

СИСТЕМНОЕ ДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОЗАВИСИМОСТЕЙ ФАКТОРОВ ОБРАЗОВАНИЯ И ЭКОНОМИЧЕСКОГО РОСТА СТРАН

Данное исследование посвящено построению системной динамической модели взаимозависимости факторов образования и экономического роста стран. На основе эмпирических исследований создана теоретическая модель взаимозависимости факторов образования и экономического роста стран. Используя модели регрессии, оценено влияние выделенных факторов на экономический рост, проведено тестирование моделей и остатков на адекватность.

Ключевые слова: *экономический рост, системная динамика, эконометрическое моделирование, модель Кобба–Дугласа, грамотность, затраты на образование, период обучения, охват образованием.*

Актуальность темы исследования. Комплексный способ построения моделей зависимости на основе подхода системной динамики позволяет увязать динамические ряды данных, структурные модели и модели стохастического характера. Вопросы влияния образования на экономический рост в разных странах имеют неоднозначный характер оценок, с одной стороны, отражая экстенсивный рост производства под влиянием роста всеобщего уровня грамотности, с другой – инновационное развитие всех отраслей экономики под воздействием роста количества квалифицированного персонала. При этом необходимо помнить о двусторонней зависимости, возникающей в результате необходимости государству повышать расходы на образование. Актуальность темы исследования отражается в растущем интересе, как государственных органов и международных организаций, так и частного сектора к вопросам повышения производительности предприятий, а, следовательно, к общему росту ВВП на основе инвестиций в человеческий капитал.

Постановка проблемы исследования. Взаимозависимости, возникающие при оценке влияния независимых переменных на экономический рост, требуют детального исследования и подтверждения на основе эконометрических моделей с учетом тенденций развития стран и соответственно показателей, характеризующих их экономическое и социальное состояние. На основе эмпирических исследований были определены основные факторы образования, способные оказывать существенное, с точки зрения системного моделирования, влияние на экономический рост. Тенденции современного экономического развития стран требуют построения эконометрической модели, способной подтвердить или опровергнуть данные предположения.

Анализ последних исследований и публикаций. Вопросы исследования влияния человеческого капитала на экономическое состояние страны и его экономического роста интересовали ученых еще в XVII–XVIII в., существенно повышая значение человека в развитии экономики страны, что прослеживается в работах Уильяма Петти, Адама Смита, Карла Маркса. Современные ученые-экономисты, такие как Р.М. Нуреев, Г. Беккер, дают расширенное теоретиче-

ское обоснование данной проблемы, а Д.В. Лии, С. Гоитц, Д. Ху, Д. Астерио, Г.М. Агиомиргианакис, И.Л. Гласер, И.Н. Вульф, П. Калаитзидакис, Т.П. Мамунеас, А. Саввидес, Т. Стэнгос, Т.К. Лин, К. Папагеогиу, Г. Ренис, Ф. Стюарт, А. Рамирес и др. дают практическое обоснование и имплементируют теоретические выкладки на реальные статистические данные. Именно на базе этих моделей и была сконструирована системная динамическая модель влияния образования на экономический рост стран.

Целью данной работы является построение системной динамической модели взаимозависимости факторов образования и экономического роста стран.

Задачи исследования:

- на основе эмпирических исследований построить теоретическую модель взаимозависимости факторов образования и экономического роста стран;
- используя модели регрессии оценить влияние выделенных факторов на экономический рост стран всего мира;
- провести тестирование моделей и остатков на адекватность.

Изложение основного материала. Оценивая сегмент образования в динамике системы экономического роста, необходимо выделить три фактора, оказывающие существенное влияние на динамику его изменения (см. рис. 1):

1. Уровень грамотности (представляет собой процент населения в возрасте старше 15 лет, которые могут читать и писать короткие простые предложения о своей повседневной жизни).

