

# **КРАТКОСРОЧНОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ИНФЛЯЦИИ В БЕЛОРУССКОЙ ЭКОНОМИКЕ НА ОСНОВЕ МОДЕЛЕЙ СМЕШАННОЙ ЧАСТОТЫ**

**В. И. Малюгин**

*Белорусский государственный университет, Минск*  
E-mail: Malugin@bsu.by

В статье представляются результаты применения моделей MIDAS по данным смешанной частоты для краткосрочного прогнозирования индекса потребительских цен белорусской экономики в квартальном и месячном представлении на основе ежедневных обменных курсов белорусского рубля по отношению к российскому рублю и доллару США. Предлагаемые модели основываются на предположении о существовании для белорусской экономики «эффекта переноса обменного курса на инфляцию». Сравнительный анализ прогностических способностей моделей MIDAS с лучшими моделями авторегрессии с распределенными лагами ARDL по агрегированным высокочастотным экзогенным переменным указывают в целом на более высокую точность прогнозов моделей MIDAS. Обсуждается возможность использования моделей MIDAS для построения текущих прогнозов в режиме «наукастинга».

## **SHORT-TERM FORECASTING OF INFLATION IN THE ECONOMY OF BELARUS BASED ON MIXED FREQUENCY MODELS**

**V. I. Malugin**

The paper presents the results of applying MIDAS models based on mixed frequency data for short-term forecasting of the consumer price index of the Belarusian economy in quarterly and monthly views based on daily exchange rates of the Belarusian ruble against the Russian ruble and the US dollar. The proposed models are based on the assumption of the existence of an “exchange rate pass-through effect to inflation” for the Belarusian economy. Comparative analysis of the predictive abilities of the MIDAS models with the best autoregressive models with distributed lags ARDL on aggregated high-frequency exogenous variables indicate generally higher forecast accuracy of the MIDAS models. The possibility of using MIDAS models to build current forecasts in the “nowcasting” mode is discussed.

### **Актуальность моделей по данным разной частоты**

Как известно, значительная часть используемых в макроэкономических предиктивных моделях показателей формируются статистическими органами в квартальном представлении. В то же время, многие потенциально полезные предикторы являются доступными из различных источников с более высокой частотой, например, ежемесячно, ежедневно или еще чаще на финансовых рынках. Традиционные подходы к построению эконометрических моделей требуют приведения всех используемых в моделях показателей к одному интервалу с самой низкой частотой наблюдения. В силу доминирования квартальных данных в макроэкономических исследованиях большое распространение получили квартал-

ные модели и основанные на них системы моделей среднесрочного прогнозирования. В случае данных смешанной частоты имеется несколько вариантов построения традиционных эконометрических моделей.

*Первый вариант* – это агрегирование высокочастотных экзогенных переменных (предикторов) к интервалу наблюдения низкочастотной эндогенной переменной, что позволяет использовать традиционные модели по данным одинаковой частоты. Для целей краткосрочного прогнозирования это могут быть модели авторегрессии и авторегрессии-скользящего среднего с экзогенными переменными (ARX, ARMAX) или модели авторегрессии с распределенными лагами по экзогенным переменным (*autoregressive distributed lag* – ARDL).

Модели ARDL представляют собой линейные по параметрам динамические модели, в которых эндогенные и экзогенные переменные включают как одномоментные, так и лаговые значения. Это позволяет учитывать влияние динамики предикторов на временном интервале, предшествующем прогнозному периоду. Для фиксированной лаговой структуры, т.е. для заданных значений порядков лагов зависимой и независимых переменных модель ARDL, как и модель ARS, может быть оценена с помощью линейного метода наименьших квадратов (*Least Squares* – LS). Однако, реализованные в эконометрических пакетах процедуры построения позволяют проводить автоматическую оптимизацию модели ARDL по числу лагов для заданного целевого показателя качества модели, в качестве которого, как правило, предлагается использовать информационные статистики Акаике, Шварца, Хеннана – Куинна. Для всесторонней оценки адекватности и корректировки модели приводятся полные результаты ее оценивания и тестирования адекватности.

