

УДК 519.6:656.62

ПРИМЕНЕНИЕ ЧИСЛЕННЫХ МЕТОДОВ АППРОКСИМАЦИИ И ИНТЕРПОЛЯЦИИ В ЗАДАЧАХ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ГРУЗОПОТОКОВ НА ВОДНОМ ТРАНСПОРТЕ

Садыкова Венера Акдясовна¹, канд. пед. наук, доцент

e-mail: veraal@rambler.ru

Богдан Вера Федоровна¹, студент

e-mail: veraal@rambler.ru

¹ Институт морского и речного флота имени Героя Советского Союза М.П. Девятаева – Казанский филиал Волжского государственного университета водного транспорта, Казань, Республика Татарстан, Россия

Аннотация. В статье рассматривается применение численных методов аппроксимации и интерполяции для прогнозирования грузопотоков на водном транспорте. На примере выполнен сравнительный анализ трёх методов прогнозирования, проведена их ретроспективная верификация. Обоснован выбор наиболее точных подходов для краткосрочного планирования.

Ключевые слова: численные методы, аппроксимация, интерполяция, прогнозирование грузопотоков.

APPLICATION OF NUMERICAL APPROXIMATION AND INTERPOLATION METHODS IN FORECASTING CARGO FLOWS IN WATER TRANSPORT

Venera A. Sadykova¹, Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor

e-mail: veraal@rambler.ru

Vera F. Bogdan¹, Student

e-mail: veraal@rambler.ru

¹ Institute of Maritime and Inland Shipping named after Hero of the Soviet Union M.P. Devyataev – Kazan branch of Volga State University of Water Transport Kazan, Republic of Tatarstan, Russia

Abstract. The article discusses the application of numerical approximation and interpolation methods for forecasting cargo flows in water transport. A comparative analysis of three forecasting methods is performed using a case study, followed by their retrospective verification. The choice of the most accurate approaches for short-term planning is substantiated.

Keywords: numerical methods, approximation, interpolation, cargo flow forecasting.

Современный специалист в области организации перевозок на водном транспорте сталкивается с необходимостью обработки значительных объемов эмпирических данных. Эффективное использование этой информации позволяет повысить точность планирования, снизить риски и обоснованно принимать управленческие решения.

Однако исходные данные часто являются дискретными, содержат пропуски или шумы. В этих случаях на помощь приходят численные методы — математический аппарат, позволяющий восстанавливать функциональные зависимости по дискретным данным и прогнозировать значения показателей.

Наиболее востребованными в практике диспетчерской работы являются интерполяция и аппроксимация (сглаживание). Данные методы могут быть успешно реализованы в среде табличного процессора Microsoft Excel, что делает их доступными в повседневной деятельности.

Цель настоящей работы — систематизировать подходы к применению численных методов интерполяции и аппроксимации для решения задач прогнозирования и планирования на водном транспорте и продемонстрировать их практическую реализацию с использованием стандартного офисного программного обеспечения.

Практическая реализация: прогнозирование сезонного грузопотока

В качестве объекта исследования выбрано АО «Волжское пароходство» («Волга-Флот») — одно из крупнейших судоходных предприятий России. Ежегодный объем перевозок компании превышает 15 млн тонн. Флот (на май 2025 г.): 44 сухогрузных судна «река-море», 74 речных сухогрузных судна, 88 речных барж. Фактические данные компании за 6 лет (Таблица 1).

Таблица 1. Динамика объемов перевозок по месяцам, тыс. тонн

Месяц	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.	2024 г.	2025 г.
Апрель	400	400	400	400	420	450
Май	800	800	800	800	850	900
Июнь	1 400	1 400	1 400	1 400	1 450	1 500
Июль	1 600	1 600	1 600	1 600	1 650	1 700
Август	1 600	1 600	1 600	1 600	1 650	1 700
Сентябрь	1 400	1 400	1 400	1 400	1 450	1 500
Октябрь	900	900	900	900	950	1 000
Ноябрь	400	400	400	400	420	450

Цель исследования: построить аппроксимирующую функцию для описания сезонной динамики и спрогнозировать объемы перевозок на предстоящую навигацию.

