



ЛОГИСТИКА

УДК 338.27

DOI: 10.31799/2077-5687-2024-3-48-55

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ НАУЧНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ НА ОСНОВЕ АППРОКСИМАЦИИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ КРАТКОСРОЧНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОБЪЕМА ГРУЗОПОТОКА В УСЛОВИЯХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОГО ЦЕНТРА

П. Н. Ерофеевская, С. В. Уголков

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

Статья посвящена исследованию методов научного прогнозирования на основе аппроксимации для решения задачи краткосрочного прогнозирования объема грузопотока в условиях распределительного центра.

В работе рассматриваются различные подходы к аппроксимации данных и их применение для прогнозирования объема грузопотока на основе доступных исторических данных. Описываются способы построения краткосрочных прогнозов с целью повышения эффективности и качества работы рассматриваемого объекта. В качестве исходных данных представлен объем грузопотока распределительного центра компании «FM Logistic».

Результаты исследования могут быть полезны для улучшения процессов управления логистическими цепями и оптимизации работы других распределительных центров.

Ключевые слова: аппроксимация, прогнозирование, анализ данных, временные ряды, сглаживание, распределительный центр.

Для цитирования:

Ерофеевская, П. Н. Исследование методов научного прогнозирования на основе аппроксимации для решения задачи краткосрочного прогнозирования объема грузопотока в условиях распределительного центра / П. Н. Ерофеевская, С. В. Уголков // Системный анализ и логистика. – 2024. – № 3(41). – с. 48-55. DOI: 10.31799/2077-5687-2024-3-48-55.

RESEARCH OF SCIENTIFIC FORECASTING METHODS BASED ON APPROXIMATION FOR SOLVING THE PROBLEM OF SHORT-TERM FORECASTING THE VOLUME OF FREIGHT FLOW IN A DISTRIBUTION CENTER

P. N. Erofeevskaya, S. V. Ugolkov

St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

The article is devoted to the study of scientific forecasting methods based on approximation to solve the problem of short-term forecasting of cargo traffic volume in a distribution center.

The paper discusses various approaches to data approximation and their application to predict the volume of cargo traffic based on available historical data. The methods of constructing short-term forecasts in order to improve the efficiency and quality of the work of the object under consideration are described. The volume of freight traffic of the distribution center of the FM Logistic company is presented as initial data.

The results of the study can be useful for improving logistics chain management processes and optimizing the operation of other distribution centers.

Keywords: approximation, forecasting, data analysis, time series, smoothing, distribution center.

For citation:

Erofeevskaya, P. N. Research of scientific forecasting methods based on approximation for solving the problem of short-term forecasting of cargo traffic volume in the conditions of a distribution center / P. N. Erofeevskaya, S. V. Ugolkov // System analysis and logistics. – 2024. – № 3(41). – p. 48-55. DOI: 10.31799/2077-5687-2024-2-48-55.

Введение

Эффективное управление и прогнозирование спроса на услуги распределительного логистического центра имеет решающее значение для оптимизации поставок и минимизации его расходов. И для того, чтобы улучшить работу объекта системы необходимо время от времени проводить глубокий анализ его работоспособности на основе имеющейся информации и исходных данных. Дальнейшее развитие распределительного центра во многом



зависит от оценивания и прогнозирования возможностей, которые смогут привести к наилучшему результату.

Для выявления возможных альтернатив решения будет проводиться прогнозирование с помощью метода аппроксимации. Он базируется на основе статистического метода, который в свою очередь позволяет выявить стратегии и альтернативы решения для дальнейшего развития объекта, основываясь на анализе ретроспективных данных.

В качестве модели для поиска зависимостей внутри процессов будет использована – модель временных рядов. Временные ряды экономических показателей могут включать следующие составные части [1,2,3,4]:

- Тренд – это общее направление развития, основная тенденция ряда.
- Сезонная компонента – это периодические колебания, которые могут повторяться в течение года и обычно связаны с природными факторами.
- Циклическая компонента – это колебания с более длительным периодом, в основном от года.
- Случайная составляющая – это остаточная часть временного ряда после удаления тренда и периодических компонент.

Конечной целью прогнозирования является – анализ процессов и их взаимосвязь, оценка текущего состояния и выявление проблем, оценка настоящего для предвидения будущего и поиск оптимальных решений.