2. Уровень среднего и высшего образования:

- ожидаемое количество лет обучения (для детей) (количество лет обучения в школе для детей школьного возраста с учетом того, что возрастные коэффициенты охвата должны оставаться такими же на протяжении всей жизни ребенка);

- среднее количество лет обучения (для взрослых) (среднее количество лет обучения людей в возрасте старше 25 лет в течение своей жизни в соответствии с учетом достижений в сфере образования в стране, на основе теоретической продолжительности каждого уровня образования);

- охват образованием населения обоих полов (количество заявок на участие в данном уровне образования, независимо от возраста, выраженное в процентах от официальной численности населения школьного возраста на тот же уровень образования).

3. Государственное финансирование образования.

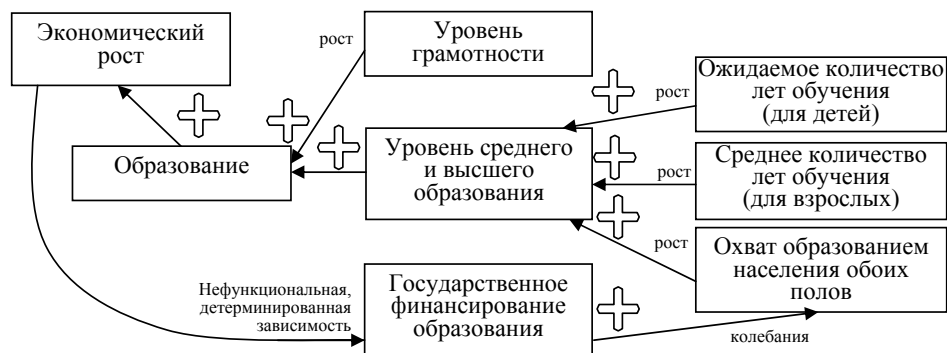


Рис. 1. Системная модель влияния показателей образования на экономический рост стран

Для анализа данных параметров использовались динамические ряды, охватывающие 30-летний временной горизонт и выборка из всех стран, имеющих на данный момент необходимые для анализа данные. В табл. 1 представлены результаты проведенного анализа. В столбце 1 приведены независимые переменные, выбранные согласно проведенному эмпирическому исследованию теоретических подходов относительно оценки влияния различных показателей на экономический рост в странах, а также на основе данных, представленных Программой развития Организации Объединенных Наций [1].

Таблица 1

Оценка влияния ряда независимых переменных сектора образования на экономический рост¹

Независимые переменные	t*	n*	r*	R ² *	p*	F*	Уравнения*	T1	T2	T3	T4
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Уровень грамотности взрослого населения обоих полов (% населения старше 15 лет)	2010	150/149	0,67	45%	0	0	$-2,84+2,62X_1$ $0,06*X_1^{2,62}$	Зимбабве	+	+	+
	2005	150/149	0,66	44%	0	0	$-2,51+2,52X_1$ $0,08*X_1^{2,52}$	Зимбабве	+	+	+
	2000	135	0,54	29%	0	0	$1,03+1,69X_1$ $2,8*X_1^{1,69}$	-	+	+	+
	1995	109/108	0,63	40%	0	0	$1,91+1,53X_1$ $6,72*X_1^{1,53}$	Зимбабве	+	+	+
	1990	98/97	0,68	46%	0	0	$1,65+1,61X_1$ $5,23*X_1^{1,61}$	Зимбабве	+	+	+
	1985	74/73	0,69	48%	0	0	$2,72+1,38X_1$ $15,15*X_1^{1,38}$	Зимбабве	+	+	+
	1980	64/63	0,74	55%	0	0	$2,85+1,36X_1$ $17,23*X_1^{1,36}$	Зимбабве	+	+	+
Ожидаемое количество лет обучения (для детей)	2010	179/175	0,78	61%	0	0	$0,37+3,45X_1$ $1,44*X_1^{3,45}$	Ангола, Зимбабве, Экваториальная Гвинея, Либерия	+	+	+
	2005	179/177	0,75	56%	0	0	$1,13+3,13X_1$ $3,09*X_1^{3,13}$	Либерия, Зимбабве	+	+	+
	2000	158/157	0,77	59%	0	0	$2,23+2,68X_1$ $9,31*X_1^{2,68}$	Зимбабве	+	+	+
	1995	151	0,78	61%	0	0	$3,18+2,34X_1$ $24,12*X_1^{2,34}$	-	+	+	+
	1990	144	0,77	59%	0	0	$3,9+2,09X_1$ $49,46*X_1^{2,09}$	-	+	+	+
	1985	122	0,72	52%	0	0	$4,25+1,94X_1$ $70,11*X_1^{1,94}$	-	+	+	+
	1980	109/108	0,69	48%	0	0	$4,86+1,72X_1$ $128,44*X_1^{1,72}$	Арабские Эмираты	+	+	+