В построенных таким образом моделях ARDL «с конечным распределением лагов», имеющим фиксированный порядок лагов, возможны такие недостатки, как мультиколлинеарность лаговых переменных и большое число параметров при недостаточной для оценивания модели длине временных рядов. Причем эти недостатки усугубляются при использовании двух и более экзогенных переменных. Альтернативой в указанных случаях могут быть малопараметрические представления моделей ARDL с определенными ограничениями на лаговую структуру в виде *моделей распределенных лагов*.

Для всех указанных выше типов моделей на основе агрегированных высокочастотных экзогенных переменных (предикторов) существует общий недостаток: агрегирование, приводит к потере информации о динамике предикторов внутри низкочастотного интервала наблюдения, которая может быть полезна при краткосрочном или текущем прогнозировании (наукастинге) эндогенной переменной.

*Второй вариант* теоретически допускает формальное включение в модели ARX или ARDL с конечным распределением лагов переменных с различной частотой. Например, в квартальной модели с месячным предиктором лаги предиктора, соответствующие первому, второму и третьему месяцу в квартале могут рассматриваться как отдельные переменные. Очевидно, такие модели в случае большого числа экзогенных переменных и их лагов могут иметь указанные выше

недостатки и быть «неприменимы на практике при недостаточном объеме данных. Так, в моделях для месячных и квартальных показателей по ежедневным данным (например, обменных курсов) число лагов экзогенных переменных теоретически может достигать значений 22 и 66 по числу рабочих дней в месяце и квартале соответственно. Объем имеющихся данных в таких случаях может быть не достаточен для оценивания моделей. Очевидно, еще большее число параметров будет при использовании внутрисдневных данных, поступающих с финансовых рынков (например, курсов и доходностей акций).

В связи с этим возникают следующие вопросы:

1) как использовать в эконометрических моделях макроэкономических показателей смешанные данные, регистрируемые с различной частотой, чтобы при этом модели были достаточно «экономичными» по числу параметров и исключали эффекты мультиколлинеарности факторов;

2) может ли использование высокочастотных предикторов повысить точность прогнозов показателей, наблюдаемых с более низкой частотой.

Ответ на первый вопрос впервые был дан сравнительно недавно в работах [1, 2] предложивших *модель регрессии по данным смешанной частоты (Mixed Data Sampling – MIDAS)*. Данная модель допускает включение одной и более экзогенных переменных с более высокой одинаковой либо разной частотой наблюдения. Так, например, в модели для прогнозируемого квартального показателя могут присутствовать месячные и/или ежедневные экзогенные переменные. Как и все регрессионные модели, модели MIDAS предполагают стационарность используемых временных рядов, что требует приведение исходных нестационарных временных рядов со стохастическими трендами к стационарному виду с помощью взятия разностей или перехода к темпам роста или прироста временных рядов за рассматриваемый интервал наблюдения временного ряда [3].

В основе метода построения модели MIDAS лежит использование для описания динамики высокочастотных переменных малопараметрических представлений, получаемых с помощью различных способов вычисления весовых (лаговых) коэффициентов. Наиболее часто для этих целей применяются *модели распределенных лагов Алмона: модели полиномиально распределенных лагов (polynomial distributed lags – PDL weighting models) и модели экспоненциально распределенных лагов (exponential Almon lags models)* [4].

Для выбранной спецификации модели распределенных лагов и заданного максимального числа лагов при оценивании и оптимизации модели MIDAS определяется оптимальное число лагов для каждой высокочастотной переменной и находятся оптимальные значения весовых коэффициентов для различных лагов. В качестве целевой функций для выбора лучшей модели используются статистика суммы квадратов остатков и стандартный набор информационных статистик, характеризующих точность аппроксимации наблюдаемого временного ряда эндогенной переменной и «экономичность» построенной модели по числу параметров. Для итоговой модели приводятся значения всех указанных статистик. Справочно сообщаются значения всех статистик регрессионного анализа и результатов применения тестов статистической значимости оценок параметров

модели и анализа остатков. Последняя информация не учитывается при выборе оптимальной модели, но может использоваться далее для «ручной корректировки» модели по некоторым априорно задаваемым параметрам модели MIDAS с целью достижения лучших статистических свойств.

