

Математическое моделирование взаимодействия курсов валют Беларуси и Украины

Л.Н. МАРЧЕНКО¹, В.В. ПОДГОРНАЯ², О.В. ЗАХАРОВА³

Работа посвящена разработке эконометрических моделей взаимодействия курсов резервных мировых валют доллара США и Евро по отношению к национальным валютам Беларуси и Украины. В рамках разработанных моделей выявлены направления причинно-следственных связей курсов валют, получены соотношения в виде коинтеграционных векторов регрессии, позволяющие оценить количественные характеристики воздействия одной валюты на другую. Использование векторных моделей и механизма коррекции ошибок позволило определить отклик курса одной валюты на шоковое изменение другой.

Ключевые слова: эконометрические модели, валютный курс, причинно-следственная связь, коинтеграция.

The paper is devoted to econometric models of the reserve world currencies of the US dollar and the Euro exchange rates in relation to the national currencies of Belarus and Ukraine. The directions of the cause-and-effect relationships of the rates were revealed, the relationships were obtained in the form of coordinated regression vectors, that allow to assess quantitative characteristics of the impact of one currency on another within the framework of the developed models. Using vector models and an error correction mechanism allowed to determine the response of the rate of one currency to a shock change in another.

Keywords: econometric models, exchange rate, cause-and-effect relationship, cointegration.

Введение. Развитие экономических отношений между Беларусью и Украиной должно основываться на четком понимании закономерностей и тенденций изменения основных экономических индикаторов стран и, в первую очередь, динамики курсов национальных валют, на которые существенным образом влияют как внешние, так и внутренние факторы. Динамику курсов доллара США и Евро к национальным валютам можно считать визуальным инструментом анализа развития экономики страны. Актуальность возникает из того, что торгово-экономические отношения между Беларусью и Украиной включают в себя расчеты в долларах США и в Евро. Поэтому требуется анализ поведения курсов резервных мировых валют доллара США и Евро к национальным валютам, а также исследование их взаимодействия и взаимосвязи.

Исследованиям динамики доллара США по отношению к белорусскому рублю посвящен ряд научных работ. Так, в работе [1] дана оценка поведению равновесного валютного курса белорусского рубля, выделены факторы, влияющие на изменение курса и объясняющие его динамику. Математическому моделированию взаимодействия курса доллара США по отношению к белорусскому рублю, украинской гривне и российскому рублю посвящена работа [2], где построены векторные модели авторегрессии курсов по историческим данным 2001–2006 гг. с целью краткосрочного прогнозирования, показана зависимость между курсами. Следует заметить, что в рассматриваемых работах не полно раскрыты причинно-следственные связи между курсами, что подчеркивает актуальность более глубокого анализа динамики взаимосвязи курсов доллара США и Евро к национальным валютам для принятия правильных управленческих решений по торговым сделкам, что позволит повысить социально-экономическую эффективность торговых отношений для каждой страны.

Поэтому целью исследования в данной работе был выбран анализ взаимодействия курсов резервных мировых валют доллара США и Евро по отношению к национальным валютам рассматриваемых стран за период 2013–2021 гг. Для достижения данной цели была выдвинута следующая гипотеза: имеет место причинно-следственная связь между курсами резервных мировых валют доллара США и Евро по отношению к национальным валютам Беларуси и Украины в периоды 2013–2021 гг.

Основная часть. Исследование основано на статистических данных Национальных банков Беларуси и Украины [3], [4]. Информационной базой послужили первичные ежедневные курсы Национальных банков Беларуси и Украины валют EUR/BYN, EUR/UAH, USD/BYN, USD/UAH, состоящие их 3 229 наблюдений по каждой валюте. Данные представляют собой временные ряды, составленные из ежедневных значений стоимостей доллара США и Евро в каждой стране. В Беларуси 01.07.2016 г. была проведена деноминация белорусского рубля (1:10000), поэтому все значения курса USD/BYN представлены в денежных единицах после деноминации. Временные ряды курсов были преобразованы в логарифмические LN_EUR/BYN, LN_EUR/UAH, LN_USD/BYN и LN_USD/UAH по формуле $\ln(x_t)$, где x_t – значение временного ряда. Преобразование сохраняет вид тенденции временного ряда, при этом позволяет расположить все значения в пределах одного диапазона. Аппроксимацией темпов роста рассматриваемых временных рядов являются первые разности логарифмов, определяемых по формуле $\ln(x_t / x_{t-1}) = \ln(x_t) - \ln(x_{t-1})$. Обозначим временные ряды темпов DLN_EUR/BYN, DLN_EUR/UAH, DLN_USD/BYN и DLN_USD/UAH соответственно.

