



НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 338.27:656.07

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2024-22-4-6>

Эконометрическая модель прогноза грузооборота морских портов



Марина БОТНАРЮК



Наталья КСЕНЗОВА

*Марина Владимировна Ботнарюк¹,
Наталья Николаевна Ксензова²*

*^{1, 2} Государственный морской университет
имени адмирала Ф. Ф. Ушакова
(ГМУ им. адм. Ф. Ф. Ушакова), Новороссийск, Россия.*

*¹ ORCID: 0000-0001-6570-9561; РИНЦ SPIN-код:
9134-4799; РИНЦ Author ID: 760991.*

*² ORCID: 0000-0003-1172-5675; РИНЦ SPIN-код:
3166-8695; РИНЦ Author ID: 887997.*

✉ ¹ mia-marry@mail.ru.

АННОТАЦИЯ

Морской порт, являясь сложной экономической системой, обеспечивает потребности экономики страны в морских перевозках. Находясь в тесном взаимодействии с железнодорожным и автомобильным транспортом, морские порты принимают активное участие в решении задачи доставки грузов до конечного потребителя. Также морские порты принимают участие в пополнении бюджета страны и развивают торговые отношения государства, укрепляя его статус на мировой арене. В этой связи одной из важнейших задач является прогнозирование грузооборота морских портов.

Цель исследования состоит в построении и обосновании модели прогноза результативности деятельности морских портов, отражающей зависимость грузооборота портовой отрасли от основных макроэкономических показателей.

Объект данного исследования – российские морские порты. Для проведения исследования использованы анализ,

синтез, контент-анализ научной литературы и статистических данных, в том числе, отраслевых, за ряд лет, что обосновывает достоверность полученных результатов. При построении эконометрической модели использовались методы корреляционного и дисперсионного анализа, наименьших квадратов.

Новым для данного исследования является применение в качестве модели прогноза грузооборота морских портов системы рекурсивных уравнений, в которой определяющими факторами грузооборота как результативного признака являются лаговые зависимые переменные за предыдущий период.

Разработанная эконометрическая модель может быть использована для краткосрочного прогнозирования грузооборота морской портовой отрасли, а также для оценки ее зависимости от состояния и уровня развития внешнеэкономической деятельности и экономики страны в целом

Ключевые слова: портовая отрасль, грузооборот, эконометрическая модель, система рекурсивных уравнений, авторегрессия с распределенными лагами, краткосрочное прогнозирование.

Для цитирования: Ботнарюк М. В., Ксензова Н. Н. Эконометрическая модель прогноза грузооборота морских портов // Мир транспорта. 2024. Т. 22. № 4 (113). С. 44–53. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2024-22-4-6>.

Полный текст статьи в переводе на английский язык публикуется во второй части данного выпуска.
English translation of the full text of the article is published in the second part of the issue.

ВВЕДЕНИЕ

Проблема функционирования экономических систем в условиях неопределенности и нестабильности внешней среды всегда считалась одной из ключевых в области стратегического планирования. В этой связи в течение ряда десятилетий многие исследователи посвящают свои труды решению задачи создания моделей прогнозирования развития как национальной и мировой экономики, так и отдельных бизнес-единиц. Например, в работе [1] отражены вопросы построения моделей прогноза экономических индикаторов, без которых сложно определить траекторию стратегического планирования предприятия. Такие ученые, как В. А. Крюков и др. [2] занимаются проблемными вопросами средств макроэкономического, межрегионального и межотраслевого анализа и прогнозирования. Однако, на наш взгляд, данные модели не в полной мере учитывают специфику отдельных отраслей народного хозяйства, что в некоторых обстоятельствах является одним из важнейших критериев отбора модели. В этой связи интересной представляется модель, предложенная Т. Л. Самковым, который выявил зависимость прогноза валового внутреннего продукта от суммарного воздействия объемов и стоимости деривативов биржевых сделок на продажу важнейших топливно-энергетических товаров и сырья [3].

Особую значимость для развития российской экономики, а также внутренней и внешней торговли представляет транспортная отрасль и, в частности, отрасль морского транспорта, обеспечивающая потребности народного хозяйства в перевозках. Исследования, проведенные коллективом авторов [4–6], наглядно показывают взаимосвязь мировой торговли и морского транспорта, что обосновывает необходимость построения моделей, с помощью которых появляется возможность прогнозирования грузооборота и, соответственно, планирования работы транспортной системы в зависимости от ключевых макроэкономических факторов. Зависимость объемов морской торговли от развития как национальной, так и мировой экономики также отражена в работах многих отечественных и зарубежных исследователей [7–9].