### **Цель и задачи исследования**

В центре внимания данного исследования находятся актуальные применения моделей MIDAS связанные с решением следующих задач:

- краткосрочное «вневыборочное» (*out of sample*) прогнозирование низкочастотной эндогенной переменной на основе высокочастотных экзогенных переменных;
- построение текущих (оперативных) прогнозов или «наукастинг» (*nowcasting*) низкочастотной эндогенной переменной в текущем временном интервале на основе поступающих в реальном времени значений высокочастотных экзогенных переменных [5].

Модели регрессии MIDAS допускают включение любого числа экзогенных переменных (включая фиктивные переменные) с той же частотой, что и у эндогенной переменной наряду с высокочастотными предикторами. Однако, включение таких переменных может ограничить возможности целевого использования данных моделей в задачах краткосрочного прогнозирования и наукастинга в связи с необходимостью задания значений предикторов в прогнозном периоде. С другой стороны, в краткосрочной перспективе многие макроэкономические показатели демонстрируют достаточно высокую инерционность, что позволяет минимизировать состав экзогенных переменных. В то же время, внешние шоковые воздействия в течение прогнозного периода могут на ранних стадиях проявиться в высокочастотных данных и быть учтены в краткосрочных и текущих оперативных прогнозах на основе моделей MIDAS.

Сравнительный анализ прогностических способностей моделей MIDAS и традиционных моделей ARX и ARDL по агрегированным высокочастотным экзогенным переменным во многих исследованиях на реальных данных указывают на более высокую точность прогнозов на основе моделей MIDAS (Forni, Marcellino, 2013).

Критическим фактором эффективной работы моделей MIDAS является наличие у включаемых в модель высокочастотных предикторов тесной экономически обоснованной связи с эндогенной переменной, а также свойств «опережающих индикаторов» (*leading indicators*). Для формирования набора эффективных предикторов на широком множестве потенциально полезных показателей с смешанной частотой наблюдения и природой происхождения (экономические и финансовые переменные, индикаторы по опросным данным, индикаторы по новостным данным) широко используются алгоритмы машинного обучения и анализа больших данных.

Как отмечалось выше, различные применения моделей MIDAS в задачах краткосрочного и текущего прогнозирования (наукастинга) свидетельствуют о том, что они позволяют повысить точность краткосрочных прогнозов по сравнению с альтернативными моделями по данным одинаковой частоты. В связи с

этим представляет практический интерес оценка эффективности моделей MIDAS для прогнозирования белорусских макроэкономических показателей.

### **Экономическое обоснование моделей**

В данном докладе представляются результаты исследования возможности применения моделей MIDAS для краткосрочного и текущего прогнозирования индекса потребительских цен (ИПЦ) с использованием ежедневных обменных курсов белорусского рубля по отношению к российскому рублю и доллару США.

Предлагаемые модели основываются на теоретическом предположении о существовании для белорусской экономики так называемого «эффекта переноса обменного курса на инфляцию» (*exchange rate pass-through effect to inflation*), имеющего место в рамках гипотезы «паритета покупательской способности». Проблеме тестирования «эффекта переноса обменного курса на инфляцию» для белорусской экономики придается большое значение и уделяется большое внимание в исследованиях белорусских авторов [7, 8].

Основной задачей исследования было установление тесной статистической взаимосвязи между ИПЦ в месячном и квартальном выражении и ежедневными обменными курсами белорусского рубля. В пользу существования «эффекта переноса» в определенные временные интервалы может свидетельствовать высокая точность прогнозов месячных и квартальных моделей MIDAS по ежедневным данным.

В методическом плане решалась также задача сравнительного анализа точности прогнозов рассматриваемых индексов цен на основе моделей MIDAS по данным смешанной частоты и лучших в классе альтернативных моделей ARX и ARDL по данным одинаковой частоты. Целью сравнительного анализа моделей являлось установление преимущества моделей MIDAS в точности краткосрочных и текущих прогнозов.

В докладе приводятся результаты построения и сравнительного анализа точности краткосрочных индекса общей инфляции (ИПЦ) для двух типов месячных и квартальных моделей инфляции на основе ежедневных обменных курсов белорусского рубля по отношению к валютам трех основных торговых партнеров в рассматриваемый период времени: России, ЕС и США, где последний партнер аппроксимирует весь остальной мир.