В прикладных исследованиях для проверки временных рядов на стационарность и единичный корень используется расширенный тест Дики-Фуллера (ADF-test) и тест Филлипса-Перроном (PP-test). Оценка линейной взаимосвязи осуществляется на основе коэффициента парной корреляции Пирсона. Причинно-следственная связь временных рядов устанавливается с помощью теста Грэнджера (Granger Causality Test). Тестирование временных рядов на коинтеграцию осуществляется на основе подхода Йохансана (Johansen) [5]–[9].

Рассматриваемым курсам присущи временные тренды со схожими траекториями (рисунок 1), что отражает предположение о наличии сильной линейной корреляции между курсами. Высокие значения парных коэффициентов корреляции ($R_{LN_USD/BYN, LN_USD/UAH} = 0.95$, $R_{LN_EUR/BYN, LN_EUR/UAH} = 0.95$, $p < 0,05$) объясняются нестационарностью исходных временных рядов.

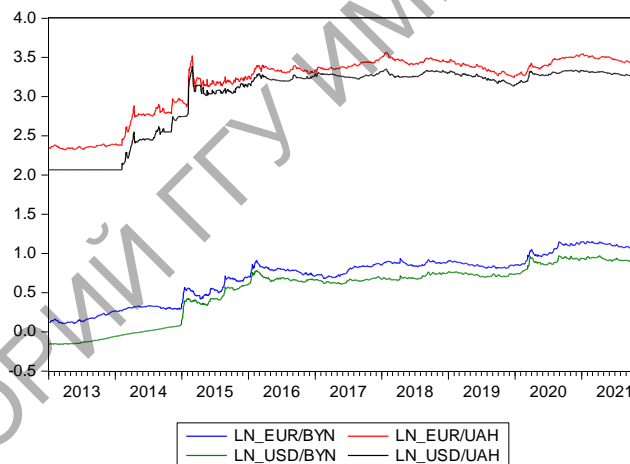


Рисунок 1 – Динамика курсов резервных валют доллар США и Евро по отношению к белорусскому рублю и украинской гривне за период 2013–2021 гг.

Наибольшей колеблемостью в рассматриваемом периоде обладает LN_USD/UAH, для которого коэффициент вариации равен 64,12 %, в то время как LN_USD/BYN этот коэффициент равен 14,29 %, то есть колеблемость LN_USD/UAH в 4,4 раза превышает LN_USD/BYN. Колеблемость курсов Евро к национальным валютам также существенно отличается: 42,29 % для LN_EUR/BYN и 11,75 % для LN_EUR/UAH.

Темпы роста анализируемых курсов характеризуются постоянным колебанием около средних значений, что позволяет предположить стационарность рядов (рисунок 2). Можно выделить кластеры высокой волатильности в период 2014–2016 гг. и в 2020 г. Амплитуда темпов роста Евро по отношению к национальным валютам была выше, чем доллара США до 2015 г. Причем темпы роста курса USD/UAH в период 2014–2015 гг. были значительно выше, чем у USD/BYN, максимальное значение амплитуды колебаний для доллара США составило 25 % против 7 % и 25 % против 6 % для EUR/UAH и EUR/BYN соответственно.