В этой связи представляет интерес научная статья [10], которая посвящена вопросам построения логистических моделей транспортировки нефти. Анализ научных публикаций,

посвященных данной тематике, показал большое разнообразие подходов и методов, применяемых при разработке прогнозов развития морских перевозок и грузовой базы морских портов. Например, Ю. М. Краковский и Т. Давааням занимаются комплексным прогнозированием базовых показателей перевозочного процесса [11]. В работе [12] при прогнозировании базовых показателей перевозочного процесса применяется сценарный подход. Другие авторы предлагают создавать гибридные системы моделей прогнозирования, а также интеллектуальные модели, в том числе искусственные нейронные сети [13]. Исследования Д. А. Мачерета и Р. А. Титова ориентированы на получение результатов в стратегическом планировании развития интермодальной транспортной инфраструктуры [14]. Также для моделирования и прогнозирования спроса на грузовые перевозки [15] и показателей экспорта товаров Российской Федерации [16] многие авторы используют эконометрические модели. Особенности прогнозирования многомерных нестационарных временных рядов с использованием нейромоделирования представлены в работе [17]. Широкое применение в прогнозировании развития морского транспорта получили методы эконометрического моделирования в работах зарубежных авторов [18–19].

Обобщив изложенное выше, авторами поставлена *цель* – построить эконометрическую модель, которая будет отражать зависимость грузооборота морских портов от основных макроэкономических показателей, характеризующих развитие экономики страны.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В настоящем исследовании построена эконометрическая модель зависимости грузооборота морских портов от основных макроэкономических показателей, характеризующих развитие экономики страны. В качестве таких показателей рассматривались объем промышленного производства России (ОПП), внешнеторговый оборот страны (ВТО), показатели добычи и экспорта нефти, индекс промышленного производства (ИПП), а также мировая цена на нефть и объемы мировых морских перевозок грузов.

Информационную базу настоящего исследования составили данные Федеральной службы государственной статистики, Ассоциации морских торговых портов, а также



Таблица 1

Матрица парных коэффициентов корреляции [составлено авторами]

	Грузо-оборот портов	ВТО	Мировая цена на нефть	Морские перевозки	Объем добычи нефти	Экспорт нефти	ИПП	ОПП
Грузооборот портов	1							
ВТО	0,78006	1						
Мировая цена на нефть	0,39046	0,61031	1					
Объем морских перевозок	0,98732	0,35628	0,46302	1				
Объем добычи нефти	0,80778	0,79408	0,59408	0,88856	1			
Экспорт нефти	0,77895	0,93061	0,91431	0,53733	0,69191	1		
ИПП	-0,25629	-0,23199	-0,16080	-0,24581	-0,27402	-0,15166	1	
ОПП	0,76810	0,87829	0,51883	0,46517	0,89420	0,40410	-0,17434	1

данные конференции ООН по торговле и развитию UNCTAD за период с 2000 по 2022 год. Временной интервал продолжительностью 23 года является вполне достаточным для получения достоверных результатов моделирования. В таблице 1 представлена матрица парных коэффициентов корреляции.

На основе анализа приведенных коэффициентов парной и межфакторной корреляции выявлены зависимости между показателями. Установлена тесная связь между грузооборотом портов и внешнеторговым оборотом, коэффициент корреляции составил 0,78006; между грузооборотом и объемами мировых морских перевозок, теснота связи которых – 0,93061. В то же время явно прослеживается сильная взаимосвязь между внешнеторговым оборотом и объемами промышленного производства и экспорта нефти.

В результате в качестве эконометрической модели прогноза грузооборота морских портов предварительно может быть предложена система рекурсивных уравнений вида:

$$Y_1 = f(X_1, X_2), \quad (1)$$

$$Y_2 = f(Y_1, X_3), \quad (2)$$

где Y_1 – внешнеторговый оборот, млрд долл., рассматривается как зависимая (эндогенная) переменная от объемов промышленного производства и экспорта нефти;

Y_2 – грузооборот морских портов, млн тонн, рассматривается как зависимая (эндогенная) переменная от показателя внешнеторгового оборота и объема мировых морских перевозок.

X_1 – объем промышленного производства, млрд долл., независимая (экзогенная) переменная;

X_2 – годовой объем экспорта нефти, млрд долл., независимая (экзогенная) переменная;

X_3 – объем мировых морских перевозок грузов, млн тонн, независимая (экзогенная) переменная.

В итоге предложенная система зависимостей представляет собой систему рекурсивных уравнений, в которой эндогенная переменная Y_2 включает в качестве фактора зависимую переменную Y_1 наряду с независимыми переменными X_1 , X_2 и X_3 . Так как исходные данные представляют собой временные ряды, требуется их проверка на стационарность. В случае нестационарного временного ряда его необходимо привести к стационарному виду, устранив из уровней ряда циклическую составляющую (при ее наличии) и исключив тенденцию. В системе каждое уравнение рассматривается как самостоятельное уравнение регрессии и его параметры оцениваются методом наименьших квадратов. Процесс моделирования сопровождается оценкой качества и значимости как параметров полученной модели, так и всей эконометрической модели в целом.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

При моделировании взаимосвязей рядов динамики должно выполняться требование их стационарности, то есть в них должны отсутствовать тенденция и циклические колебания. Визуальный анализ графиков исходных данных, представленных на рис. 1–5, определение коэффициентов автокорреляции уровней ряда динамики позволяют сделать

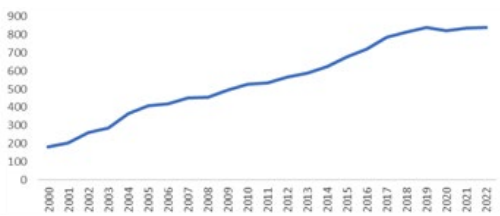


Рис. 1. Динамика грузооборота морских портов России за период 2000–2022 гг. [составлено авторами по: Морские вести России. [Электронный ресурс]: <https://morvesti.ru>. Доступ 10.10.2023].

