

ISSN 2523-4714

УДК 339.18

А. А. Вашило, Е. А. Чудинова

Институт бизнеса БГУ, Минск, Беларусь

**ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛЕЙ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЭКСПОРТА
ГРУЗОВЫХ ТРАНСПОРТНЫХ УСЛУГ**

В данной статье рассмотрено построение моделей прогнозирования экспорта грузовых транспортных услуг в Республике Беларусь. Проведен анализ временного ряда экспорта грузовых транспортных услуг в Беларуси. Выполнены тест Дикки – Фуллера (расширенный ADF-тест), ADF-GLS тест и KPSS-тест. Построено несколько видов зависимости экспорта грузовых услуг от времени: линейная, полулогарифмическая (логарифмическо-линейная и линейно-логарифмическая), степенные с мультипликативной и аддитивной ошибками, полиномиальная модели. Выбор наилучших моделей проводился на основе нормированного коэффициента детерминации, критериев Акаике и Хеннана – Куинна, а также стандартной ошибки модели. Построены модели авторегрессии и скользящего среднего (ARIMA), а также протестирована и сезонная модель ARIMA (SARIMA).

Ключевые слова: *грузовые транспортные услуги, экспорт, модели прогнозирования, Республика Беларусь, расширенный тест Дикки – Фуллера, ADF-GLS-тест, KPSS-тест, критерий Акаике, критерий Хеннана – Куинна*

Для цитирования: Вашило, А. А. Построение моделей прогнозирования экспорта грузовых транспортных услуг / А. А. Вашило, Е. А. Чудинова // Бизнес. Инновации. Экономика : сб. науч. ст. / Ин-т бизнеса БГУ. – Минск, 2023. – Вып. 8. – С. 129–137.

H. Vashchyla, E. Chudinova

School of Business of BSU, Minsk, Belarus

**CONSTRUCTION OF FORECAST MODELS FOR EXPORT
OF FREIGHT TRANSPORT SERVICES**

This article discusses the construction of forecasting models for the export of freight transport services in the Republic of Belarus. An analysis of the temporary range of exports of freight transport services to Belarus was carried out. The Dickey – Fuller test (extended ADF test), ADF-GLS test and KPSS test were performed. Several types of dependence of export of freight services on time were built: linear, semi-logarithmic (logarithmic-linear and linear-logarithmic), power with multiplicative and additive errors, polynomial models. The best models were selected based on the normalized coefficient of determination, the Akaike and Hennen – Quinn criteria, and the standard model error. Autoregression and moving average (ARIMA) models were built, and the seasonal ARIMA model (SARIMA) was also tested.

Keywords: *freight transport services, export, prediction models, Republic of Belarus, the expanded Dickie – Fuller test, ADF-GLS test, KPSS test, Akaike criterion, Hennen – Quinn test*

For citation: Vashchyla H., Chudinova E. Construction of forecast models for export of freight transport services. *Biznes. Innovatsii. Ekonomika = Business. Innovations. Economics*. Minsk, 2023, iss. 8, pp. 129–137 (in Russian).

Введение

Выгодное экономико-географическое положение Республики Беларусь обуславливает необходимость в активном развитии экспорта грузовых транспортных услуг в стране. В свою очередь, экспорт грузовых транспортных услуг является важной составляющей обеспечения экономической безопасности Республики Беларусь, которая необходима для эффективного товарообмена на международных рынках и формирования положительного сальдо внешней торговли нацио-

нальной экономики. Разработка моделей прогнозирования экспорта грузовых транспортных услуг необходима для планирования экономических процессов на уровне национальной экономики, проведения экономической политики и обеспечения экономической безопасности государства.

Цели и задачи

Для результативного управления и грамотной разработки мер по развитию экспорта грузовых транспортных услуг необходимо провести анализ их показателей для последующего построения моделей прогноза.