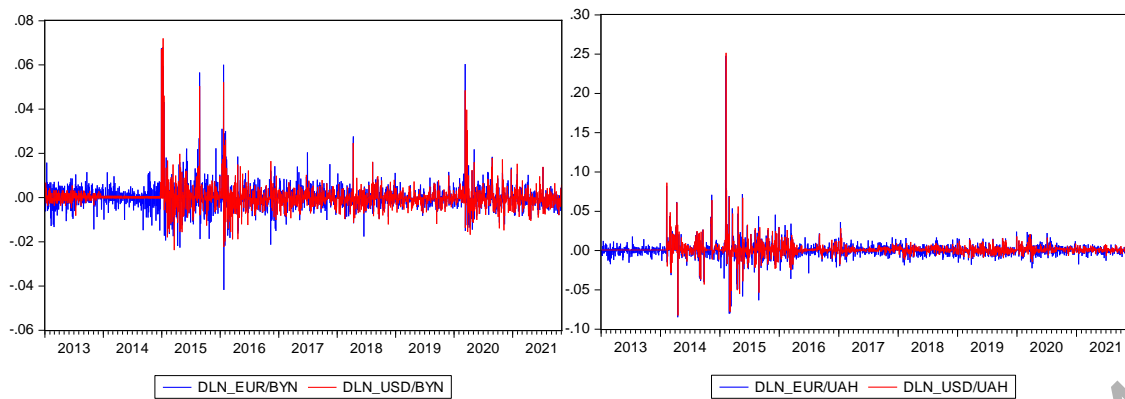


Рисунок 2 – Темпы роста курсов резервных валют доллар США и Евро по отношению к белорусскому рублю и украинской гривне за период 2013-2021 гг.

Между темпами роста курсов имеет место значимая слабая линейная корреляция ($R_{DLN_USD/BYN, DLN_USD/UAH} = 0.05$, $R_{DLN_EUR/BYN, DLN_EUR/UAH} = 0.15$, $p < 0,05$), что объясняется влиянием на темп роста курсов внутренних экономических факторов.

Долгосрочные причинно-следственные связи между курсами LN_USD/BYN и LN_USD/UAH, а также LN_EUR/BYN и LN_EUR/UAH исследовались с помощью теста Грэнджера на 5 % уровне значимости. Выдвигались нулевые гипотезы «LN_USD/BYN не влияет на LN_USD/UAH» и «LN_USD/UAH не влияет на LN_USD/BYN». Аналогично для курсов LN_EUR/BYN и LN_EUR/UAH. Интерпретация полученных результатов представле-

Таблица 1 – Причинно-следственные связи между курсами ($p < 0,05$)

Нулевая гипотеза	Лаг
LN_USD/BYN \rightarrow LN_USD/UAH	3
LN_USD/UAH \leftrightarrow LN_USD/BYN	10
LN_EUR/BYN \rightarrow LN_EUR/UAH	14
LN_EUR/BYN \leftrightarrow LN_EUR/UAH	16

на в таблице 1. Здесь указан минимальный лаг, при котором нулевая гипотеза отклоняется. Знак « \rightarrow » означает одностороннее влияние курсов, знак « \leftrightarrow » говорит о взаимном влиянии курсов.

Изменение курса LN_USD/BYN в момент времени t оказывает влияние на LN_USD/UAH в течение последующих $t + 3$ дней, курс LN_USD/BYN оказывает

влияние на LN_EUR/UAH в течение последующих $t + 14$ дней. Динамическое взаимодействие курсов происходит для доллара США в течение 10 дней, для Евро – 16 дней.

Для анализа долговременных связей между курсами используем коинтеграционный тест Йохансана (Johansen). Необходимым условием коинтеграционного анализа является, что рассматриваемые временные ряды курсов валют являются интегрированными 1-го порядка, то есть исходные временные ряды нестационарны, а их первые разности являются стационарными. Проверку стационарности проведем с помощью расширенного теста Дики-Фуллера (ADF-test) и теста Филлипса-Перроном (PP-test). Результаты ADF и PP-тестов для рассматриваемых временных рядов курсов приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Проверка стационарности курсов

Курс	ADF-test	p-value	PP-test	p-value
LN_USD/UAH	-2,2189	0,1996	-2,2305	0,1955
LN_USD/BYN	-1,7956	0,3831	-1,8834	0,3404
LN_EUR/UAH	-2,19434	0,2085	-2,1721	0,2168
LN_EUR/BYN	-1,5479	0,5092	-1,6361	0,4639
DLN_USD/UAH	-23,2510	0,0000	-49,679	0,0001
DLN_USD/BYN	-14,749	0,0000	-55,017	0,0001
DLN_EUR/UAH	-2,1721	0,2168	-51,665	0,0001
DLN_EUR/BYN	-14,931	0,0000	-55,563	0,0001

На 5 %-м уровне значимости имеем, что временные ряды LN_USD/UAH, LN_USD/BYN, LN_EUR/UAH, LN_EUR/BYN являются нестационарными на уровнях, и стационарными в первых разностях, то есть интегрированными 1-го порядка, $I(1)$.