Основные принципы аппроксимации и ее применение

Прогнозирование через метод аппроксимации данных подразумевает использование математических моделей или функций для приближения и предсказания будущих значений на основе доступных исторических данных. Этот метод основывается на идее, что прошлые данные содержат информацию о будущих тенденциях, которые могут быть использованы для прогнозирования [5,6].

В контексте задачи прогнозирования объема грузопотока в условиях распределительного центра, метод аппроксимации данных может включать в себя использование различных статистических моделей, регрессионного анализа, временных рядов или машинного обучения для создания модели, которая лучше всего соответствует имеющимся данным. После построения модели она может быть использована для прогнозирования будущих объемов грузопотока на основе новых входных данных или изменяющихся условий.

Сбор и анализ данных для прогнозирования осуществляется в три этапа:

1. Определение источников – сбор данных из систем учета, объектов отслеживания, внешних источников.
2. Подготовка данных для исследования – Очистка, структурирование и консолидация информации в централизованной базе.
3. Анализ и визуализация – выявление закономерностей, трендов и аномалий с помощью средств анализа данных.

Основные принципы аппроксимации:

- сглаживание данных – выявление тенденций и устранение сезонности с помощью метода скользящего среднего или экспоненциального сглаживания;
- регрессионный анализ – установление математических зависимостей между переменными для прогнозирования;
- оценка качества модели – использование статистических критериев для определения точности и надежности модели.

Применение аппроксимации в распределительном логистическом центре позволяет спрогнозировать спрос (использование аппроксимации для предсказания будущих объемов



продаж и оптимизация закупок), управлять складскими запасами (определение оптимальных уровней хранения товаров на основе прогнозов), планировать и распределять ресурсы (более эффективное использование складских площадей, транспортных средств и персонала), оптимизировать цепочки поставок (сокращение издержек и повышение доступности продукции для потребителя).

Основные параметры оценки качества прогнозирования

Оценка качества прогнозирования может включать в себя различные параметры, в зависимости от конкретной задачи и используемых методов [7].

Однако, основные параметры оценки качества прогнозирования включают:

1. Среднеквадратичное отклонение (S) – этот показатель представляет собой среднее значение квадрата разности между фактическими и прогнозируемыми значениями. Рассчитывается по формуле (1):

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \tilde{X})^2}{n-1}} \quad (1)$$

где, X_i – фактическое значение объема грузопотока, м³;

\tilde{X} – теоретическое, спрогнозированное значение объема грузопотока, м³;

n – число уровней ряда.

2. Коэффициент вариации – отношение среднеквадратичного отклонения к среднему значению, который выражает относительную величину изменчивости данных. Рассчитывается по формуле (2):

$$V = \frac{S}{\bar{X}} \quad (2)$$

где, \bar{X} – среднее арифметическое по исследуемому временному ряду, м³.

3. Величина достоверности аппроксимации (R^2) – коэффициент детерминации, который показывает, насколько хорошо линия тренда соответствует данным.

4. Средняя ошибка прогнозирования – среднее арифметическое отклонений между фактическими и прогнозными значениями. Вычисляется по формуле (3):

$$M = \frac{\sum_{i=1}^n |X_i - \tilde{X}|}{n} \quad (3)$$

5. Предельная ошибка прогнозирования – доверительный интервал, предельное значение, на которое прогноз может отклониться от реального значения. Вычисляется по формуле (4):

$$A = M * t_c \quad (4)$$

где, t_c – критерий Стьюдента.