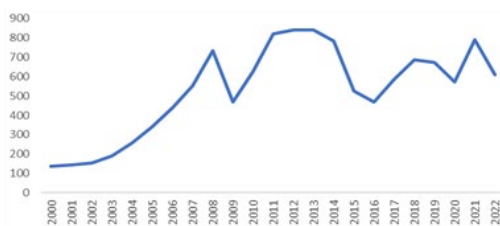


Рис. 2. Динамика внешнеторгового оборота России за период 2000–2022 гг. [составлено авторами по: Мировой импорт товаров и услуг: 1970–2023. [Электронный ресурс]: <http://global-finances.ru>. Доступ 10.10.2023].

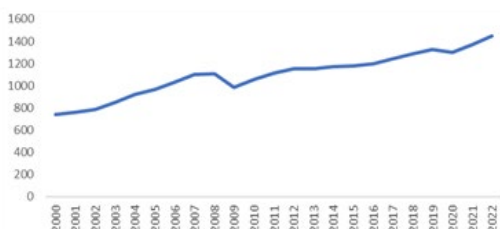


Рис. 3. Динамика объемов промышленного производства России за период 2000–2022 гг. [составлено авторами по: Мировой импорт товаров и услуг: 1970–2023. [Электронный ресурс]: <http://global-finances.ru>. Доступ 10.10.2023].

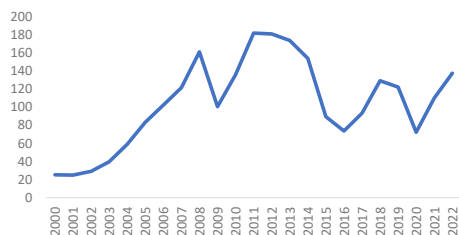


Рис. 4. Динамика объемов экспорта нефти за период 2000–2022 гг. [составлено авторами по: Мировой импорт товаров и услуг: 1970–2023. [Электронный ресурс]: <http://global-finances.ru>. Доступ 10.10.2023].

вывод о наличии тенденции во всех рассматриваемых рядах.

Далее представлена динамика внешнеторгового оборота России, показателей ОПП и экспорта нефти, а также объемов мировых морских перевозок за период 2000–2022 гг.

Наличие тенденции подтверждают также представленные в таблице 2 автокорреляционные функции уровней динамических рядов.

Самые высокие значения коэффициентов автокорреляции первого порядка свидетельствуют, во-первых, о наличии тенденции в рядах динамики рассматриваемых показателей и, во-вторых, об отсутствии в них периодических колебаний. Тенденция в рядах динамики может служить причиной присутствия так называемой ложной корреляции между исследуемыми показателями. Влияние фактора времени будет отражаться в корреляционной зависимости между значениями

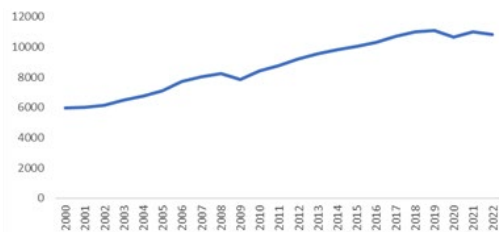


Рис. 5. Динамика объемов мировых морских перевозок за период 2000–2022 гг. [составлено авторами по: Морские вести России. [Электронный ресурс]: <https://morvesti.ru>. Доступ 10.10.2023].

случайных ошибок ϵ_t , представленной в виде коэффициентов автокорреляции в остатках. Поэтому требуется дополнительная оценка как наличия и силы взаимосвязи, так и значимости и достоверности полученных результатов моделирования.

При построении эконометрической модели выполненная проверка показала, что урав-

Таблица 2

Автокорреляционные функции рядов динамики [составлено авторами]

Лаг	Коэффициенты автокорреляции уровней ряда динамики				
	Грузооборот портов (Y_t)	Внешнеторговый оборот (Y_t)	Объем промышленного производства (X_t)	Экспорт нефти (X_t)	Мировые морские перевозки (X_t)
1	0,994781	0,833217	0,971767	0,786571	0,989384
2	0,987086	0,694483	0,934653	0,525941	0,978356
3	0,973855	0,577053	0,918512	0,386775	0,965031
4	0,96252	0,435739	0,896265	0,208981	0,96001
5	0,957859	0,304595	0,865891	0,032208	0,958601