Оценку долгосрочных связей между курсами доллара США по отношению к национальным валютам LN_USD/UAH и LN_USD/BYN, а

также Евро по отношению к национальным валютам LN_EUR/BYN и LN_EUR/UAH проведем с помощью подхода Йохансана. Данный подход предполагает, что нестационарные временные ряды образуют в линейной комбинации временной ряд, который будет стационарным.

С помощью теста Йохансана на 5 % уровне значимости на основе статистик λ_{trace} и λ_{max} для рассматриваемых курсов было установлено, что существует по одному коинтеграционному вектору для каждой пары курсов доллара США и Евро по отношению к национальным валютам (таблица 3). При этом для курсов LN_USD/BYN и LN_USD/UAH константа и тренд отсутствуют и в коинтеграционном векторе, и в векторной авторегрессии. Для курсов LN_EUR/BYN и LN_EUR/UAH тренд и константа включены в коинтеграционный вектор и в векторную авторегрессию. По значениям тестовых статистик λ_{trace} , λ_{max} и их p -value заключаем, что для рассматриваемых валютных пар есть по одному коинтеграционному вектору. Коинтеграционные векторы характеризуют статистически значимые долгосрочные связи между рассматриваемыми курсами.

Таблица 3 – Результаты теста Йохансана

Направление связи	Нулевая гипотеза	λ_{trace}	λ_{max}	Коэффициент обратной связи
LN_USD/BYN → LN_USD/UAH	$r = 0$	12,0500 $p = 0,055$	12,0319 $p = 0,0360$	- 0,0006
	$r \leq 1$	0,0180 $p = 0,9127$	0,0180 $p = 0,9127$	
LN_EUR/BYN → LN_EUR/UAH	$r = 0$	19,8565 $p = 0,0311$	18,1985 $p = 0,0351$	- 0,0011
	$r \leq 1$	1,6580 $p = 0,1979$	1,6580 $p = 0,1979$	

Коинтеграционные векторы имеют вид:

$$Z_t = \text{LN_USD/BYN} - 0,2736 \text{ LN_USD/UAH},$$

$$Z_t = \text{LN_EUR/BYN} - 0,4576 \text{ LN_EUR/UAH} - 0,0001 t + 0,9977.$$

Таким образом, в рассмотренном периоде рост курса при LN_USD/UAH на 1 % приводит к увеличению курса LN_USD/BYN на 0,27 %. А при изменении LN_EUR/UAH на 1 % имеет место изменение LN_EUR/BYN на 0,45 %.

Анализ лаговой структуры рассматриваемых валютных пар показал, что векторная модель коррекции ошибок валютной пары LN_USD/BYN и LN_USD/UAH содержит 10 лагов, а LN_EUR/BYN и LN_EUR/UAH – 16 лагов.

Векторная модель коррекции ошибок валютной пары LN_USD/BYN и LN_USD/UAH имеет вид:

$$\begin{aligned} \text{DLN_USD/BYN} = & 0,1096 \text{ DLN_USD/BYN}_{-1} + 0,1211 \text{ DLN_USD/BYN}_{-3} + \\ & + 0,0470 \text{ DLN_USD/BYN}_{-5} + 0,0687 \text{ DLN_USD/BYN}_{-6} + 0,1131 \text{ DLN_USD.BYN}_{-7} - \\ & - 0,0962 \text{ DLN_USD/BYN}_{-8} + 0,0491 \text{ DLN_USD/BYN}_{-9} + 0,0418 \text{ DLN_USD/BYN}_{-10} + \\ & + 0,0238 \text{ DLN_USD/UAH}_{-2} - 0,0275 \text{ DLN_USD/UAH}_{-9}, \\ \text{DLN_USD/UAH} = & 0,1586 \text{ DLN_USD_UAH}_{-1} + 0,0374 \text{ DLN_USD/UAH}_{-2} + 0,0631 \\ & + \text{DLN_USD/UAH}_{-3} + 0,0586 \text{ DLN_USD/UAH}_{-4} + 0,0520 \text{ DLN_USD_UAH}_{-7} - \\ & - 0,0298 \text{ DLN_USD/UAH}_{-8} - 0,0695 \text{ DLN_USD/BYN}_{-2} + 0,1029 \text{ DLN_USD/BYN}_{-7}. \end{aligned}$$