В рамках исследования было решено рассмотреть показатели грузового экспорта транспортно-логистических услуг как в целом, так и в разрезе по видам — железнодорожный, автомобильный, воздушный, трубопроводный, морской транспорт. Данные будут являться одномерными временными рядами, представляющими собой последовательность из 88 ежеквартальных значений показателей с 2000 по 2021 г. (включительно), полученных из Платежного баланса за 2000–2021 гг. в соответствии с 6-м изданием Руководства по платежному балансу и международной инвестиционной позиции [1]. Для построения моделей был использован прикладной программный пакет Gretl.

Методы

Начнем с анализа временного ряда экспорта грузовых транспортных услуг. График временного ряда представлен на рис. 1.

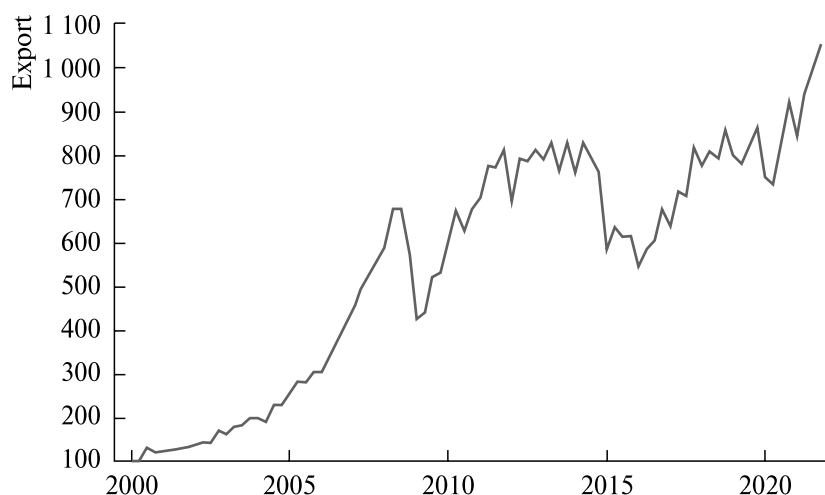


Рис. 1. График экспорта грузовых транспортных услуг в Беларуси за 2000–2021 гг., млн долл. США

И с т о ч н и к: разработано авторами на основе [1].

Fig. 1. Schedule of export of freight transport services in Belarus for 2000–2021, USD million

S o u r c e: author's developed on the basis of [1].

Так, по графику можно наблюдать возрастающий тренд на протяжении исследуемого периода, однако также видны отрицательные скачки в I квартале 2009 г. (–176 млн долл. США по сравнению с IV кварталом 2008 г.), что обусловлено началом мирового экономического кризиса. Также резкий скачок наблюдался в I квартале 2015 г. в связи с валютно-финансовым кризисом Республики Беларусь.

Таким образом, визуальная оценка свидетельствует о нестационарности исходного ряда, но более показательными являются тесты единичного корня: расширенный тест Дикки – Фуллера (расширенный ADF-тест), ADF-GLS тест и KPSS-тест [2].

Так, при проведении тестов выбирались лаги 1 и 4 (при потенциальной сезонности), в результате всеми тестами было подтверждено наличие единичного корня (ADF и ADF-GLS) на уровне значимости 0,01, а также была отвергнута нулевая гипотеза о стационарности ряда (как обычно-го, так и с трендом сезонности) тестом KPSS на уровне значимости 0,01.

Таким образом, было решено начать с построения моделей с трендом (time) с последующей оценкой остатков на стационарность: если остатки модели (residuals) будут стационарными, тогда можно будет говорить об исходном ряде как о модели с детерминированным трендом.

Были построены несколько видов зависимости экспорта грузовых услуг от времени: линейная, полулогарифмическая (логарифмическо-линейная и линейно-логарифмическая), степенные с мультипликативной и аддитивной ошибками, полиномиальная. Выбор наилучших моделей проводился на основе значимостей коэффициентов на уровне 0,01, нормированного коэффициента детерминации (Adj. R²), критериев Акаике и Хеннана – Куинна, а также стандартной ошибки модели [3]. Для сравнения в табл. 1 было решено внести лишь те модели, где все коэффициенты, включая константу, являются значимыми на вышеобозначенном уровне.