Таблица 3

Параметры и показатели построения OLS-модели [составлено авторами]

Корреляционный анализ					
Коэффициент множественной корреляции (R)					0,969321
Индекс множественной детерминации (R²)					0,939583
Скорректированный индекс множественной детерминации (\widehat{R}^2)					0,933542
Стандартная ошибка переменной Y					60,431017
Число наблюдений					23
Дисперсионный анализ					
	Число степеней свободы	Дисперсия	Дисперсия на одну степень свободы	Расчетный F-критерий Фишера	Расчетный уровень значимости F-критерий Фишера
Факторная регрессия	2	1135882,596	567941,297	155,519	6,47918E-13
Остаточная регрессия	20	73038,157	3651,907		
Общая регрессия	22	1208920,753			
Регрессионный анализ					
	Параметры уравнения регрессии	Стандартная ошибка переменной	Расчетный t-критерий Стьюдента	Расчетный уровень значимости t-критерия Стьюдента	
Результативная переменная Y ₁	-275,493989	75,860589	-3,631582	0,001661791	
Факторная переменная X ₁	0,406330	0,082354	4,933921	8,00174E-05	
Факторная переменная X ₂	3,465934	0,329692	10,512613	1,35614E-09	

нения системы являются идентифицируемыми. В этой связи для решения в настоящей статье будет использован двухшаговый метод наименьших квадратов. В качестве модели зависимости внешнеторгового оборота от объемов промышленного производства и экспорта нефти выбрана OLS-модель [22]:
$$Y_1 = a + b_1 X_1 + b_2 X_2, \tag{3}$$
где a , b_1 и b_2 – параметры уравнения регрессии.

Модель решается средствами Microsoft Excel. Параметры и показатели построения OLS-модели приведены в таблице 3.

По критерию Стьюдента и F-критерию Фишера, расчетные значения которых превышают их табличные значения, и высокому значению индекса детерминации можно утверждать, что данное уравнение множественной регрессии достоверно описывает зависимость исследуемых показателей.

Таким образом, регрессионная модель зависимости показателя внешнеторгового оборота от объема промышленного производства и экспорта нефти принимает вид:
$$Y_1 = -275,494 + 0,4063X_1 + 3,4659X_2 + \varepsilon. \tag{4}$$

Применение метода наименьших квадратов предполагает соблюдение определенных требований – предпосылок МНК относительно случайной величины ε :

- случайность колебаний остатков, которые представляют собой временной ряд уровней остаточной последовательности;
- математическое ожидание (средняя величина) остатков ε_i равно нулю;
- остатки временного ряда должны быть гомоскедастичны, то есть должна быть одинаковая дисперсия ε_i для всех переменных x_i ;
- в остатках ε_i должна отсутствовать автокорреляция;
- распределение остатков должно подчиняться нормальному закону распределения.

Данные для проверки предпосылок МНК приведены в таблице 4.

На рис. 6 представлен график зависимости случайных ошибок ε_i от расчетного $Y_{1(\lambda)}$ с целью проверки первого требования МНК.

Визуальный анализ корреляционного поля остатков ε_i , которые расположились в границах горизонтальной линии, является доказательством случайности отклонений остатков,

Таблица 4

Определение случайных остатков ε_i для Y_i [составлено авторами]

Наблюдение	Фактическое Y_i	Теоретическое $Y_{i(x)}$	Остатки ε_i	Наблюдение	Фактическое Y_i	Теоретическое $Y_{i(x)}$	Остатки ε_i
1	136,9	111,9642	24,9357	13	842	818,7929	23,2070
2	141,8	119,6901	22,1099	14	842,2	795,4992	46,7008
3	152,9	143,5354	9,36458	15	784,4	734,9523	49,4476
4	191	208,4498	-17,4497	16	526,4	513,0122	13,3877
5	257,1	303,301	-46,2009	17	468,1	466,6123	1,4876
6	340,2	406,9176	-66,7175	18	585,1	552,758	32,3419
7	439,1	497,0251	-57,9251	19	688,1	694,6048	-6,5047
8	551,7	592,066	-40,3659	20	672	688,1707	-16,1707
9	734,7	732,1343	2,5657	21	572,6	504,018	68,5819
10	469	474,2153	-5,2153	22	789,4	662,9137	126,4862
11	625,1	625,4944	-0,3943	23	611	790,6586	-179,6585
12	822,5	806,5141	15,9858	Сумма			2,50111E-12

следовательно, первое требование-предпосылка МНК выполняется – расчетные значения результирующего показателя «внешний торговый оборот» хорошо аппроксимируют его эмпирические величины.

Второе требование метода наименьших квадратов относительно математического ожидания остатков означает, что $\sum(Y_i - Y_{i(x)})^{20} = 0$. Сумма остатков для исследуемой зависимости составила 2,50111E-12, практически равна нулю, значит, вторая предпосылка оправдана.

