

Г. А. Хацкевич¹, Е. А. Чудинова²
Институт бизнеса БГУ, Минск, Беларусь,
¹khatskevich@sbmt.by, ²lenachudinova@mail.ru

ЭКОНОМЕТРИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНДИКАТОРОВ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Данная статья посвящена исследованию регрессионной зависимости основного показателя экономического развития (ВВП на душу населения по ППС) от ключевых факторов, влияющих на устойчивость макроэкономических процессов. Анализ и тестирование модели выполняется на базе специального эконометрического пакета gretl. Проводится системный анализ классического обоснования качества на основе выполнения предпосылок МНК, наличия коинтеграции между переменными, построения других индикаторов качества модели (MAPE, MAE, MPE). Проведена обработка индикаторов Республики Беларусь, используемых для эконометрического моделирования по ежегодным наблюдениям с 2012 по 2022 годы. Построенная зависимость может быть использована для прогноза сбалансированности экономики Республики Беларусь.

Ключевые слова: экономическая безопасность, эконометрическая модель, инновации, индикаторы экономической безопасности

G. Khatskevich¹, E. Chudinova²
School of Business of BSU, Minsk, Belarus
¹khatskevich@sbmt.by, ²lenachudinova@mail.ru

ECONOMETRIC MODELING OF ECONOMIC SECURITY INDICATORS OF THE REPUBLIC OF BELARUS

This article is devoted to the study of the regression dependence of the main indicator of economic development (GDP per capita by PPP) on key factors influencing the stability of macroeconomic processes. Model analysis and testing is performed using the special econometric package gretl. The systematic analysis of the classical justification of quality is carried out based on the fulfillment of OLS prerequisites, the presence of cointegration between variables, and the construction of other model quality indicators (MAPE, MAE, MPE). The indicators of the Republic of Belarus used for econometric modeling were processed based on annual observations from 2012 to 2022. The constructed dependence can be used to forecast the balance of the economy of the Republic of Belarus.

Keywords: economic security, econometric model, innovation, economic security indicators

В настоящее время вопрос экономической безопасности Республики Беларусь не только не теряет своей актуальности, но и получает больше внимания ввиду конъюнктурных изменений в различных сферах: нестабильная геополитическая обстановка, пандемия коронавируса и др. Данные перестроения привели к тому, что Концепция национальной безопасности от 9 ноября 2010 г., которая раскрывает вопрос экономической безопасности, требует изменений и обновлений. И как раз обновленная Концепция национальной безопасности будет утверждена на первом заседании VII Всебелорусского народного собрания 25 апреля 2024 г. [1]. Учитывая непрекращающуюся заинтересованность государства в обеспечении экономической безопасности, построение эконометрической модели индикаторов с целью определения и оценки факторов влияния поспособствует более грамотному руководству и контролю за данным процессом.

Так, эконометрическое моделирование базируется на переменных, которые в нашем случае будут представлять собой временные ряды. Более того, наиболее важным является вопрос определения эндогенной переменной для построения модели, которая как раз и должна раскрывать уровень экономической безопасности страны.

Для выбора переменных обратимся к Концепции национальной безопасности. Существующая Концепция определяет экономическую безопасность как «*состояние экономики, при котором гарантированно обеспечивается защищенность национальных интересов Республики Беларусь от внутренних и внешних угроз*» [2]. Данное определение не отражает, какую переменную стоит использовать как эндогенную, так как отсутствует конкретика, но стоит отметить, что это должен быть индикатор состояния экономики, характеризующий уровень экономического развития страны. Более того, в Концепции содержится информация о национальных интересах в экономической сфере, которыми являются экономический рост на основе инновационного развития, трансфер современных технологий и др. (п. 10, Глава 2). Также в Концепции присутствует информация и об индикаторах национальной безопасности, которые учтутся при выборе экзогенных факторов. Среди них стоит отметить долю в ВВП инвестиций в основной капитал, уровень инновационной активности промышленных предприятий, внутренние затраты на научные исследования и разработки, платежи по обслуживанию государственного долга к доходам республиканского бюджета и др. (п. 65, Глава 9).

