(\text{GNI_per_capita}) - 0,001 \text{ICT_goods_exports} + \\ & + 0,0003 \text{Internet_users} + 0,0014 \text{Life_expectancy} + \\ & + 0,007 \text{Mean_year_schooling} + 0,57 \log(\text{GDP}(-1)). \end{aligned}$$

Следует протестировать модель экономического роста ВВП для развивающихся стран с использованием известных данных за 2019 г., что позволит оценить ее точность и достоверность (табл. 2).

Таблица 2

Сравнение фактического ВВП развивающихся стран и прогнозируемого ВВП, основанного на результатах модели 3d, по данным за 2019 г.

Table 2

Comparison of actual GDP in developing countries with projected GDP based on the results of the 3d model, based on 2019 data

Страна	Фактический ВВП, млрд долл. США	Прогнозируемый ВВП, млрд долл. США	Погрешность, %
Беларусь	59,0	60,6	2,78
Китай	14 296,2	14 184,56	–0,78
Россия	1459,2	1491,4	2,21
Казахстан	211,1	202,4	–4,15
Армения	12,9	12,6	–2,11
Мексика	1252,8	1248,6	–0,34
Аргентина	571,3	576,15	0,85
Колумбия	321,7	318,95	–0,85
Польша	570,1	412,1	–27,71
Южная Африка	358,7	354,04	–1,30

Примечание. Разработано на основе расчетов в статистическом пакете *Eviews*.

Значения реального и прогнозируемого ВВП очень близки. Небольшие отклонения связаны с неучтенными факторами.

После корректировки модель экономического роста ВВП для развитых стран приняла следующий вид:

$$\begin{aligned} \log(\text{GDP}) = & 18,3 + 0,4D_1 + 2,2D_2 + 0,6D_3 + 0,3D_4 - \\ & - 2,4D_5 - 1,8D_6 - 0,5D_7 - 3,9D_8 - 1,02D_9 - \\ & - 0,05 \text{Expected_years_schooling} + 0,3 \log(\text{GNI_per_capita}) + \\ & + 0,002 \text{Ict_goods_exports} - 6,9 \cdot 10^{-5} \text{Internet_users} + \\ & + 0,1 \text{Life_expectancy} - 0,03 \text{Mean_year_schooling}. \end{aligned}$$

Следует протестировать модель экономического роста ВВП для развитых стран с использованием известных данных за 2019 г., что позволит оценить ее точность и достоверность (табл. 3).

Таблица 3

Сравнение фактического ВВП развитых стран и прогнозируемого ВВП, основанного на результатах модели 3D, по данным за 2019 г.

Table 3

Comparison of actual GDP in developed countries with projected GDP based on the results of the 3D model, based on 2019 data

Страна	Фактический ВВП, млрд долл. США	Прогнозируемый ВВП, млрд долл. США	Погрешность, %
Япония	4591,29	4909,29	6,93
США	19974,53	17642,91	–11,67
Германия	3600,34	3627,03	0,74
Великобритания	3191,49	2997,43	–6,08
Новая Зеландия	200,74	189,39	–5,66
Дания	334,64	339,06	1,32
Канада	1696,16	1543,59	–9,00
Франция	2616,81	2663,66	1,79
Люксембург	67,31	61,23	–9,04
Нидерланды	840,25	838,35	–0,23

Примечание. Разработано на основе расчетов в статистическом пакете *Eviews*.

Для развитых стран были зафиксированы несколько большие отклонения, которые связаны с неучтенными факторами. Наиболее точные прогнозы были получены для Нидерландов и Германии.

Заключение

Эконометрические модели панельных данных, построенные при помощи метода с фиксированными эффектами, оказались более качественными для развивающихся и развитых стран, чем эконометрические модели, построенные при помощи базового метода наименьших квадратов и метода со случайными эффектами.