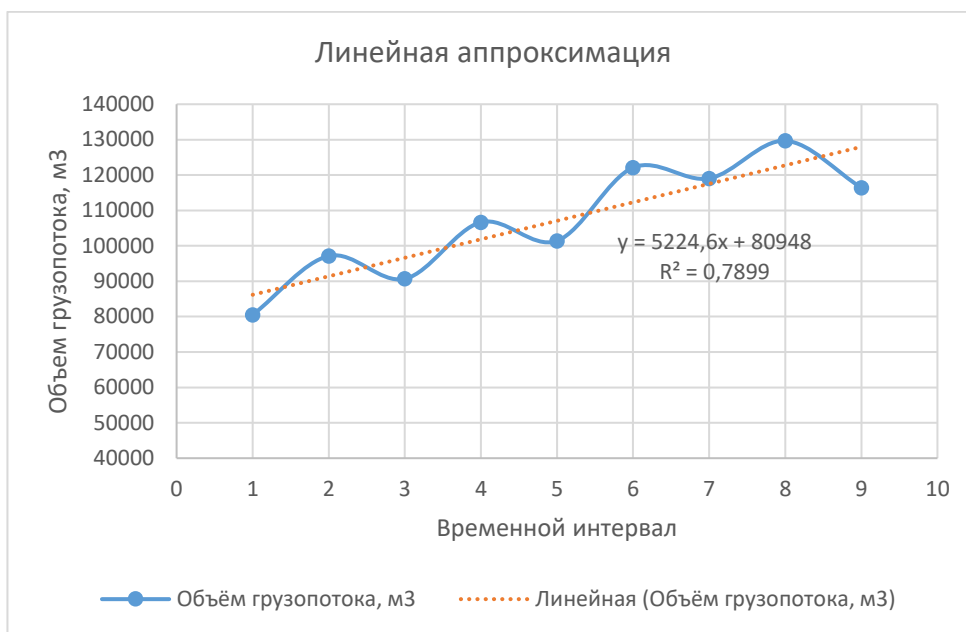


Пример проведения прогнозирования через аппроксимацию

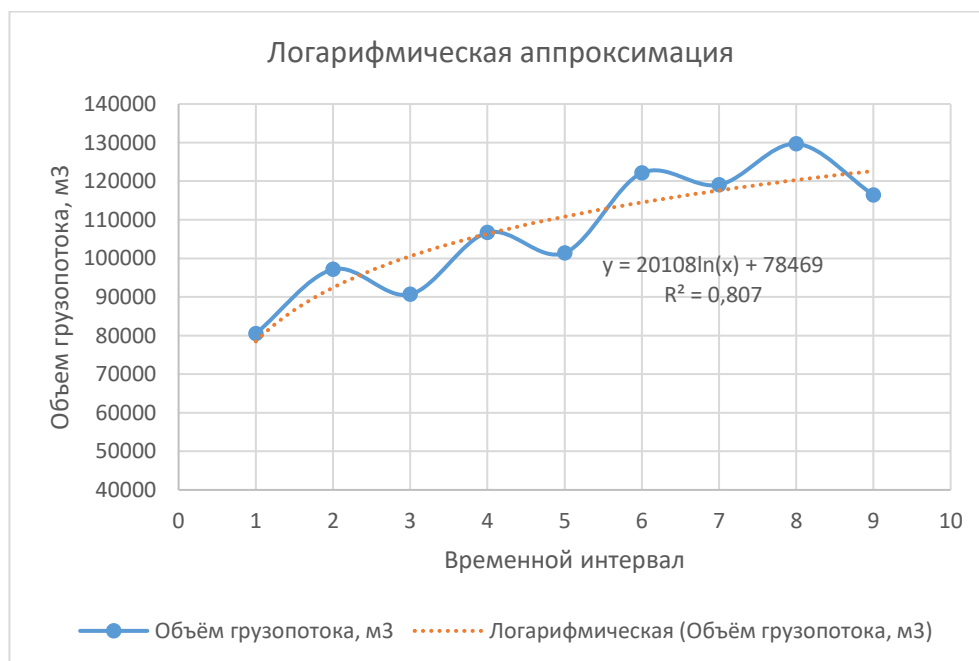
Приведем пример вычисления аппроксимирующих функций по реальным данным распределительного центра компании «FM Logistic» в Санкт-Петербурге в период с 2022 года по I квартал 2024 года [8].

Выполнение прогнозирования методом аппроксимации будет осуществляться с помощью среды Microsoft Excel, который позволит предположить каким будет грузопоток с течением времени.