Таким образом, в качестве эндогенной переменной было решено использовать универсальный показатель оценки экономического развития страны, сглаживающий как масштаб различных государств, так и сезонные, текущие конъюнктурные колебания «ВВП на душу населения по паритету покупательной способности (ППС)» в долларах (\$) – *gpd_per_capita* [3]. Следующие индикаторы были отобраны для формирования группы экзогенных переменных: доля инвестиций в ВВП (%) – *inv*, уровень безработицы (%) – *unemp_rate*, уровень инфляции (%) – *inf_rate*, внутренний государственный долг к ВВП (%) – *dom_pub_dept*, доля внутренних затрат на научные исследования и разработки (НИР) в ВВП (%) – *research_exp*, доля расходов на инновации, не связанные с НИОКР, в общем объеме отгруженной продукции (работ, услуг) (%) – *innov_exp*, доля занятости в наукоемких видах деятельности к общей занятости (на конец года) (%) – *employ_science*, доля экспорта средне- и высокотехнологичных товаров в общем объеме экспорта товаров (%) – *tech_products_export*. Регрессоры, начиная с *research_exp*, были выбраны ввиду значимости интеллектуального капитала в неоиндустриальную эпоху и формирования модели экономики «Беларусь Интеллектуальная» и ориентированность на инновационное развитие страны [4].

Как было отмечено ранее, модель будет строиться на рядах динамики каждого индикатора. Учитывая отсутствие месячных или квартальных данных, было решено использовать годовые наблюдения с 2012 по 2022 гг. включительно (т. е. 11 наблюдений). Сразу стоит отметить, что выборка является недостаточной для построения модели при 8 факторах, а также отсутствуют показатели за 2023 год, что вводит определенные ограничения на использование модели. Тем не менее результаты моделирования, приведенные в конце статьи, имеют место быть и могут быть использованы для определения формирования экономической безопасности.

Данные индикаторов были сформированы на основе данных Национального статистического комитета (беря во внимание также данные Европейского инновационного табло (EIS 2022)), Всемирного банка, Международного валютного фонда и Международной организации труда [5-8]. Построение модели проводилось в прикладном программном пакете *gretl* [9].

Для построения модели применялся метод наименьших квадратов (МНК), который позволяет оценить параметры модели путем минимизации суммы квадратов ошибок. Для получения оптимальных МНК-оценок необходимо соблюдать следующие условия:

- Отсутствие систематических ошибок: ошибки модели должны иметь среднее значение, равное нулю, чтобы исключить смещение оценок.
- Некоррелированность ошибок: ошибки измерений должны быть статистически независимы друг от друга, чтобы исключить автокорреляцию.
- Гомоскедастичность: дисперсии ошибок должны быть одинаковыми на протяжении всех наблюдений для обеспечения точности оценок.
- Отсутствие мультиколлинеарности: независимые переменные должны быть линейно независимы, чтобы избежать искажений оценок из-за высокой корреляции между предикторами.
- Нормальность распределения ошибок: ошибки должны быть распределены по нормальному закону с нулевым средним и постоянной дисперсией σ^2 , [10, стр. 151].

Однако ввиду построения модели на временных рядах необходимо сначала проверить, являются ли они коинтегрированными, где как раз ряд ошибок потенциальной модели, построенной на нестационарных рядах, будет являться стационарными.

Как раз для определения стационарности рядов были построены графики временных рядов (рис. 1).

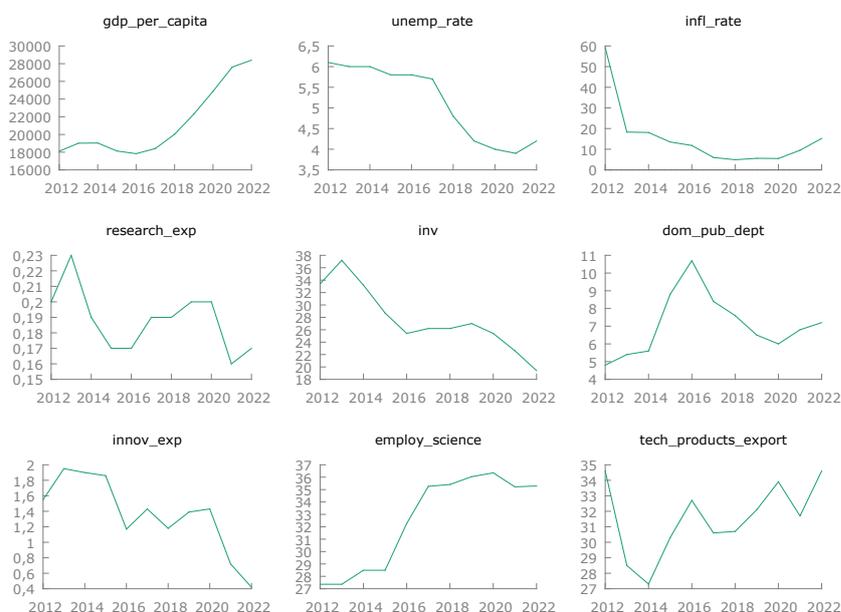


Рис. 1. Графики временных рядов

На рис. 1 можно наблюдать, что в большинстве рядов присутствует явный тренд (*gdp_per_capita*, *unmp_rate*, *inv*, *employ_science*, *innov_exp*, *tech_products_export*), однако если говорить про *research_exp*, то сложно определить его наличие. Таким образом, можно предположить о нестационарности процессов, за исключением переменной *research_exp*.