*В таблице приведены округленные данные для простоты и наглядности анализа. При расчетах автором округления не проводились.

¹Рассчитано автором на основе официальных данных, представленных Программой развития Организации Объединенных Наций при расчете международного индекса развития человеческого потенциала [<http://hdr.undp.org/en/data/map/>]

Продолжение табл. 1

Независимые переменные	t*	n*	r*	R ² *	p*	F*	Уравнения*	T1	T2	T3	T4
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Среднее количество лет обучения (для взрослых)	2010	169/168	0,76	58%	0	0	$5,25+1,88X_1$ $190,5*X_1^{1,88}$	Зимбабве	+	+	+
	2005	169/168	0,75	56%	0	0	$5,31+1,84X_1$ $203,05*X_1^{1,84}$	Зимбабве	+	+	+
	2000	152/151	0,72	52%	0	0	$5,56+1,72X_1$ $260,6*X_1^{1,72}$	Зимбабве	+	+	+
	1995	140/139	0,70	49%	0	0	$5,86+1,56X_1$ $351,49*X_1^{1,56}$	Зимбабве	+	+	+
	1990	133/130	0,77	59%	0	0	$6,01+1,57X_1$ $408,43*X_1^{1,57}$	Йемен, Арабские Эмираты, Зимбабве	+	+	+
	1985	121/119	0,77	59%	0	0	$6,5+1,38X_1$ $661,76*X_1^{1,38}$	Арабские Эмираты, Зимбабве	+	+	+
	1980	113/112	0,77	59%	0	0	$7,01+1,2X_1$ $1107,27*X_1^{1,2}$	Зимбабве	+	+	+
Совокупный валовой коэффициент охвата образованием (обоих полов)	2010	177/175	0,78	61%	0	0	$-7,38+3,82X_1$ $0,0006*X_1^{3,82}$	Джибути, Зимбабве	+	+	+
	2005	178	0,77	59%	0	0	$-6,34+3,56X_1$ $0,0017*X_1^{3,56}$	-	+	+	+
	2000	161	0,74	55%	0	0	$-2,88+2,74X_1$ $0,056*X_1^{2,74}$	-	+	+	+
	1995	155	0,75	56%	0	0	$-1,59+2,46X_1$ $0,203*X_1^{2,46}$	-	+	+	+
	1990	148	0,74	55%	0	0	$-0,46+2,22X_1$ $0,633*X_1^{2,22}$	-	+	+	+
	1985	127	0,71	50%	0	0	$-0,26+2,18X_1$ $0,775*X_1^{2,18}$	-	+	+	+
	1980	117	0,68	46%	0	0	$1,19+1,85X_1$ $3,283*X_1^{1,85}$	-	+	+	+
Расходы на образование, % от ВВП	2008	59	-0,2	4%	14%	14%	$9,1-0,5X_1$				
	2007	90	0,22	5%	4%	4%	$8,23+0,62X_1$				
	2005	103	0,18	3%	7%	7%	$8,29+0,51X_1$				
	2000	116	0,20	4%	3%	3%	$7,87+0,55X_1$				
	1995	140	0,32	10%	0	0	$7,38+0,89X_1$				
	1990	144	0,32	10%	0	0	$7,43+0,85X_1$				
	1985	116	0,27	7%	0	0	$7,7+0,61X_1$				
	1980	111	0,08	1%	38%	38%	$8,26+0,2X_1$				