К числу указанных моделей относятся:

- модели ARDL (иди ARX) по данным одинаковой месячной либо квартальной частоты;
- модели MIDAS по смешанным данным: месячным, квартальным и дневным.

В месячных и квартальных моделях ARDL использовались агрегированные значения ежедневных обменных курсов на соответствующих интервалах наблюдения индексов цен, а в моделях MIDAS – ежедневные значения обменных курсов.

Для обеспечения стационарности в рамках задачи краткосрочного прогнозирования для всех временных рядов использовались представления в виде цепных индексов в процентах для сезонно-скорректированных временных рядов

ИПЦ CPI\_SA: «месяц к месяцу», «квартал к кварталу». Для обменных курсов валют использовался индекс «день ко дню» в процентах.

С учетом имеющихся структурных изменений на всем интервале наблюдения с 01.01.2003 по 0.1.07.2023 тестирование стационарности всех временных и рядов проводилось с помощью теста единичного корня BPUR (*Break point unit root test*) [3], допускающего структурные изменения. В качестве максимального периода оценивания модели использовался временной интервал: январь 2015 – август 2023 гг. Краткосрочные прогнозы строились на 1 квартал для квартальных и на 3 месяца вперед для месячных моделей. Построение текущих прогнозов на основе моделей MIDAS осуществлялось в первом за периодом оценивания месяце или квартале по ежедневным значениям обменных курсов.

### **Результаты краткосрочного прогнозирования ИПЦ**

В таблице 1 приводятся результаты сравнительного анализа точности прогнозов на основе лучших построенных моделей в классе моделей ARDL и MIDAS для месячного ряда ИПЦ. Все используемые модели удовлетворяют тестам статистической значимости оценок параметров и автокорреляции остатков.

Для целей анализа точности краткосрочных прогнозов рассматриваемых индексов CPI\_SA\_QQ, а на 1 квартал и CPI\_SA\_QQ на 3 месяца все модели строились на заданном максимальном периоде оценивания и поквартально для 1-го и 2-го кварталов 2023 года.

В моделях MIDAS использовались индексы обменных курсов белорусского рубля по отношению к доллару USD\_BYN\_MM и российскому рублю RUR\_BYN\_MM для установленных оптимальных значений порядков полиномиальных лагов Алмона: для квартальной модели – 8 и 9 лагов, а для месячной – 10 и 16 лагов соответственно. В итоговых моделях MIDAS индекс обменного курса белорусского рубля по отношению к евро EUR\_BYN\_MM не входил по причине высокой положительной корреляции с USD\_BYN\_MM.

Оптимальная месячная модель ARDL включает только экзогенную переменную USD\_BYN\_MM и имеет вид

$$\text{CPI\_SA\_MM} = 0.5414\text{CPI\_SA\_MM}(-1) + 0.1930*\text{CPI\_SA\_MM}(-2) + 0.1326\text{USD\_BYN\_MM} - 0.02825\text{USD\_BYN\_MM}(-1) + 16.1416.$$

Оценки точности краткосрочных прогнозов на основе месячных моделей представлены в таблице 1. В рамках квартальной модели ARDL для индекса CPI\_SA\_QQ влияние обоих обменных курсов оказалось статистически не значимым. В таблице 2 приводятся результаты оценки точности прогнозов CPI\_SA\_QQ на основе модели MIDAS и лучшей модели в классе ARDL в виде модели AR(3) с фиктивной переменной для первого квартала. 2023 года.