Третье требование метода наименьших квадратов (гомоскедастичность остатков) также выполняется, что следует из того же графика, приведенного на рис. 6. На графике остатки ε_i расположились вдоль прямой линии (оси $Y_{i(x)}$), что является явным признаком гомоскедастичности.

Четвертая предпосылка метода наименьших квадратов об отсутствии автокорреляции остатков, то есть об отсутствии зависимости между отдельными уровнями динамического ряда остатков, подтверждает состоятельность и эффективность найденных параметров уравнения регрессии. Так как построение эконометрической модели производится по рядам динамики, которые, как правило, содержат тенденцию (зависимость последующего уровня ряда динамики от предыдущего), выполнение данной предпосылки обязательно при проведении соответствующих исследований. Поэтому в работе использованы два теста проверки автокорреляции остатков – построение автокорреляционной функции и применение теста Дарбина-Уотсона. Средствами Microsoft Excel расче-

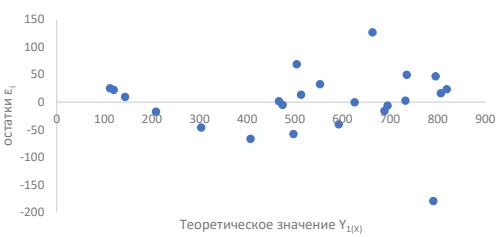


Рис. 6. График зависимости остатков ε_i от $Y_{i(x)}$ [составлено авторами].

таны коэффициенты автокорреляции остатков (автокорреляционная функция) уравнения регрессии, значения которых приведены в таблице 5.

Низкие значения показателей позволяют сделать вывод: автокорреляция остатков в рассмотренном линейном уравнении множественной регрессии отсутствует.

Убедиться в отсутствии автокорреляции остатков дает возможность критерий Дарбина-Уотсона. Для его применения произведен расчет величины d по формуле:

$$d = \frac{\sum_{i=2}^n (\varepsilon_i - \varepsilon_{i-1})^2}{\sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2} \tag{5}$$

Для рассчитанного уравнения множественной регрессии фактическая величина критерия Дарбина-Уотсона составила: $d = 40760,95/19862,86 = 2,052$.

Сопоставление расчетного значения с критическими дает возможность сделать вывод об отсутствии автокорреляции. Таким образом, четвертая предпосылка МНК подтверждается.

В соответствии с пятой предпосылкой МНК остатки подчиняются нормальному



Автокорреляционная функция остатков Y_1 [составлено авторами]

Название показателя	Значение
коэффициент автокорреляции 1-го порядка	-1,8Е-05
коэффициент автокорреляции 2-го порядка	-0,14941
коэффициент автокорреляции 3-го порядка	0,20467
коэффициент автокорреляции 4-го порядка	0,093643
коэффициент автокорреляции 5-го порядка	-0,27394

закону распределения, что позволяет проводить проверку параметров регрессии и корреляции на основе критериев Стьюдента и Фишера. Построенное уравнение регрессии отвечает требованиям пятой предпосылки (данные таблицы 3).

Качество построенного уравнения регрессии оценивается также средней ошибкой аппроксимации – средним отклонением расчетных значений $Y_{(x)}$ от их фактических значений Y_i , определяется по формуле:

$$A = \frac{1}{n} \sum \frac{|Y_i - Y_{(x)}|}{Y_i} \tag{6}$$

Для найденного уравнения регрессии средняя ошибка аппроксимации составила 8,45 %, что говорит о хорошем подборе уравнения к исходным данным.

Полученные результаты оценки параметров регрессии и показателей корреляции, уравнения регрессии в целом признаются статистически значимыми и надежными, а построенное уравнение хорошо аппроксимирует исследуемую зависимость.

На втором этапе построения эконометрической модели рекурсивных уравнений регрессии определяется зависимость грузооборота морских портов от показателей внешнего товарооборота страны и мировых морских перевозок. В качестве модели зависимости также было использовано линейное уравнение множественной регрессии. Полученные результаты моделирования, предварительная оценка параметров регрессии по t -критерию Стьюдента и F -критерию Фишера указывали на их статистическую значимость. На основании рассчитанного уравнения регрессии были определены теоретические значения результативного признака (показателя грузооборота), рассчитаны остатки уравнения и определены коэффициенты автокорреляции остатков.

Но при положительных результатах оценки статистической значимости были получены высокие значения коэффициентов автокорреляции, которые свидетельствовали

о наличии в остатках зависимости уровней ряда, то есть наличие автокорреляции остатков уравнения регрессии, что недопустимо при эконометрическом моделировании взаимосвязей динамических рядов.

В связи с этим в работе авторами в качестве модели зависимости предлагается рассмотреть авторегрессионную модель с распределенными лагами ADLM, которая позволяет учитывать воздействие уровней динамических рядов, сформированных в предыдущие периоды. Путем экспериментальных расчетов на основе сравнительной оценки критериальных показателей определено итоговое уравнение авторегрессии, общий вид которого следующий:

$$Y_2 = Y_{2(t-1)} + Y_{1(t-1)} + X_3 + \varepsilon, \tag{7}$$

где $Y_{2(t-1)}$ – грузооборот морских портов в период времени $t-1$;

$Y_{1(t-1)}$ – внешний товарооборот в период времени $t-1$.