Первоначальный анализ диаграмм рассеивания показал невозможность использования линейных моделей для исходных данных, т.к. во всех случаях зависимость между показателями имела нелинейный характер, в большинстве случаев — экспоненциальный. Одним из подходов к исследованию такого рода данных является преобразование переменных посредством использования обратной ($1/X$), логарифмической ($\log(X)$, $\ln(X)$), квадратного корня (\sqrt{X}) или квадратной (X^2) функций [2, с. 283]. Для анализируемых данных наибольшее значение величины достоверности аппроксимации R^2 получалось при преобразовании данных при помощи логарифмической функции ($\ln(X)$). В соответствии с чем

уравнение, определяющее зависимость между независимыми переменными и зависимой – экономическим ростом, имеет вид:

$$\ln(Y) = f(\ln(X)) \quad (1)$$

Соответственно, для исходных данных возможно использование модели продукции Кобба–Дугласа, согласно которой можно оценить или спрогнозировать тенденции изменения объемов продукции в натуральном или денежном выражении:

$$\hat{Q} = \hat{b}_0 X_1^{\hat{b}_1} X_2^{\hat{b}_2}, \quad (2)$$

где \hat{Q} – экономический рост (ВВП на душу населения);

X_1, X_2 – факторы, влияющие на экономический рост;

$\hat{b}_0, \hat{b}_1, \hat{b}_2$ – расчетные параметры модели.

Согласно модели продукции Кобба–Дугласа для нахождения параметров $\hat{b}_0, \hat{b}_1, \hat{b}_2$ необходимо прологарифмировать зависимую и независимые переменные согласно формуле 1. Для однофакторной модели регрессии данная формула будет иметь вид:

$$Y = \hat{b}_0 + \hat{b}_1 \cdot X_1. \quad (3)$$

В результате вышеописанных итераций полученная степенная функция будет иметь следующий вид:

$$\hat{Q} = e^{\hat{b}_0} \cdot X_1^{\hat{b}_1}. \quad (4)$$

В табл. 1 вторым уравнением в столбце 8 представлены рассчитанные согласно формуле 4 функции.

В столбце 2 табл. 1 представлены выборочные периоды, за которые проводился анализ. Для релевантности оценок выбраны одинаковые 5-летние интервалы, начиная с 1980 года до 2010. В столбце 3 приводится количество в выборке стран на начало анализа и (через дробь) на конец и колеблется от 59 до 179. Количество стран в выборке определяется исключительно наличием статистических показателей на дату анализа. Четвертый столбец представляет многомерный коэффициент корреляции (множественный R), определяющий силу линейной зависимости, существующей между двумя переменными в случае с однофакторной моделью регрессии или характеризующий корреляцию между зависимой переменной Y и прогнозом \hat{Y} для многомерных моделей регрессии. В анализируемых данных все коэффициенты корреляции имеют положительный знак, что свидетельствует об однозначной положительной корреляционной зависимости. Т. е. в странах, где уровень образования ниже (ниже уровень грамотности), меньше количество лет обучения детей и взрослых, слабее охват образованием) экономический рост (ВВП на душу населения) ниже. Не столь однозначна ситуация с показателем, характеризующим расходы на образование, где в 2008 году коэффициент корреляции равен (-0,2). Для этого, пятого показателя коэффициенты корреляции колеблются в интервалах, близких к 0, что свидетельствует о слабой зависимости между переменными (расходами на образование и экономическим ростом). Для первых 4 переменных значения коэффициента корреляции в среднем находятся в пределах от 0,65 до 0,78, что говорит о достаточно сильной зависимости между переменными, в особенности учитывая тот факт, что анализируемые данные являются макроэкономическими показателями.