Таблица 1

Модели прогнозирования

Table 1

Prediction models

Вид и уравнение модели	Adj. R ²	Критерий Акаике	Критерий Хеннана – Куинна	Стандартная ошибка модели
Линейная: $export = 127 + 9,55 \cdot time$				
0,83	1 080,97	1 082,97	111,24	
Линейно-логарифмическая: $export = -344 + 255 \cdot \ln(time)$				
0,77	1 107,09	1 109,09	129,04	
Степенная с аддитивной ошибкой: $export = 44,52 \cdot time^{0,676673}$	0,86	1 065,47	1 067,46	101,86
Степенная с мультипликативной ошибкой: $export = 41,65 \cdot time^{0,684725}$	0,87	-0,07	1,92	0,24

Источники: разработано авторами.

Source: author's developed.

Так, была выбрана модель с мультипликативной ошибкой вида $export = 41,65 \cdot time^{0,684725}$ с нормальным распределением остатков, проверенных с помощью критерия Харке – Берра и Q-Q-графика, также с помощью проведения тестов на единичный корень ряд остатков был проверен на стационарность: результаты свидетельствует о стационарности [4].

Аналогичным путем были построены модели с детерминированным трендом для экспорта белорусских грузовых железнодорожных (train), автомобильных (auto), воздушных (air), трубопроводных (pipeline) транспортных услуг.

Получены следующие модели с нормированным коэффициентом детерминации выше:

1) $train = 13,65 \cdot time^{0,634677}$ (Adj. R² = 0,84) – степенная модель с мультипликативной ошибкой;

2) $auto = 2,25 \cdot time^{1,15224}$ (Adj. R² = 0,92) – степенная модель с аддитивной ошибкой;

3) $\ln(air) = 0,654 + 0,0244 \cdot time$ (Adj. R² = 0,81) – линейно-логарифмическая модель;

4) $pipeline = 63,3 - 5,41 \cdot time + 0,532 \cdot time^2 - 0,00985 \cdot time^3 + 5,22e - 05 \cdot time^4$ (Adj. R² = 0,93) – полиномиальная модель 4 степени.

Так, остатки у данных моделей являются нормальными и стационарными, поэтому они могут быть применены для прогнозирования.

Ввиду изначальной нестационарности временных рядов показателей было решено построить модели авторегрессии и скользящего среднего (ARIMA), а также тестировать и сезонную ARIMA (SARIMA) [5; 6].

Так, алгоритм построения модели ARIMA будет следующим.

1. Проверить, является ли временной ряд стационарным. Если он является стационарным, перейти на шаг 2. Если ряд не является стационарным, то находится его разность порядка d , которая является стационарным рядом.

2. Построить графики ACF и PACF стационарного ряда для определения входных параметров модели ARIMA.

3. С помощью графиков ACF и PACF определить значения p и q для модели ARIMA.

4. Выполнить подгонку параметров p и q для идентификации модели

5. Спрогнозировать значения на проверочном наборе времен: будущие значения.

Как было раньше отмечено, тесты и графический анализ показали нестационарность рядов. Однако также можно в этом убедиться с помощью коррелограммы автокорреляционной функции (ACF) и частной автокорреляционной функции (PACF) [7].

Коррелограмма исходного ряда значения экспорта грузовых транспортных услуг (export) представлена на рис. 2.