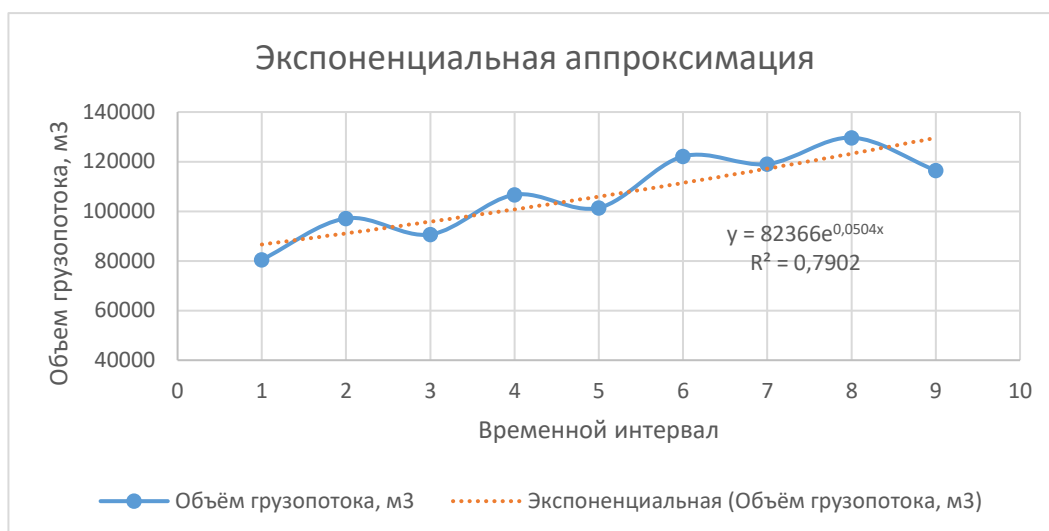
Для начала необходимо создать линию тренда в трех вариациях, а именно линейную, экспоненциальную, логарифмическую аппроксимации. Линия тренда отображает основную траекторию развития, позволяя выявить общий тренд роста, падения или стабильности в данных. На рисунке 1 представлены графики аппроксимации.



а



б



в

Рис. 1. Аппроксимация

а – линейная; б – логарифмическая; в – экспоненциальная

В таблице 1 представлены исходные данные объема грузопотока распределительного центра, а также отображены значения прогноза для каждого вида аппроксимации.

Где, V_0 – величина фактического объема грузопотока, выраженная в м³;

V_1 – величина теоретического значения объема грузопотока линейной аппроксимации, выраженная в м³;

V_2 – величина теоретического значения объема грузопотока логарифмической аппроксимации, выраженная в м³;

V_3 – величина теоретического значения объема грузопотока экспоненциальной аппроксимации, выраженная в м³;

Таблица 1 – Исходные данные для анализа и итоги прогнозирования

Номер периода	Год	Квартал	V_0 , м ³	V_1 , м ³	V_2 , м ³	V_3 , м ³
1	2022	I	80505	86173	78469	86624
2		II	97133	91397	92407	91101
3		III	90669	96622	100560	95811
4		IV	106665	101846	106345	100763
5	2023	I	101414	107071	110832	105972
6		II	122112	112296	114498	111450
7		III	119048	117520	117597	117211
8		IV	129669	122745	120282	123269
9	2024	I	116421	127969	122651	129641
10		II		133194	124769	136343
11		III		138419	126686	143391
12		IV		143643	128436	150803
13	2025	I		148868	130045	158598
14		II		154092	131535	166796
15		III		159317	132922	175418
16		IV		164542	134220	184486



Далее осуществим анализ, который поможет определить наиболее подходящий метод для исследования. Сравнив все графики и рассчитав показатели оценки качества прогнозирования по формулам, представленным выше, получим следующие данные, представленные в таблице 2.

Таблица 2 – Расчет показателей оценки качества прогнозирования

Показатель оценки	Линейная аппроксимация	Логарифмическая аппроксимация	Экспоненциальная аппроксимация
Среднеквадратичное отклонение	14775,31	14846,05	14966,67
Коэффициент вариации	0,1380	0,1387	0,1398
Величина достоверности аппроксимации (R^2)	0,7899	0,8070	0,7902
Средняя ошибка прогнозирования	0,060	0,053	0,328
Предельная ошибка прогнозирования	0,136	0,120	0,741

Исходя из полученных расчетов, представленных в таблице 2, можно подвести следующий итог. Опираясь на значения предельной ошибки прогнозирования с учетом того, что тенденция будет сохраняться с вероятностью 95% уровень объема грузопотока будет увеличиваться. Для наиболее благоприятного метода прогнозирования будет рассмотрена логарифмическая аппроксимация. Так как она имеет минимальное значение предельной ошибки и наибольшую величину достоверности аппроксимации [9,10].