Так, с помощью теста интеграции Энгла–Грэнджера было получено, что как раз переменная *research_exp* является стационарной, в то время как оставшиеся 7 регрессоров и эндогенная переменная *gdp_per_capita* являются нестационарными. Если же говорить про характеристику ряда остатков (ошибок), то они являются стационарными на уровне значимости 5 % (*p*-значение равно 0, 013) для линейной регрессионной модели при 7 регрессорах.

Более того, были построены диаграммы рассеяния между переменной *gdp_per_capita* и регрессорами, так и между альтернативной эндогенной логарифмированной переменной

Таким образом, было построено множество моделей, включающих как 1 регрессор, так и несколько. Однако была выбрана модель, где как раз учитывается влияние инновационного развития и коэффициенты которой соотносятся с влиянием факторов на исходный *gdp_per_capita*. Отчет модели представлен на рис. 4.

Модель 10: МНК, использованы наблюдения 2012-2022 (T = 11)
Зависимая переменная: *l_gdp_per_capita*

	коэффициент	ст. ошибка	t-статистика	p-значение	
const	10,8747	0,152274	71,41	2,78e-011	***
<i>infl_rate</i>	-0,00489712	0,00173627	-2,820	0,0258	**
<i>dom_pub_dept</i>	-0,0629535	0,0156474	-4,023	0,0050	***
<i>innov_exp</i>	-0,297150	0,0509704	-5,830	0,0006	***
Среднее завис. перемен	9,949580	Ст. откл. завис. перемен	0,175278		
Сумма кв. остатков	0,038715	Ст. ошибка модели	0,074369		
R-квадрат	0,873983	Исправ. R-квадрат	0,819976		
F(3, 7)	16,18274	P-значение (F)	0,001571		
Лог. правдоподобие	15,46346	Крит. Акаике	-22,92693		
Крит. Шварца	-21,33535	Крит. Хеннана-Куинна	-23,93020		
параметр rho	0,311327	Стат. Дарбина-Уотсона	1,359579		

обратите внимание на сокращенные обозначения статистики

Рис.4. Отчет финальной множественной логарифмически-линейной модели

На основе отчета можно получить следующее уравнение регрессии:

$$\ln(gdp_per_capita) = 10,87 - 0,0049 \times infl_rate - 0,063 \times dom_pub_dept - 0,297 \times innov_exp$$

Так, в данной модели все коэффициенты являются значимыми на уровне 5%. Если говорить про адекватность, оцениваемой через коэффициент детерминации, то полученное значение 0,87 указывает на достаточно высокую объясняющую способность модели. Значимость модели в целом подтверждается P-значением по Фишеру (P-значение (F)), равным 0,0015.

Как отмечалось ранее, для обеспечения несмещенности, эффективности и состоятельности оценок необходимо проверить остатки на отсутствие автокорреляции и гетероскедастичности и нормальное распределение и убедиться в отсутствии мультиколлинеарности.

С помощью метода инфляционных факторов было отмечено, что мультиколлинеарность отсутствует, так как значения VIF меньше 5 (рис. 5).

Метод инфляционных факторов
Минимальное возможное значение = 1.0
Значения > 10.0 могут указывать на наличие мультиколлинеарности

<i>infl_rate</i>	1,296
<i>dom_pub_dept</i>	1,323
<i>innov_exp</i>	1,079

Рис.5. Отчет проверки на мультиколлинеарность

Далее проверим нашу модель на верность спецификации, т. е. на линейность исходной зависимости (рис. 6).

Тест на нелинейность (квадраты) -
 Нулевая гипотеза: зависимость линейна
 Тестовая статистика: LM = 3,29206
 p -значение = $P(\text{Chi-квadrat}(3) > 3,29206) = 0,348749$

Тест на нелинейность (логарифмы) -
 Нулевая гипотеза: зависимость линейна
 Тестовая статистика: LM = 1,9731
 p -значение = $P(\text{Chi-квadrat}(3) > 1,9731) = 0,578009$

Рис. 6. Отчет проверки на линейность модели.