Коэффициент обратной связи равен $\alpha = -0,0006$, $p = 0,0031$, имеет правильный знак и значим. Он характеризует скорость корректировки курса LN_USD/BYN при отклонении от долгосрочной траектории, обусловленной динамикой курса LN_USD/UAH. В обратную сторону коэффициент обратной связи не значим.

Векторная модель коррекции ошибок валютной пары LN_EUR/BYN и LN_EUR/UAH с учетом времени t имеет вид:

$$\begin{aligned}
 \text{DLN_EUR_BYN} &= 0,0670 \text{DLN_EUR/BYN}_{-1} + 0,0868 \text{DLN_EUR/BYN}_{-3} + \\
 &+ 0,0637 \text{DLN_EUR/BYN}_{-6} + 0,1062 \text{DLN_EUR/BYN}_{-7} - 0,0438 \text{DLN_EUR/BYN}_{-8} + \\
 &+ 0,0412 \text{DLN_EUR/BYN}_{-10} + 0,0723 \text{DLN_EUR/BYN}_{-11} + 0,0551 \text{DLN_EUR/BYN}_{-14} \\
 &+ 0,0030 \text{DLN_EUR/UAH}_{-8} + 0,0241 \text{DLN_EUR/UAH}_{-10} - 0,0242 \text{DLN_EUR/UAH}_{-11} - \\
 &0,0235 \text{D(LN_EUR/UAH}_{-15} + 0,0003 + 0,00000001 t, \\
 \text{DLN_EUR/UAH} &= 0,1135 \text{DLN_EUR/UAH}_{-1} + 0,0566 \text{DLN_EUR/UAH}_{-2} + \\
 &+ 0,0582 \text{DLN_EUR/UAH}_{-3} + 0,0556 \text{DLN_EUR/UAH}_{-4} - 0,1274 \text{DLN_EUR/BYN}_{-13} + \\
 &0,0002 + 0,00000002 t.
 \end{aligned}$$

Здесь коэффициент обратной связи равен $\alpha = -0,0011$, $p = 0,0472$, также имеет правильный знак и значим. Но скорость корректировки курса LN_EUR /BYN при отклонении от долгосрочной траектории, обусловленной динамикой курса LN_EUR /UAH, меньше, чем для предыдущей пары валют.

Остатки моделей протестированы на нормальность, гетероскедастичность и автокорреляцию. Во всех моделях наблюдается гетероскедастичность, обусловленная кластерами высокой волатильности рассматриваемых курсов.

Исследуем эффекты единичных импульсов USD/UAH и EUR/UAH на USD/BYN и EUR/BYN соответственно. На рисунке 3 представлены реакции LN_USD/BYN и LN_EUR/BYN на шоковые воздействия LN_USD/UAH и LN_EUR/UAH.

Единичный импульс LN_USD/UAH оказывает устойчивое воздействие на LN_USD/BYN 3–4 дня, аналогично, как и LN_EUR/UAH на LN_EUR /BYN. Данный срок является периодом для корректировки отклонения курсов от равновесной траектории.