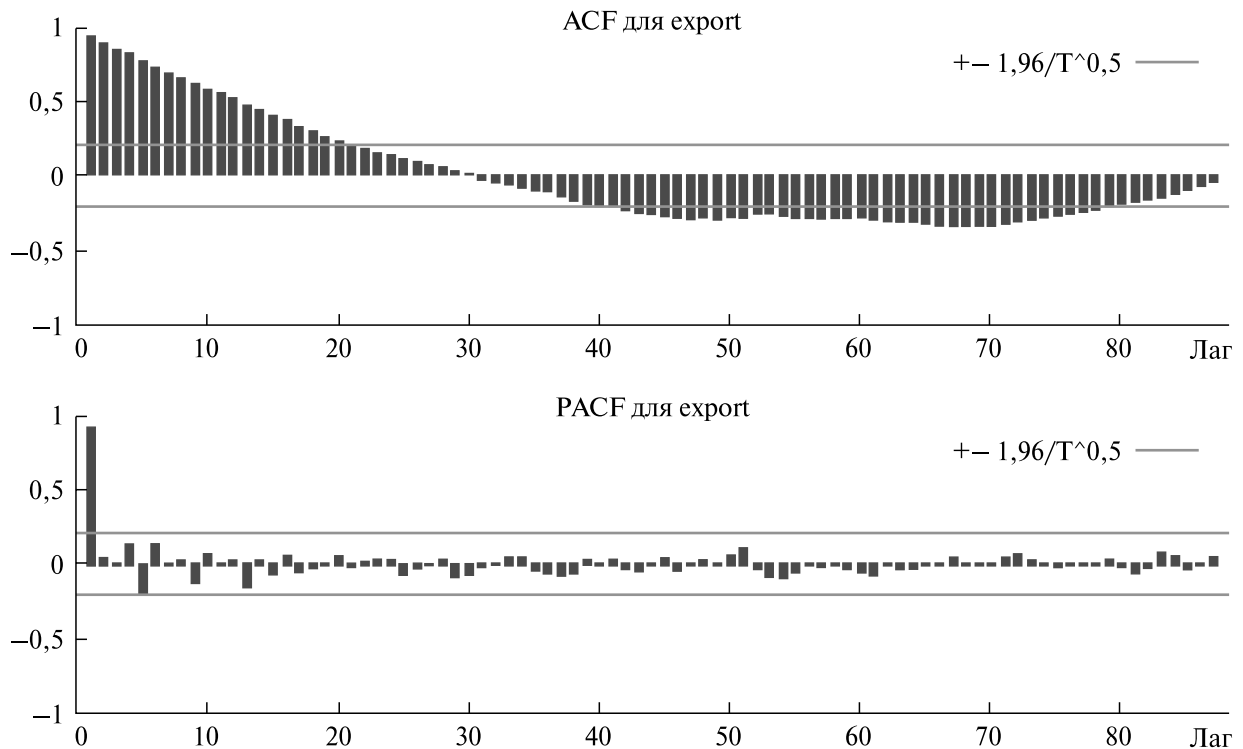


Рис. 2. Коррелограмма экспорта грузовых транспортных услуг

Источники: разработано авторами.

Fig. 2. Correlogram of export of freight transport services

Source: author's developed.

Наблюдается постепенное уменьшение ACF, а затем плавный рост, если говорить про PACF, то оно резко попеременно уменьшается, однако наблюдается значимая корреляция на 5 лаге, поэтому прибегаем к построению разностей. Так, разность 1 порядка (d_{export}) является стационарным рядом, что было проверено с помощью тестов единичного корня.

Путем построения различных моделей ARIMA и SARIMA, основываясь на коррелограмме исходного ряда и разностей, было выявлено две модели: ARIMA (0,1,5) и SARIMA (0,1,5)(0,0,1), отчеты которых представлены на рис. 3 и 4.