После выполнения точечного прогнозирования и расчета показателей оценки качества построим график на основе метода логарифмической аппроксимации. И на выходе получим прогноз объема грузопотока, который будет проходить через рассматриваемый распределительный центр в период с II квартала 2024 года до конца 2025 года.



Рис. 2. График прогноза грузопотока, проходящего через рассматриваемый распределительный центр



Заключение

В данной статье были рассмотрены методы научного прогнозирования на основе аппроксимации данных с целью решения задачи краткосрочного прогнозирования объема грузопотока в условиях распределительного центра. Было проведено прогнозирование для распределительного центра компании «FM Logistic» с целью отображения тенденции развития обрабатываемого грузопотока.

Таким образом полученные в ходе исследования результаты имеют практическую значимость и могут быть использованы для повышения эффективности управления логистическими процессами и оптимизации работы распределительных центров, что в свою очередь способствует улучшению общей производительности и конкурентоспособности компаний в современных условиях рыночной конкуренции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белоущенко, Я. А. Статистические методы прогнозирования в экономике: метод. указания по выполнению контрольной работы / Я. А. Белоущенко – Керчь: Изд-во Керченский государственный морской технологический университет, 2016. – 44 с.
2. Дуброва, Т. А. «Статистические методы прогнозирования в экономике»: Учеб. пособие / Т. А. Дуброва– Москва.: Московский государственный университет экономики, статистики и информатики, 2004. – 136с.
3. Арженовский, С. В. «Статистические методы прогнозирования»: Учеб. пособие / С. В. Арженовский, И. Н. Молчанов – Ростов-на-Дону.: Рост. гос. экон. унив., 2001. – 74с.
4. Андронов, С. А. Прогнозирование и планирование в сервисе [Текст]: текст лекций / С. А. Андронов. – СПб: ГУАП, 2008. – 191 с.
5. Тюнькин, А. Б. Аппроксимация с помощью среднеквадратического приближения / А. Б. Тюнькин, А. А. Басов, М. С. Пармузина // E-Scio. – 2021. – № 7(58). – С. 167-177.
6. Малышева, Т. А. «Численные методы и компьютерное моделирование. Лабораторный практикум по аппроксимации функций»: Учеб.-метод. пособие – СПб.: Университет ИТМО, 2016. – 33с.
7. Хамитов, Р. Н. Исследование методов аппроксимации для решения задачи краткосрочного прогнозирования суточного электропотребления / Р. Н. Хамитов, А. С. Грицай, И. В. Червенчук, Г. Э. Синицин // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Технические науки. – 2016. – № 4(52). – С. 91-98.
8. FM Logistic [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.fmlogistic.ru/> (дата обращения: 15.04.2024 г.).
9. Андронов, С. А. Модели и методы в системах поддержки принятия решений [Текст]: учебное пособие / С. А. Андронов. – СПб: ГУАП, 2008. – 176 с.
10. Андронов, С. А. Моделирование систем обслуживания в цепях поставок: учеб. пособие для выполнения лабораторных работ, курсового и дипломного проектирования / С. А. Андронов. – СПб: ГУАП, 2012. – 202 с.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Ерофеевская Полина Николаевна

магистр кафедры системного анализа и логистики

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

190000, Россия, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67, лит. А

E-mail: erofeevskaiqn30122000@yandex.ru



Уголков Сергей Вячеславович

Кандидат военных наук, доцент кафедры системного анализа и логистики
Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения
190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67, лит. А
e-mail: uglkvserg@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Erofeevskaya Polina Nikolaevna

Graduate student of the Department of Systems Analysis and Logistics
Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation
67, Bolshaya Morskaya str., Saint-Petersburg, 190000, Russia
E-mail: erofeevskaipn30122000@yandex.ru

Ugolkov Sergey Vyacheslavovich

Candidate of Military Sciences, Associate Professor of the Department of System Analysis and Logistics
Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation
67, Bolshaya Morskaya str., Saint-Petersburg, 190000, Russia
E-mail: uglkvserg@mail.ru