Коэффициент детерминации (R^2), рассчитанный в столбце 5, отражает долю изменчивости Y, которую можно объяснить с помощью анализа данных изменчивости (разнице значений) независимой переменной X. Для анализируемых данных, представленных в табл. 1 коэффициент детерминации для первых

четырёх независимых переменных в среднем колеблется около 50–55%, что позволяет говорить о том, что каждая независимая переменная в однофакторном линейном уравнении регрессии объясняет около 50% изменений зависимой переменной (экономического роста). А остальные 50% изменчивости экономического роста нельзя объяснить данной переменной. Для 5-й анализируемой независимой переменной – расходы на образование – коэффициент детерминации не превышает 10%, что является недостаточным для определения зависимости между переменными.

Шестой и седьмой столбцы – это р-значение и значимость F соответственно для данных уравнений регрессии, в соответствии с которыми на основании проверки гипотез проверяется некоторое утверждение о ней. Р-значение, рассчитываемое при проведении теста t-Стьюдента, представляет собой вероятность получить значение, не меньшее значения выборочной статистики, т. е. наименьшее значение уровня значимости критерия, для которого наблюдаемая в критерии статистика ведет к отказу от гипотезы H_0 . При этом выбранный уровень значимости определяется на уровне 5% (р-значение $\leq 5\%$) и гипотеза H_0 отвергается, если р-значение $\leq 5\%$. Выдвигаемая гипотеза H_0 при исследовании структурных параметров модели основывается на том, что параметр β_1 несущественно отличен от 0 и переменная X несущественно влияет на зависимую переменную Y.

Дисперсионный анализ, позволяющий определить при разложении общей вариации Y (SST) на объясненную (SSR) и необъясненную (SSE) части, используется для проверки значимости регрессии. В однофакторной линейной модели регрессии при наличии одной независимой переменной значение F эквивалентно двухстороннему t-критерию проверки гипотезы о равенстве нулю углового коэффициента. Соответственно значимость F равна р-значению. Для многомерных моделей регрессии F-критерий определяет значимость всех переменных X вместе взятых, т. е. при гипотезе H_0 все переменные или часть из них несущественно влияют на зависимую переменную Y, либо равны 0, а значимость F устанавливается на уровне 5% (значимость $F \leq 5\%$), т. е. при значимости $F \leq 5\%$, гипотеза H_0 отвергается. Для первых 4 независимых переменных р-значение и значимость F близки к 0, т. е. $\leq 5\%$, соответственно параметр β_1 является существенным при уровне достоверности в 5%. Для пятой независимой переменной (расходы на образование) р-значение и значимость F в некоторых случаях больше 5%, в соответствии с чем можно сделать вывод, что β_1 является несущественным при уровне достоверности в 5%.

В столбцах 9–12 представлен анализ остатков, проведенный с целью верификации принципов метода наименьших квадратов, используемого для построения модели регрессии. Верификация проводилась на основании остатков, полученных в результате построения эконометрической модели. При невыполнении условий параметры утрачивают некоторые особенности, что требует их перерасчета, использования другого метода расчета, либо изменения модели. Для верификации модели используются стандартные остатки определяемые как

$$e = \frac{Y - \hat{Y}}{S}$$
 В столбце 9 представлен первый тест верификации – тест «Кинг-

Конга», позволяющий определить, есть ли среди стандартных остатков отстающие (находящиеся за пределами [-3;3]). Согласно условиям этого теста, если количество отстающих менее 10% от выборки, их необходимо удалить из исходных данных. В столбце 9 представлены страны, которые были удалены из выборки в соответствии с этим тестом. Практически во всех выборках пришлось удалить Зимбабве из-за несоответствия статистических данных, а также в некоторых случаях отстающими в стандартных остатках были бурно развивающиеся нефтедобывающие страны. Но данные тенденции, скорее единичные слу-