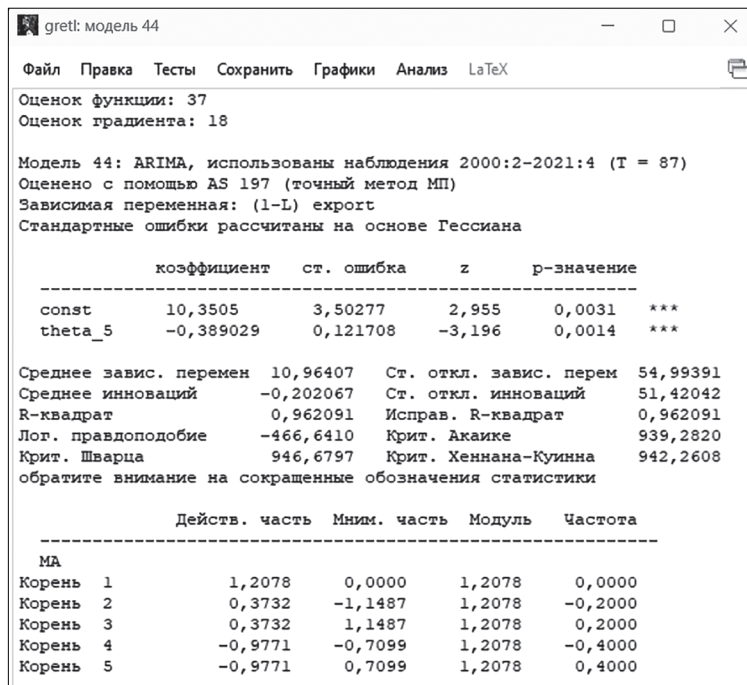


Рис. 3. Оценка модели экспорт ARIMA (0,1,5)

Источники: разработано авторами.

Fig. 3. Export ARIMA Model Evaluation (0,1,5)

Source: author's developed.

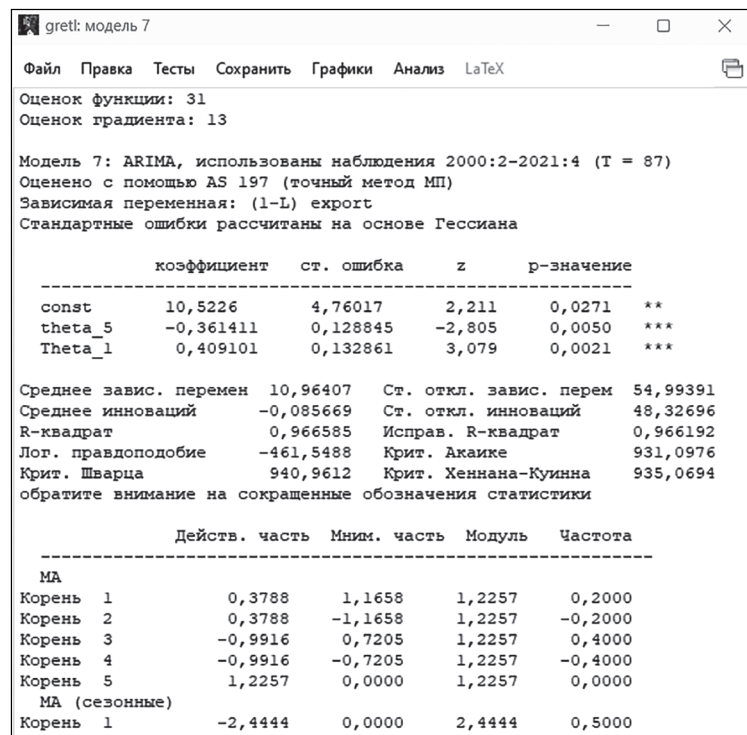


Рис. 4. Оценка модели экспорт SARIMA (0,1,5)(0,0,1)

Источники: разработано авторами.

Fig. 4. Export SARIMA Model Score (0,1,5) (0,0,1)

Source: author's developed.

Результаты

Все коэффициенты являются значимыми на уровне 0,05, обе модели имеют высокий нормированный коэффициент детерминации (больше 0,95), однако по критериями Акаике и Хеннана – Куинна модель SARIMA более предпочтительна, что подтверждает и меньшая средняя абсолютная процентная ошибка MAPE (6,81 % против 7,41 %).