На рис. 6 наблюдаем, что нулевая гипотеза о правильности исходной спецификации должна быть принята, так как p -значения тестов больше 0,05 и равны 0,35 и 0,58 соответственно.

Далее перейдем к проверке остатков на автокорреляцию: так, был применен тест Бройша – Годфри (рис. 7).

Тест Бройша-Годфри (Breusch-Godfrey) на автокорреляцию первого порядка
 МНК, использованы наблюдения 2012-2022 (T = 11)
 Зависимая переменная: uhat

	коэффициент	ст. ошибка	t-статистика	p-значение
const	0,0474295	0,156980	0,3021	0,7727
infl_rate	-0,000932246	0,00192456	-0,4844	0,6453
dom_pub_dept	-0,00950211	0,0178302	-0,5329	0,6132
innov_exp	0,0260459	0,0559536	0,4655	0,6580
uhat_1	0,531628	0,495106	1,074	0,3242

Неисправленный R-квадрат = 0,161188

Тестовая статистика: LMF = 1,152973,
 p -значение = $P(F(1,6) > 1,15297) = 0,324$

Альтернативная статистика: $TR^2 = 1,773067$,
 p -значение = $P(\text{Chi-квadrat}(1) > 1,77307) = 0,183$

Ljung-Box $Q' = 1,31458$,
 p -значение = $P(\text{Chi-квadrat}(1) > 1,31458) = 0,252$

Рис. 7. Отчет проверки на автокорреляцию остатков

Согласно результатам теста, необходимо принять гипотезу об отсутствии автокорреляции остатков, так как p -значения тестовых статистик больше 0,05.

Если же говорить про гетероскедастичность остатков, то она была проверена с помощью теста Вайта, Бройша-Пэгана (рис. 8).

Тест Вайта (White) на гетероскедастичность -
 Нулевая гипотеза: гетероскедастичность отсутствует
 Тестовая статистика: LM = 9,37583
 p -значение = $P(\text{Chi-квadrat}(9) > 9,37583) = 0,403329$

Тест Вайта (White) на гетероскедастичность (только квадраты) -
 Нулевая гипотеза: гетероскедастичность отсутствует
 Тестовая статистика: LM = 6,77682
 p -значение = $P(\text{Chi-квadrat}(6) > 6,77682) = 0,341981$

Тест Бройша-Пэгана (Breusch-Pagan) на гетероскедастичность -
 Нулевая гипотеза: гетероскедастичность отсутствует
 Тестовая статистика: LM = 1,66864
 p -значение = $P(\text{Chi-квadrat}(3) > 1,66864) = 0,643927$

Тест Бройша-Пэгана (Breusch-Pagan) на гетероскедастичность (робастный вариант) -
 Нулевая гипотеза: гетероскедастичность отсутствует
 Тестовая статистика: LM = 1,99361
 p -значение = $P(\text{Chi-квadrat}(3) > 1,99361) = 0,573733$

Рис. 8. Отчет проверки на гетероскедастичность остатков.

Результаты тестов показывают отсутствие гетероскедастичности, что является показателем эффективности оценок регрессии.

Нормальность остатков также подтверждается с помощью теста Дурника Хансена и гистограммы остатков (рис. 9).

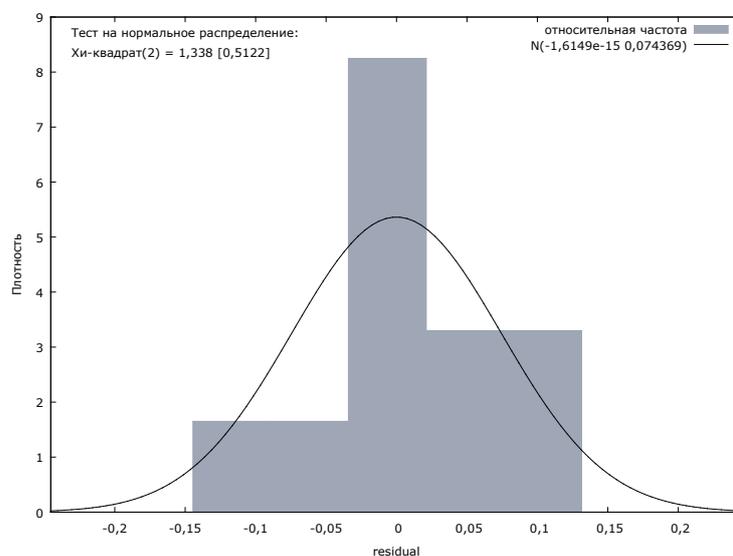


Рис.9. Проверка на нормальное распределение остатков

Также качество прогноза было оценено с помощью различных коэффициентов (рис. 10).