Результаты расчетов и статистической оценки уравнения авторегрессии с распределенным лагом приведены в таблице 6.

Следовательно, ADLM-модель для прогнозирования грузооборота морских портов принимает вид:

$$Y_2 = -143,9483 + 0,6495Y_{2(t-1)} + 0,0673Y_{1(t-1)} + 0,0449X_3 + \varepsilon. \tag{8}$$

Адекватность построенной модели зависимости исследуемых показателей подтверждается проверкой значимости параметров уравнения регрессии и уравнения в целом t -критерием Стьюдента и F -критерием Фишера.

Построенное уравнение авторегрессии с распределенными лагами также должно отвечать пяти предпосылкам МНК. Для проведения проверки в таблице 7 приведен расчет остатков данного уравнения.

Низкие значения коэффициентов автокорреляции, приведенные в таблице 8, говорят об отсутствии автокорреляции в остатках построенного уравнения авторегрессии для Y_2 .

Таблица 6

Параметры и показатели построения ADLM-модели [составлено авторами]

Корреляционный анализ					
Коэффициент множественной корреляции (R)		0,996994			
Индекс множественной детерминации (R ²)		0,993998			
Скорректированный индекс множественной детерминации (\bar{R}^2)		0,992997			
Стандартная ошибка переменной Y		16,965676			
Число наблюдений		22			
Дисперсионный анализ					
	Число степеней свободы	Дисперсия	Дисперсия на одну степень свободы	Расчетный F-критерий Фишера	Расчетный уровень значимости F-критерий Фишера
Факторная регрессия	3	858067,220	286022,407	993,705	3,55112E-20
Остаточная регрессия	18	5181,015	287,834		
Общая регрессия	21	863248,240			
Регрессионный анализ					
	Параметры уравнения регрессии	Стандартная ошибка переменной	Расчетный t-критерий Стьюдента	Расчетный уровень значимости t-критерия Стьюдента	
Результативная переменная Y ₂	-143,948359	59,396017	-2,423535	0,026131	
Факторная лаговая переменная Y _{2(t-1)}	0,649551	0,101800	6,380610	5,218E-06	
Факторная лаговая переменная Y _{1(t-1)}	0,067330	0,025066	2,686071	0,015091	
Факторная переменная X ₃	0,044959	0,013255	3,391929	0,003249	

Таблица 7

Определение случайных остатков ε_i для Y_2 [составлено авторами]

Наблю- дение	Фактическое Y_i	Теоретическое Y_{xi}	Остатки ε_i	Наблю- дение	Фактическое Y_i	Теоретическое Y_{xi}	Остатки ε_i
1	203,7	235,5762	-31,8763	13	589	595,9448	-6,9448
2	260,8	253,5400	7,2599	14	623,4	628,3191	-4,9191
3	286	303,9349	-17,9349	15	676,7	677,2517	-0,5517
4	364	328,3520	35,6479	16	721,9	726,8583	-4,9583
5	406,9	389,2027	17,6972	17	787	766,6391	20,3608
6	421	436,9808	-15,9808	18	816,5	814,9832	1,5167
7	451	453,5747	-2,5747	19	840,3	839,3204	0,9795
8	454,6	469,5070	-14,9070	20	820,8	842,4992	-21,6992
9	496,4	473,0549	23,3450	21	835,2	830,6121	4,5878
10	525,9	514,4688	11,4311	22	841,5	845,0535	-3,5535
11	535,4	537,1996	-1,7996				
12	565,5	560,6258	4,8741	Сумма			2,558E-12

Для проверки первой предпосылки МНК строится график зависимости остатков ε_i от теоретических значений Y_2 (рис. 7).

Визуальный анализ графика дает возможность сделать вывод о выполнении первой предпосылки МНК. Вторая предпосылка –

нулевая средняя величина остатков также оправдана, так как сумма отклонений теоретических значений Y_2 от его фактических уровней практически равна нулю: $\sum(Y_i - Y_{xi}) = 2,558E-12$.

Выполнение третьей предпосылки МНК – гомоскедастичность остатков – также под-



Автокорреляционная функция остатков Y2 [составлено авторами]

Название показателя	Значение
коэффициент автокорреляции 1-го порядка	−0,1927
коэффициент автокорреляции 2-го порядка	−0,0028
коэффициент автокорреляции 3-го порядка	−0,07455
коэффициент автокорреляции 4-го порядка	−0,0523
коэффициент автокорреляции 5-го порядка	0,066453

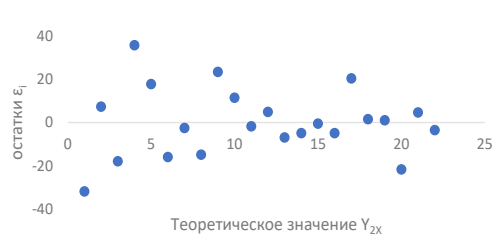


Рис. 7. График зависимости остатков ϵ_i от Y_{2x} [составлено авторами].