В развитых странах показатели, отражающие среднюю ожидаемую и реальную продолжительность обучения, а также долю населения, которое использует интернет, перестали положительно сказываться на росте ВВП. Это связано с тем, что развитые государства достигли оптимальной точки по данным показателям, поэтому их дальнейшее улучшение не ускоряет рост ВВП. В развивающихся странах все показатели, кроме доли экспорта товаров и услуг, связанных с информационно-коммуникационными технологиями, в суммарном объеме экспорта (значения показателя одинаково малы для всех стран), позитивно влияют на экономический рост страны. Увеличение почти всех экзогенных переменных приводит к росту ВВП.

Полученные результаты были апробированы для прогнозирования ВВП как в развитых, так и в развивающихся странах за уже известный, 2019-й, год, на результаты которого еще не повлиял COVID-19. Модели показали высокую точность, поэтому их можно применять для среднесрочного прогнозирования. Прогнозы модели для стран ЕАЭС являются особенно точными, в связи с чем их можно использовать при прогнозировании ВВП этих стран (ср. [16]).

Библиографические ссылки

1. Schultz TW. Investment in human capital. *American Economic Review*. 1961;51(1):1–17.
2. Becker SG. Investment in human capital: a theoretical analysis. *Journal of Political Economy*. 1962;70(5, part 2):9–49.
3. Afzal Muhammad, Rehman Hafeez Ur, Farooq Muhammad Shahid, Sarwar Kafeel. Education and economic growth in Pakistan: a co-integration and causality analysis. *International Journal of Educational Research*. 2001;50(5–6):321–335. DOI: 10.1016/j.ijer.2011.10.004.
4. Fernandez E, Mauro P. The role of human capital in economic growth: the case of Spain [Internet]. Washington: International Monetary Fund; 2000 [cited 2022 April 4]. 27 p. (IMF working paper). Available from: <https://www.imf.org/en/publications/wp/issues/2016/12/30/the-role-of-human-capital-in-economic-growth-the-case-of-spain-3401>.
5. Gylfason T, Zoeg G. Education, social equality and economic growth: a view of the landscape. *CESifo Economic Studies*. 2003;49(4):557–579. DOI: 10.1093/cesifo/49.4.557.

6. Loening JL, Bhaskara Rao B, Singh R. Effects of education on economic growth: evidence from Guatemala. Munich: Munich Personal RePEc Archive; 2010 [cited 2022 April 4]. 36 p. (MPRA paper). Available from: <https://mpra.ub.uni-muenchen.de/23665>.
7. Hassan Gazi, Cooray Arusha. Effects of male and female education on economic growth: some evidence from Asia. *Journal of Asian Economics*. 2014;28(1):701–709. DOI: 10.1016/j.asieco.2014.09.001.
8. Ying Wang, Shasha Liu. Human capital and economic growth: empirical research on 55 countries and regions (1960–2009). *Theoretical Economics Letters*. 2016;6(2):347–355. DOI: 10.4236/tel.2016.62039.
9. Tiantian Zhu, Huarong Peng, Zhang Yuejun. The influence of higher education development on economic growth: evidence from central China. *Higher Education Policy*. 2018;31:139–157. DOI: 10.1057/s41307-017-0047-7.
10. Solarin Sakiru Adebola, Yeeyen Yuen. A global analysis of the impact of research output on economic growth. *Scientometrics*. 2016;108(2):855–874. DOI: 10.1007/s11192-016-2002-6.
11. Liping Liao, Minzhe Du, Bing Wang, Yanni Yu. The impact of educational investment on sustainable economic growth in Guangdong, China: a co-integration and causality analysis. *Sustainability*. 2019;11(3):766. DOI: 10.3390/su11030766.
12. Головенчик ГГ, Ковалёв ММ. Цифровая трансформация и экономический рост (на примере белорусской экономики). *Журнал Белорусского государственного университета. Экономика*. 2018;1:102–121.
13. Господарик ЕГ, Лосякина ПВ. Анализ влияния цифрового и финансового развития страны на ее экономический рост на примере Беларуси. *Журнал Белорусского государственного университета. Экономика*. 2022;1:65–78.
14. Балаш БА, Балаш ОС. *Модели линейной регрессии для панельных данных*. Москва: Московский государственный университет экономики, статистики и информатики; 2002. 67 с.
15. Айвазян СА, Мхитарян ВС. *Прикладная статистика и основы эконометрики*. Москва: Юнити; 1998. 1000 с.
16. Господарик ЕГ, Ковалёв ММ. *ЕАЭС-2050: глобальные тренды и евразийская экономическая политика*. Минск: БГУ; 2015. 152 с.