Средняя ошибка (ME)	-1,6149e-015
Корень из средней квадратичной ошибки (RMSE)	0,059326
Средняя абсолютная ошибка (MAE)	0,045779
Средняя процентная ошибка (MPE)	-0,003482
Средняя абсолютная процентная ошибка (MAPE)	0,46031
U-статистика Тейла (Theil's U)	0,89975

Рис.10. Проверка качества прогноза

На рис. 10 наблюдаем, что значение MAPE (средняя абсолютная процентная ошибка) равно 0,46 %, что меньше 8 %, что говорит о высоком качестве прогноза. Более того, значение средних абсолютной и процентной ошибок MAE и MPE близки к 0, что также показывает высокое качество модели.

Таким образом, исходя из общей значимости модели, статистической значимости ее коэффициентов, высокого качества модели и выполнения всех условий метода наименьших квадратов (МНК), данная модель представляет собой надежный инструмент для прогнозирования и оценки влияния факторов на экономическую безопасность, определяемую индикатором «ВВП на душу населения по ППС», а ее коэффициенты могут быть разъяснены таким образом: с увеличением уровня инфляции на 1 % значение ВВП на душу населения по ППС увеличивается в среднем на 0,49 % при прочих равных условиях, в то же время увеличение доли внутреннего государственно долга к ВВП на 1 % ведет к уменьшению эндогенной переменной на 6,3 %. Если же говорить про долю расходов на инновации, не связанные с НИОКР, в общем объеме отгруженной продукции, то здесь наблюдается логически неожиданный результат, но в то же время рациональный, исходя из графического анализа зависимости между этим показателем и ВВП на душу населения по ППС: его увеличение на 1 % при прочих равных условиях обеспечивает уменьшение эндогенной переменной на 25,7 %. Данное явление

может объясняться тем, что влияние инноваций на экономику проявляется с некоторым запаздыванием, а действие их положительного влияния сопряжено с определенным временным лагом.

Список использованных источников

1. Бузин, Н. Что включает в себя обновленная Концепция национальной безопасности [Электронный ресурс] / Н. Бузин // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – Режим доступа: <https://pravo.by/novosti/obshchestvenno-politicheskie-i-v-oblasti-prava/2024/january/76557/>. – Дата доступа: 03.03.2024.
2. Об утверждении Концепции национальной безопасности Республики Беларусь [Электронный ресурс] : Указ Президента Респ. Беларусь, 9 янв. 2010 г., № 575 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – Режим доступа: <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=r31000575>. – Дата доступа: 05.03.2024.
3. Рейтинг стран по ВВП на душу населения (ППС) [Электронный ресурс] // Информационный портал NoNews. – Режим доступа: <https://nonews.co/directory/lists/countries/gdp-per-capita-ppp>. – Дата доступа: 10.03.2024.
4. СТРАТЕГИЯ «НАУКА И ТЕХНОЛОГИИ: 2018–2040» [Электронный ресурс] : постановление Президиума Нац. акад. наук Беларуси, 26 февр. 2018 г., № 17 // Нац. акад. наук Беларуси. – Режим доступа: https://nasb.gov.by/congress2/strategy_2018-2040.pdf. – Дата доступа: 17.03.2024.
5. Национальный статистический комитет Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://belstat.gov.by/>. – Дата доступа: 18.03.2024.
6. Belarus [Электронный ресурс] // International Monetary Fund. – Режим доступа: <https://www.imf.org/en/Countries/BLR>. – Дата доступа: 20.03.2024.
7. International Labour Organization [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ilo-stat.ilo.org/data/>. – Дата доступа: 20.03.2024.
8. GDP per capita, PPP (current international \$) – Belarus [Электронный ресурс] // World Bank Group Data. – Режим доступа: <https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.PCAP.PP.CD?locale=ru&locations=RU>. – Дата доступа: 21.03.2024.
9. Gnu Regression, Econometrics and Time-series Library [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://gretl.sourceforge.net/index.html>. – Дата доступа: 23.03.2024.
10. Хацкевич, Г. А. Эконометрика : учебник / Г. А. Хацкевич, Т. В. Русилко. – Минск : РИВШ, 2021. – 452 с.