тверждается графиком остатков уравнения авторегрессии (рис. 7).

На основе данных таблицы 6 проверяется пятая предпосылка МНК – остатки уравнения авторегрессии подчиняются нормальному закону распределения, что подтверждается тестированием по *t*-критерию Стьюдента и *F*-критерию Фишера.

Для уравнения авторегрессии также рассчитана средняя ошибка аппроксимации, которая составила 2,9 %, что говорит о хорошем качестве подобранной модели исследуемой зависимости.

В результате проведенного исследования эконометрическая модель прогнозирования грузовой базы морских портов может быть представлена следующей системой рекурсивных уравнений:

$$Y_1 = -275,494 + 0,4063X_1 + 3,4659X_2 + \epsilon, \quad (10)$$

$$Y_2 = -143,9483 + 0,6495Y_{2(t-1)} + 0,0673Y_{1(t-1)} + 0,0449X_3 + \epsilon. \quad (11)$$

В соответствии с экономической интерпретацией параметров уравнения регрессии установлена следующая зависимость между показателями первого уравнения системы: увеличение объема промышленного производства страны на 1 млрд долл. приводит к росту внешнеторгового оборота в среднем на 0,4063 млрд долл. в год; годовой рост экспорта нефти на 1 млрд долл. обеспечивает среднегодовой абсолютный прирост внешнеторгового оборота на 3,4659 млрд долл.

Наличие в системе уравнения авторегрессии с лаговыми переменными означает зави-

симость результативного признака от предыдущих значений факторных переменных модели, выраженную в значениях коэффициентов регрессии:

– грузооборот морских портов увеличится в среднем за год на 649,5 тыс. тонн под воздействием своего же роста непосредственно в предшествующий год на 1 млн тонн;

– годовой рост внешнеторгового оборота страны на 1 млрд долл. в момент времени (*t* – 1) обеспечивает средний абсолютный прирост грузооборота морских портов в последующий год в размере 67,3 тыс. тонн;

– рост мировых перевозок грузов на 1 млн тонн в год положительно влияет на объемы перевалки грузов в российских портах, увеличивая их в среднем на 44,9 тыс. тонн.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе исследования был проведен анализ динамики грузооборота морских портов России, основных макроэкономических показателей – объемов внешнеторгового оборота и промышленного производства, экспорта нефти и объемов мировых перевозок грузов и выявлены взаимосвязи между ними за период с 2000 по 2022 год. На основании полученных данных установлены основные факторы, определяющие в данном случае величину грузооборота, и разработана эконометрическая модель прогноза грузооборота морских портов, которая представляет собой систему рекурсивных уравнений. Отличительная особенность модели состоит в том, что она позволяет не только представить краткосрочный прогноз величины грузооборота морских портов, но и оценить зависимость портовой отрасли от состояния национальной экономики и ее внешнеэкономической деятельности.

Полученная эконометрическая модель прошла оценку на тесноту связи между показателями, на значимость и надежность параметров регрессии и уравнений регрессии в целом. Кроме этого, осуществлена про-

верка модели на выполнение предпосылок метода наименьших квадратов, которая также подтвердила хорошее качество построенной модели.