Соответственно, модель прогнозирования экспорта грузовых транспортных услуг в Республике Беларусь будет следующей:

$$\text{export} = 10,52 - 0,36MA(5) + 0,41SMA(1).$$

Если говорить про модель для временного ряда экспорта грузовых автомобильных услуг (auto), то наилучшей моделью является модель SARIMA (2,0,0)(0,1,1) с Adj. R² = 0,98 и MAPE = 7,08 % следующего вида:

$$\text{auto} = 18,17 + 1,05AR(1) - 0,21AR(2) - 0,68SMA(1).$$

Также была построена модель SARIMA (0,2,2)(0,0,1) для экспорта грузовых трубопроводных услуг (pipeline), чей Adj. R² = 0,94 и MAPE = 7,75 %, что говорит о надежном прогнозе (MAPE должна быть меньше 10–15 %). Так, модель имеет следующий вид:

$$\text{pipeline} = -0,13 - 1,35MA(1) + 0,35MA(2) + 0,34SMA(1).$$

В построенных моделях нет ARCH-процессов и отсутствует корреляция, что было проверено с помощью тестов, более того, графики Q-Q близки к нормальному распределению.

Таким образом, построенные модели с детерминированным трендом и модели ARIMA, SARIMA могут быть использованы для построения прогнозных значений показателей экспорта грузовых транспортных услуг, что и было осуществлено далее на горизонт планирования на 2024–2025 гг. поквартально, т. е. 8 значений.

Так, в табл. 2–6 представлены точечные и интервальные прогнозы экспорта грузовых транспортных услуг по видам транспорта в Республике Беларусь на 2024–2025 гг.

Таблица 2

Точечный и интервальный прогнозы экспорта грузовых транспортных услуг на 2024–2025 гг. поквартально

Table 2

Point and interval forecasts of export of freight transport services for 2024–2025 quarterly

Год	Квартал	Модель export = 41,65 · time ^{0,684725}			Модель export = 10,52 – 0,36MA(5) + 0,41SMA(1)		
		Точечный прогноз	Интервальный прогноз (уровень надежности – 0,95)		Точечный прогноз	Интервальный прогноз (уровень надежности – 0,95)	
			нижняя граница	верхняя граница		нижняя граница	верхняя граница
2024	I квартал	954,89	589,85	1 545,84	1 102,58	797,47	1 407,69
	II квартал	961,62	593,97	1 556,84	1 113,10	796,31	1 429,89
	III квартал	968,33	598,07	1 567,81	1 123,62	795,56	1 451,68
	IV квартал	975,02	602,16	1 578,74	1 134,14	795,20	1 473,09
2025	I квартал	981,68	606,23	1 589,65	1 144,67	795,17	1 494,16
	II квартал	988,33	610,30	1 600,52	1 155,19	795,45	1 514,93
	III квартал	994,95	614,34	1 611,36	1 165,71	796,01	1 535,41
	IV квартал	1 001,55	618,38	1 622,16	1 176,23	796,84	1 555,63

Источники: разработано авторами.

Source: author's developed.

Таблица 3

Точечный и интервальный прогнозы экспорта грузовых железнодорожных услуг на 2024–2025 гг. поквартально

Table 3

Point and interval forecasts for export of freight railway services for 2024–2025 quarterly

Год	Квартал	Модель train = $13,65 \cdot \text{time}^{0,634677}$		
		Точечный прогноз	Интервальный прогноз (уровень надежности – 0,95)	
			нижняя граница	верхняя граница
2024	I квартал	248,89	148,63	416,78
	II квартал	250,51	149,59	419,53
	III квартал	252,13	150,54	422,27
	IV квартал	253,75	151,50	425,01
2025	I квартал	255,35	152,44	427,73
	II квартал	256,95	153,39	430,45
	III квартал	258,55	154,33	433,15
	IV квартал	260,14	155,27	435,85

Источники: разработано авторами.

Source: author's developed.