Таблица 1

**Анализ точности краткосрочных прогнозов на основе месячных моделей**

Временные интервалы оценивания модели и прогнозирования					
Период оценивания	2015m1- 2023m8	2015m1- 2022m12	2015m1- 2023m3	2015m1- 2023m6	2015m1- 2023m7
Прогнозный период	2015m1- 2023m8	2022m12- 2023m3	2023m4- 2023m6	2023m7 2023m7	2023m8 2023m8
Характеристики	Модели				
	Модель MIDAS по ежедневным обменным курсам				
RMSE	0.4497	0.1629	0.1567	0.09890	1.0556
MAPE	0.3358	0.1421	0.1468	0.09825	1.0500
RSS	17.2788	17.2261	17.2788	17.3533	17.3629
AIQ	1.2656	1.2988	1.2657	1.2350	1.2241
	Модель ARDL по агрегированным обменным курсам				
RMSE	0.5763	0.5723	0.3471	0.1798	0.5236
MAPE	0.4346	0.4269	0.3342	0.1785	0.5209
RSS	19.8711	19.5144	19.6331	19.8405	19.8711
AIQ	1.3308	1.3934	1.3641	1.3404	1.3308

*Примечание.* Здесь и далее: RMSE – среднеквадратическая ошибка, MAPE – средняя относительная ошибка прогноза в %, RSS – сумма квадратов остатков, AIC – статистика информационного критерия Акаике.

Таблица 2

**Анализ точности краткосрочных прогнозов на основе квартальной модели MIDAS**

Временные интервалы оценивания модели и прогнозирования			
Период оценивания	2015q1 2023q1	2015q1 2022q4	2015q1 2023q1
Прогнозный период	2015q1 2023q1	2022q4 2023q1	2023q1 2023q2
Характеристики	Модели		
	Модель MIDAS по ежедневным обменным курсам		
RMSE	0.6923	0.6153	0.9949
MAPE	0.5606	0.5030	0.9909
RSS	12.0451	12.0283	12.0451
AIQ	2.4087	2.4572	2.4086
	Модель AR(3) без обменных курсов		
RMSE	0.8102	0.8619	0.4131
MAPE	0.6570	0.8043	0.3366
RSS	16.6560	16.2061	16.6560
AIQ	2.6282	2.6472	2.6228

**Заключение.** Полученные результаты в целом подтверждают тесную взаимосвязь между темпами роста ИПЦ в месячном и квартальном выражении с ежедневными темпами роста обменного курса белорусского рубля по отношению к российскому рублю и американскому доллару в течение практически всего рассматриваемого периода времени.

В то же время имеют место существенные расхождения прогнозов с известными значениями ИПЦ для августа и второго квартала 2023 года. Можно предположить, что в сложившихся в данный период времени условий произошло

нарушение «эффекта переноса обменных курсов на инфляцию» не подтверждается. Представляет интерес проведение дальнейших исследований по мере поступления новых данных.

С учетом временной задержки поступления официальных значений от статистических органов, важным достоинством моделей MIDAS по данным смешанной частоты является более раннее получение достаточно точных прогнозов темпов роста ИПЦ в месячном и квартальном представлении в день окончания текущего месяца или квартала.

С использованием более поздней модификации модели MIDAS [7] возможно получение текущих прогнозов в режиме наукастинга с использованием доступных к текущему моменту (дню) значений высокочастотных экзогенных переменных.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ghysels E., Santa-Clara P., Valkanov R.* The MIDAS touch: Mixed data sampling regression models // Working paper. UNC and UCLA. 2002. 48 pp.
2. *Ghysels E., Sinko A., Valkanov R.* Midas regressions: Further results and new directions, *Econometric Reviews*. 2006. Vol. 26. P. 53-90.
3. *Харин Ю. С., Малюгин В. И., Харин А. Ю.* Эконометрическое моделирование. Минск : БГУ, 2003. 318 с.
4. *Almon S.* The distributed lag between capital appropriations and net expenditures // *Econometrica*. 1965. Vol. 33. P. 178-196.
5. *Andreou E., Ghysels E., Kourtellos A.*, Regression models with mixed sampling frequencies // *Journal of Econometrics*. 2010. Vol. 158. P. 246-261.
6. *Froni C., Marcellino M.* A Survey of econometric methods for mixed frequency data // Working Paper. Norges Bank. 2013. No 06. P.1-42.
7. *Мирончик Н. К., Профатилов С. А.* О влиянии обменного курса на инфляцию // *Банковский вестник*. 2015. № 10 (627). С. 28-34.
8. *Картун А. М., Харитончик А. С.* Эффект переноса обменного курса на инфляцию в Республике Беларусь и оценка его изменений // *Банковский вестник*. 2016. № 9 (638). С. 3-11.