References

1. Schultz TW. Investment in human capital. *American Economic Review*. 1961;51(1):1–17.
2. Becker SG. Investment in human capital: a theoretical analysis. *Journal of Political Economy*. 1962;70(5, part 2):9–49.
3. Afzal Muhammad, Rehman Hafeez Ur, Farooq Muhammad Shahid, Sarwar Kafeel. Education and economic growth in Pakistan: a co-integration and causality analysis. *International Journal of Educational Research*. 2001;50(5–6):321–335. DOI: 10.1016/j.ijer.2011.10.004.
4. Fernandez E, Mauro P. The role of human capital in economic growth: the case of Spain [Internet]. Washington: International Monetary Fund; 2000 [cited 2022 April 4]. 27 p. (IMF working paper). Available from: <https://www.imf.org/en/publications/wp/issues/2016/12/30/the-role-of-human-capital-in-economic-growth-the-case-of-spain-3401>.
5. Gylfason T, Zoeg G. Education, social equality and economic growth: a view of the landscape. *CESifo Economic Studies*. 2003;49(4):557–579. DOI: 10.1093/cesifo/49.4.557.
6. Loening JL, Bhaskara Rao B, Singh R. Effects of education on economic growth: evidence from Guatemala. Munich: Munich Personal RePEc Archive; 2010 [cited 2022 April 4]. 36 p. (MPRA paper). Available from: <https://mpra.ub.uni-muenchen.de/23665>.
7. Hassan Gazi, Cooray Arusha. Effects of male and female education on economic growth: some evidence from Asia. *Journal of Asian Economics*. 2014;28(1):701–709. DOI: 10.1016/j.asieco.2014.09.001.
8. Ying Wang, Shasha Liu. Human capital and economic growth: empirical research on 55 countries and regions (1960–2009). *Theoretical Economics Letters*. 2016;6(2):347–355. DOI: 10.4236/tel.2016.62039.
9. Tiantian Zhu, Huarong Peng, Zhang Yuejun. The influence of higher education development on economic growth: evidence from central China. *Higher Education Policy*. 2018;31:139–157. DOI: 10.1057/s41307-017-0047-7.
10. Solarin Sakiru Adebola, Yeeyen Yuen. A global analysis of the impact of research output on economic growth. *Scientometrics*. 2016;108(2):855–874. DOI: 10.1007/s11192-016-2002-6.
11. Liping Liao, Minzhe Du, Bing Wang, Yanni Yu. The impact of educational investment on sustainable economic growth in Guangdong, China: a co-integration and causality analysis. *Sustainability*. 2019;11(3):766. DOI: 10.3390/su11030766.
12. Goloventchik GG, Kovalev MM. Digital transformation and economic growth (on the example of the Belarusian economy). *Journal of the Belarusian State University. Economics*. 2018;1:102–121. Russian.
13. Gospodarik CG, Losyakina PV. Analysis of the impact of digital and financial development of the country on its economic growth on the example of Belarus. *Journal of the Belarusian State University. Economics*. 2022;1:65–78. Russian.
14. Balash BA, Balash OS. *Modeli lineinoy regressii dlya panel'nykh dannykh* [Linear regression models for panel data]. Moscow: The Moscow State University of Economics, Statistics and Informatics; 2002. 67 p. Russian.
15. Aivazyan SA, Mkhitaran VS. *Prikladnaya statistika i osnovy ekonometriki* [Applied statistics and fundamentals of econometrics]. Moscow: Yuniti; 1998. 1000 p. Russian.
16. Gospodarik CG, Kovalev MM. *EAES-2050: global'nye trendy i evraziyskaya ekonomicheskaya politika* [The EAEU-2050: global trends and Eurasian economics policy]. Minsk: Belarusian State University; 2015. 152 p. Russian.

Статья поступила в редколлегию 07.10.2022.
Received by editorial board 07.10.2022.