Таблица 4

Точечный и интервальный прогнозы экспорта грузовых автомобильных услуг на 2024–2025 гг. поквартально

Table 4

Point and interval forecasts of export of truck services for 2024–2025 quarterly

Год	Квартал	Модель auto = $2,25 \cdot \text{time}^{1,15224}$			Модель auto = $18,17 + 1,05AR(1) - 0,21AR(2) - 0,68SMA(1)$		
		Точечный прогноз	Интервальный прогноз (уровень надежности – 0,95)		Точечный прогноз	Интервальный прогноз (уровень надежности – 0,95)	
			нижняя граница	верхняя граница		нижняя граница	верхняя граница
2024	I квартал	438,75	371,60	505,90	422,79	339,47	506,12
	II квартал	443,97	376,82	511,12	454,99	368,78	541,21
	III квартал	449,19	382,04	516,34	465,40	377,30	553,50
	IV квартал	454,42	387,27	521,57	492,36	403,08	581,63
2025	I квартал	459,66	392,51	526,81	439,12	347,12	531,13
	II квартал	464,91	397,76	532,06	471,73	377,48	565,97
	III квартал	470,17	403,02	537,32	482,44	386,72	578,16
	IV квартал	475,43	408,28	542,58	509,64	412,99	606,29

Источники: разработано авторами.

Source: author's developed.

Таблица 5

Точечный и интервальный прогнозы экспорта грузовых воздушных услуг на 2024–2025 гг. поквартально

Table 5

Point and interval forecasts of cargo air services export for 2024–2025 quarterly

Год	Квартал	Модель ln(air) = $0,654 + 0,0244 \cdot \text{time}$		
		Точечный прогноз	Интервальный прогноз (уровень надежности – 0,95)	
			нижняя граница	верхняя граница
2024	I квартал	20,52	10,97	38,40
	II квартал	21,03	11,23	39,37

Окончание табл. 5
Ending of the table 5

Год	Квартал	Модель $\ln(\text{air}) = 0,654 + 0,0244 \cdot \text{time}$		
		Точечный прогноз	Интервальный прогноз (уровень надежности – 0,95)	
			нижняя граница	верхняя граница
	III квартал	21,54	11,50	40,36
	IV квартал	22,08	11,78	41,38
2025	I квартал	22,62	12,06	42,43
	II квартал	23,18	12,35	43,50
	III квартал	23,75	12,65	44,60
	IV квартал	24,34	12,95	45,73

Источники: разработано авторами.

Source: author's developed.

Таблица 6

Точечный и интервальный прогнозы экспорта грузовых трубопроводных услуг на 2024–2025 гг. поквартально

Table 6

Point and interval forecasts for export of freight pipeline services for 2024–2025 quarterly

Год	Квартал	Модель pipeline $63,3 - 5,41 \cdot \text{time} + 0,532 \cdot \text{time}^2 - 0,00985 \cdot \text{time}^3 + 5,22e - 05 \cdot \text{time}^4$			Модель pipeline $= -0,13 - 1,35MA(1) + 0,35MA(2) + 0,34SMA(1)$		
		Точечный прогноз	Интервальный прогноз (уровень надежности – 0,95)		Точечный прогноз	Интервальный прогноз (уровень надежности – 0,95)	
			нижняя граница	верхняя граница		нижняя граница	верхняя граница
2024	I квартал	178,86	122,08	235,64	41,90	–25,30	109,10
	II квартал	189,98	128,83	251,14	35,71	–35,42	106,84
	III квартал	202,40	136,41	268,38	29,39	–45,48	104,25
	IV квартал	216,18	144,90	287,45	22,94	–55,48	101,36
2025	I квартал	231,38	154,35	308,40	16,36	–65,46	98,17
	II квартал	248,07	164,81	331,33	9,65	–75,44	94,73
	III квартал	266,32	176,33	356,30	2,80	–85,42	91,03
	IV квартал	286,20	188,99	383,40	–4,17	–95,42	87,09

Источники: разработано авторами.

Source: author's developed.