чай, чем закономерность. Следующим тестом, представленным в столбце 10, был тест на нормальное распределение стандартных остатков, чаще всего проводимый в том случае, если выборка насчитывает менее 30 элементов. Проведенный анализ показал, что стандартные остатки первых четырех переменных во все временные периоды имеют нормальное распределение. Третий тест, представленный в столбце 11, позволил сделать вывод о независимости остатков, т. е. об отсутствии в стандартных остатках автокорреляции. Во всех случаях коэффициент автокорреляции был близким к 0, что свидетельствует о независимости данных в выборке. Четвертый тест – постоянства дисперсии остатков, или тест гомоскедастичности, представлен в 12 столбце. По всем четырем переменным за все анализируемые периоды разброс генеральной совокупности точек данных относительно регрессионной прямой остается постоянным везде вдоль этой прямой, т. е. стандартные остатки являются гомоскедастичными.

Особенностью всех уравнений, полученных в результате анализа, является увеличение угла наклона в течение 30 анализируемых лет, что свидетельствует о все более сильном расслоении общества. Например, рассматривая зависимость между уровнем грамотности и экономическим ростом, коэффициент β_1 увеличился с 1,36 в 1980 до 2,62 в 2010 году. Т. е. при изменении уровня грамотности на 1%, прирост ВВП составил 1,36 в 1980 г. и 2,62 в 2010 гг. Необходимо также отметить, что во всех моделях параметр \hat{b}_1 больше 1, что свидетельствует о высокой эластичности двух переменных, т.к. изменение любой из анализируемых переменных на 1 ед. вызывает рост больший, чем на 1 ед.

Выводы. Проведенный анализ статистических показателей позволил построить динамические системные модели и выявить зависимости между анализируемыми переменными. При этом существенное влияние, с точки зрения построенных регрессионных моделей и проведенных тестов, на экономический рост стран за последние 30 анализируемых лет (1980–2010 гг.) имеют показатели уровня грамотности, ожидаемого периода обучения для детей и взрослых, а также показатель совокупного охвата образованием. Существенной зависимости между расходами на образование, как в денежном эквиваленте, так и в процентном соотношении к ВВП на душу населения, не выявлено. Данный параметр будет учитываться как структурный. Требуют дальнейшего анализа внутренние взаимозависимости между показателями с построением внутрисистемных стохастических моделей.

Список использованной литературы

1. Официальный сайт. United Nations Development Program. – Электронный ресурс. Режим доступа: <http://www.undp.org/>
2. Ханк Д.Э. Бизнес-прогнозирование: пер. с англ. – 7-е изд. / Д.Э. Ханк, Д.У. Уичерн и А.Дж. Райтс. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2003.

Дане дослідження присвячено побудові системної динамічної моделі взаємозалежності факторів освіти та економічного зростання країн. На основі емпіричних досліджень створена теоретична модель взаємозалежності факторів освіти та економічного зростання країн. Використовуючи моделі регресії, оцінено вплив виділених факторів на економічне зростання, проведено тестування моделей і залишків на адекватність.

Ключові слова: економічне зростання, системна динаміка, економетричне моделювання, модель Кобба–Дугласа, грамотність, витрати на освіту, період навчання, охоплення освітою.

This research is devoted to constructing a system dynamic model of interdependent factors, education and economic growth of countries. Based on empirical research established a theoretical model of the interdependence of the factors of education and economic growth of countries. Using the regression model, the estimated impact of selected factors on economic growth, tested the models and the errors of the adequacy.

Key words: *economic growth, system dynamics, econometric modeling, Cobb-Douglas model, literacy, spending on education, average number of years of education, total enrolment.*

Надійшло до редакції 15.04.2011.