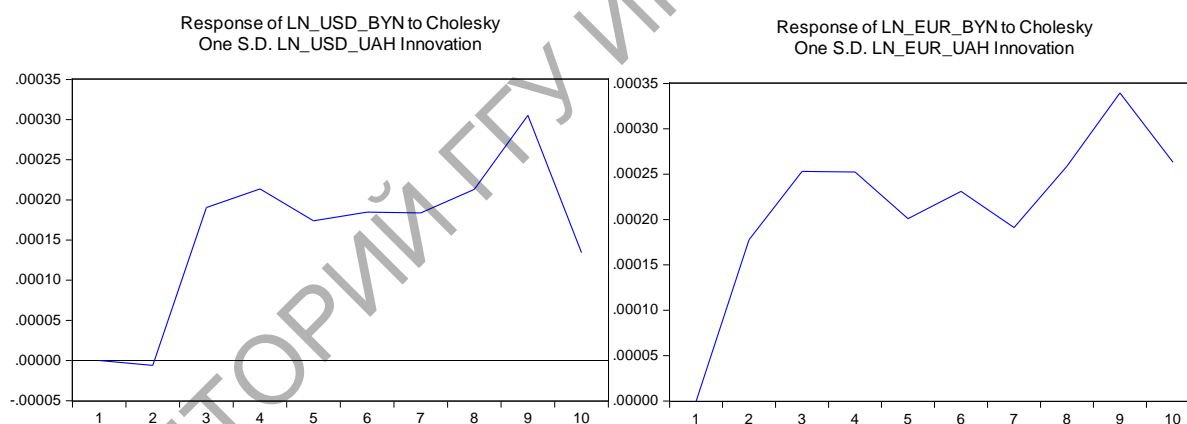


Рисунок 3 – Отклики LN_USD/BYN и LN_EUR /BYN на изменения LN_USD/UAH и LN_EUR/UAH

Таким образом, по историческим данным 2013–2021 гг. получены оценки долгосрочного и краткосрочного взаимодействия валютных курсов в рассматриваемом периоде. Построенные модели допускают прогнозирование на краткосрочный период времени.

Заключение. В результате проведенных исследований получены следующие новые результаты. Выявлены направления причинно-следственных связей курсов резервных мировых валют доллара США и Евро по отношению к национальным валютам Беларуси и Украины за период 2013–2021 гг. Установлено, что временные ряды валютных курсов являются интегрированными 1-го порядка. Построены векторные модели коррекции ошибок для валютных курсов. Все параметры долгосрочной связи являются статистически значимыми на 5 %-м уровне. Исследовано воздействие импульсов на курсы.

Исследование может быть расширено за счет включения анализа факторов, влияющих на изменения курсов валют и расширения перечня стран, для которых проводятся расчеты.

Литература

1. Мирончик, Н. Л. Модели поведенческого равновесного обменного курса белорусского рубля / Н. Л. Мирончик, П. В. Банцевич // Банкаўскі веснік. Тэматычны выпуск. – 2015. – Исследования банка № 8. – 35 с.
2. Панкратов, А. П. Математическое моделирование интеграции валютных рынков стран СНГ / А. П. Панкратов // Известия вузов. Северо-кавказский регион. Технические науки. – 2007. – № 1. – С. 36–40.
3. Национальный банк Украины [Электронный режим]. – Режим доступа : <https://bank.gov.ua/>. – Дата доступа : 02.11.2021.
4. Национальный банк Республики Беларусь [Электронный режим]. – Режим доступа : <https://www.nbrb.by>. – Дата доступа : 02.11.2021.
5. Kozhan, R. Financial econometrics – with EViews / R. Kozhan. – Ventus Publishing ApS, 2010. – 119 p.
6. Verbeek, M. A guide to modern econometrics / M. Verbeek. – John Wiley and Sons, 2010. – P. 231.
7. Айвазян, С. А. Эконометрика. Краткий курс : учеб. пособ. / С. А. Айвазян, С. С. Иванова. – М. : Маркет ДС, 2010. – 104 с.
8. Доугерти, К. Введение в эконометрику : учебник / К. Доугерти ; пер. с англ. О. О. Замков. – 2-е изд. – М. : ИНФРА-М, 2007. – 432 с.
9. Магнус, Я. Р. Эконометрика. Начальный курс : учебник / Я. Р. Магнус, П. К. Катыхев, А. А. Пересецкий. – 7-е изд., исправленное. – М. : ДЕЛЮ, 2005. – 504 с.

¹Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины

²Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого НАН Беларуси

³Черкасский государственный технологический университет

Поступила в редакцию 06.09.2021