Применение представленной модели на практике позволит на основании прогноза грузовой базы решать такие задачи, как пополнение торгового флота, обоснование актуальности инвестирования в основные производственные фонды портовой инфраструктуры. На основе полученных данных представляется уникальная возможность принятия стратегически важных для отрасли и экономики страны решений, касающихся пропускной способности береговой составляющей, использования портовых мощностей, а также прогнозирования занятости трудовых ресурсов, что позволит своевременно принимать превентивные меры в случае возникновения такой необходимости.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Андрукович П. Ф. Заметки о принципах построения моделей прогноза экономических показателей (на примере прогнозной системы «ProRosEc») // Экономика и математические методы. – 2020. – Т. 56. – № 2. – С. 66–76. EDN: MWIIVQ.
2. Крюков В. А., Баранов А. О., Павлов В. Н., Суслов В. И., Суслов Н. И. Проблемы развития единого комплекса средств макроэкономического межрегионального межотраслевого анализа и прогнозирования // Экономика региона. – 2020. – Т. 16. – Вып. 4. – С. 1072–1086. DOI: 10.17059/ekon.reg.2020-4-5.
3. Самков Т. Л. Модель прогноза валового внутреннего продукта России в зависимости от финансовых инструментов торговли энергетическими и сырьевыми товарами // Проблемы региональной энергетики. – 2018. – № 1 (36). – С. 136–151.
4. Бабурина О. Н., Кузнецова Г. В., Подбиралина Г. В., Хекерт Е. В. Мировая торговля и международные морские перевозки в условиях новых геоэкономических рисков // Общественные науки и современность. – 2022. – № 3. – С. 50–66. EDN: EWNTXM.
5. Бабурина О. Н., Кондратьев С. И., Кузнецова Г. В. Мегатренды развития морского транспорта // Век глобализации. – 2022. – № 3 (43). – С. 72–86. EDN: AUNBIO.
6. Grass, E. Yu., Lepekhina, Yu. A. A system of measures to achieve the efficiency of the production processes of the enterprise. 11th International Scientific and Practical Conference CILDIAH-2022, 2023, Vol. 164, 00008. DOI: 10.1051/shsconf/202316400008.
7. Ивин Е. А., Горячева А. С., Курбацкий А. Н. Анализ состояния и перспективы развития грузопотоков через морские порты России // Проблемы развития территории. – 2020. – № 2 (106). – С. 62–80. DOI: 10.15838/pid.2020.2.106.5.
8. Глебкова И. Ю., Качанова Н. Н. Факторный анализ показателей внешней торговли // Евразийский союз ученых. – 2015. – № 2 (11). – С. 56–59. EDN: XERELP.
9. Yu Xiao, Zhezhi Jin. The Forecast Research of Linear Regression Forecast Model in National Economy. Open Access Library Journal. 2021, Vol. 8, Iss. 8, e7797. DOI: 10.4236/oalib.1107797.
10. Kurenkov, P. V., Astafyev, A. V., Kolos, L. E., Chebotareva, E. A., Solop I. A., Denisenko, T. V. Development of logistics models for oil cargo transportation to reduce logistics costs and improve wagon mileage. Lecture Notes in Networks and Systems. 2022, Vol. 364, pp. 219–235. EDN: BNVPWS.
11. Краковский Ю. М., Давааням Т. Комплексное прогнозирование базовых показателей перевозочного процесса // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2016. – № 3 (51). – С. 179–184. EDN: WMELEL.
12. Краковский Ю. М., Лузгин А. Н. Прогнозирование базовых показателей перевозочного процесса на основе сценарного подхода // Прикладная информатика. – 2017. – Т. 12. – № 2 (68). – С. 29–36. EDN: WCFIHO.
13. Киселенко А. Н., Сундуков Е. Ю., Тарабукина Н. А. Методы прогнозирования развития транспортных систем в современных условиях // Мир транспорта. – 2022. – Т. 20. – № 3 (100). – С. 40–49. DOI: 10.30932/1992-3252-2022-20-3-5.
14. Мачерет Д. А., Титов Р. А. Стратегическое планирование и экономическая оценка развития интермодальной транспортной инфраструктуры // Мир транспорта. – 2020. – Т. 18. – № 6. – С. 30–45. DOI: 10.30932/1992-3252-2020-18-6-30-45.
15. Щербанин Ю. А., Ивин Е. А., Курбацкий А. Н., Глазунова А. А. Эконометрическое моделирование и прогнозирование спроса на грузовые перевозки в России в 1992–2015 гг. // Научные труды. Институт народнохозяйственного прогнозирования РАН. – 2017. – Том 15. – С. 200–217.
16. Ширнаева С. Ю. Эконометрическое моделирование и прогнозирование показателей экспорта товаров Российской Федерации // Фундаментальные исследования. – 2020. – № 6. – С. 172–177. – 2020. – № 6. – С. 172–177. [Электронный ресурс]: <https://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=42796>. Доступ 09.10.2023.
17. Епихин А. И., Кондратьев С. И., Хекерт Е. В. Прогнозирование многомерных нестационарных временных рядов с использованием нейромоделирования // Морские интеллектуальные технологии. – 2020. – № 4-4 (50). – С. 23–27. EDN: ZPIZCJ.
18. Chien-Chang, Chou; Ching-Wu, Chu; Gin-Shuh, Liang. A modified regression model for forecasting the volumes of Taiwan's import containers. Mathematical and Computer Modelling, 2008, Vol. 47, Iss. 9–10, pp. 797–807. DOI: 10.1016/j.mcm.2007.05.005/.
19. Eskafi, M., Kowsari, M., Dastgheib, A. et al. A model for port throughput forecasting using Bayesian estimation. Maritime Economics & Logistics, 2021, Vol. 23, pp. 348–368. DOI: <https://doi.org/10.1057/s41278-021-00190-x>. ●

Информация об авторах:

Ботнарюк Марина Владимировна – доктор экономических наук, доцент, профессор кафедры экономической теории, экономики и менеджмента Государственного морского университета имени адмирала Ф. Ф. Ушакова (ГМУ им. адм. Ф. Ф. Ушакова), Новороссийск, Россия, tiia-marry@mail.ru.

Ксензова Наталья Николаевна – кандидат экономических наук, доцент, заведующий кафедрой экономической теории, экономики и менеджмента Государственного морского университета имени адмирала Ф. Ф. Ушакова (ГМУ им. адм. Ф. Ф. Ушакова), Новороссийск, Россия, natksenzova@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 20.11.2023, одобрена после рецензирования 26.02.2024, принята к публикации 28.02.2024.