Заключение

Следует отметить, что построенные модели временных рядов экспорта грузовых транспортных услуг стоит применять для краткосрочных прогнозов и с тем условием, что характер изменений остается тем же, что был и при моделировании временного ряда. Например, модели экспорта грузовых трубопроводных услуг прогнозируют полярную динамику; трендовая полиномиальная модель показывает положительную динамику изменений, в то время как модель SARIMA – отрицательную, да еще и с отрицательными значениями.

Таким образом, стоит отметить, что модели необходимо «обновлять», расширяя диапазон значений для построения, чтобы они были более релевантными и актуальными.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Платежный баланс Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.nbrb.by/statistics/balpay>. – Дата доступа: 20.05.2023.
2. Процессы «единичного корня». Тесты «единичного корня»: ADF, PP, KPSS [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://bsu.by/upload/page/546923.pdf>. – Дата доступа: 27.05.2023.
3. Выбор наилучшей линейной модели: критерий Акаике и Шварца [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://statistica.ru/theory/vybor-nailuchshey-lineynoy-modeli-kriteriy-akaike-i-shvartsa/>. – Дата доступа: 26.05.2023.
4. Графики Q-Q [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.ibm.com/docs/ru/spss-statistics/beta?topic=types-q-q-plots>. – Дата доступа: 26.05.2023.
5. MODEL Subcommand (ARIMA command) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.ibm.com/docs/ru/spss-statistics/beta?topic=arima-model-subcommand-command>. – Дата доступа: 25.05.2023.
6. Time Series Forecasting with ARIMA, SARIMA and SARIMAX [Electronic resource]. – Mode of access: <https://towardsdatascience.com/time-series-forecasting-with-arima-sarima-and-sarimax-ee61099e78f6>. – Date of access: 24.05.2023.
7. Функции автокорреляции и частной автокорреляции [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.ibm.com/docs/ru/spss-modeler/saas?topic=data-autocorrelation-partial-autocorrelation-functions>. – Дата доступа: 28.05.2023.

References

1. Balance of payments of the Republic of Belarus. Available at: <https://www.nbrb.by/statistics/balpay> (accessed 20 May 2023) (in Russian).
2. «Unit root» processes. «Single root» tests: ADF, PP, KPSS. Available at: <https://bsu.by/upload/page/546923.pdf> (accessed 27 May 2023) (in Russian).
3. Choice of the best linear model: Akaike and Schwartz test. Available at: <http://statistica.ru/theory/vybor-nailuchshey-lineynoy-modeli-kriteriy-akaike-i-shvartsa/> (accessed 26 May 2023) (in Russian).
4. Plots Q-Q. Available at: <https://www.ibm.com/docs/ru/spss-statistics/beta?topic=types-q-q-plots> (accessed 26 May 2023) (in Russian).
5. MODEL Subcommand (ARIMA command). Available at: <https://www.ibm.com/docs/ru/spss-statistics/beta?topic=arima-model-subcommand-command> (accessed 25 May 2023) (in Russian).
6. Time Series Forecasting with ARIMA, SARIMA and SARIMAX. Available at: <https://towardsdatascience.com/time-series-forecasting-with-arima-sarima-and-sarimax-ee61099e78f6> (accessed 24 May 2023).
7. Autocorrelation and private autocorrelation functions. Available at: <https://www.ibm.com/docs/ru/spss-modeler/saas?topic=data-autocorrelation-partial-autocorrelation-functions> (accessed 28 May 2023) (in Russian).

Информация об авторах

Вашило Анна Александровна – старший преподаватель кафедры маркетинга, Институт бизнеса БГУ, e-mail: vashchylahanna@gmail.com
Чудинова Елена Александровна – преподаватель кафедры бизнес-администрирования, Институт бизнеса БГУ, e-mail: lenachudinova@mail.ru

Information about the authors

Vashchyla H. – senior lecturer at the Department of marketing, School of Business of BSU, e-mail: vashchylahanna@gmail.com
Chudinova E. – lecturer at the Department of business administration, School of Business of BSU, e-mail: lenachudinova@mail.ru

Статья поступила в редколлегию 29.07.2023

Received by editorial board 29.07.2023