Метод 1: Полиномиальная аппроксимация 4-й степени. Для каждого месяца рассчитывается среднее значение за шесть лет, затем строится полиномиальная аппроксимация. На основе анализа характера данных (пик в августе, симметричный спад) целесообразно использовать полином четвертой степени (Рисунок 1):

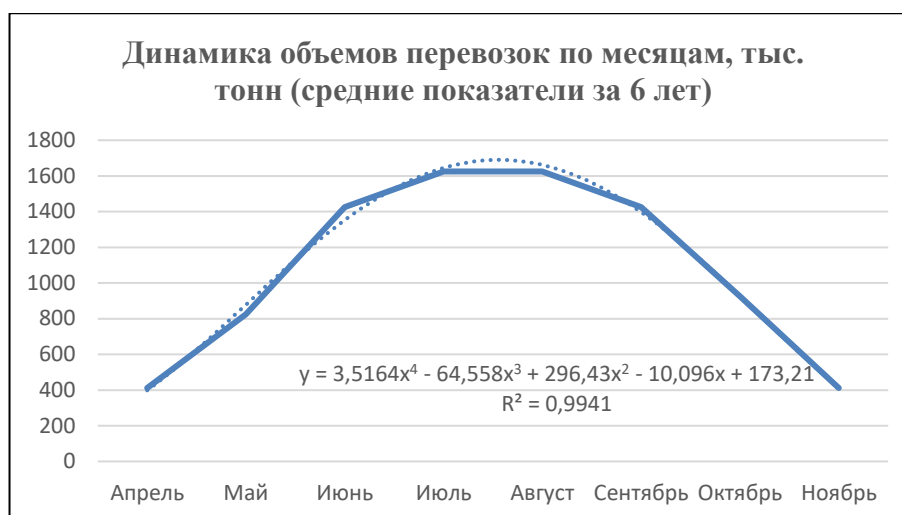


Рисунок 1 – Динамика объемов перевозок по месяцам

Полученное уравнение имеет вид

$$V(t) = 3,5164t^4 - 64,558t^3 + 296,43t^2 - 10,096t + 173,21 \quad (1)$$

где t — порядковый номер месяца ($t=1$ соответствует апрелю, $t=8$ — ноябрю). Коэффициент детерминации $R^2 = 0,9941$, что свидетельствует о высокой точности аппроксимации.

Прогнозные значения на предстоящую навигацию представлены в Таблице 2.

Таблица 2. Прогноз объемов перевозок на предстоящую навигацию по методу I

Месяц	Прогноз на 2026 г., тыс. тонн	Нижняя граница (-5%)	Верхняя граница (+5%)
Апрель	399	379	419
Май	879	835	923
Июнь	1353	1285	1421
Июль	1644	1562	1726
Август	1662	1579	1745
Сентябрь	1397	1327	1467
Октябрь	927	881	973
Ноябрь	413	392	434
Итого	8674	8240	9108

Метод 2: Линейный тренд по каждому месяцу. Метод основан на предположении, что изменение объёма перевозок от года к году для каждого конкретного месяца подчиняется линейной закономерности. Прогноз строится путём добавления последнего наблюдаемого прироста к значению последнего года. Расчётная формула:

$$V_{2026} = V_{2025} + (V_{2025} - V_{2024}) \quad (2)$$

3. Прогнозные значения по методу 2 на предстоящую навигацию представлены в Таблице

Таблица 3. Прогноз объемов перевозок на предстоящую навигацию по методу 2

Месяц	2024	2025	Прирост (2025-2024)	Прогноз 2026 г.	Нижняя граница (-5%)	Верхняя граница (+5%)
Апрель	420	450	30	480	456	504
Май	850	900	50	950	902,5	997,5
Июнь	1 450	1 500	50	1550	1472,5	1627,5
Июль	1 650	1 700	50	1750	1662,5	1837,5
Август	1 650	1 700	50	1750	1662,5	1837,5
Сентябрь	1 450	1 500	50	1550	1472,5	1627,5
Октябрь	950	1 000	50	1050	997,5	1102,5
Ноябрь	420	450	30	480	456	504
Итого	8840	9200		9560	9082	10038

Метод 3: Метод скользящей средней (средний коэффициент роста). Метод основан на вычислении среднего коэффициента роста за последние два периода (2023→2024 и 2024→2025). Это позволяет сгладить случайные колебания и учесть сложившуюся динамику роста. Для каждого месяца прогноз получается умножением последнего значения на средний коэффициент. Расчётные формулы:

$$k_{2023 \rightarrow 2024} = \frac{V_{2024}}{V_{2023}}, \quad k_{2024 \rightarrow 2025} = \frac{V_{2025}}{V_{2024}} \quad (3)$$

$$\bar{k} = \frac{k_{2023 \rightarrow 2024} + k_{2024 \rightarrow 2025}}{2}, \quad V_{2026} = V_{2025} \cdot \bar{k} \quad (4)$$

Прогнозные значения по методу 3 представлены в Таблице 4.

Таблица 4. Прогноз объемов перевозок на предстоящую навигацию по методу 3

Месяц	2023	2024	2025	Прогноз на 2026 г.	Нижняя граница (-5%)	Верхняя граница (+5%)
Апрель	400	420	450	477	453	501
Май	800	850	900	955	907	1003
Июнь	1 400	1 450	1 500	1553	1475	1631
Июль	1 600	1 650	1 700	1752	1664	1840
Август	1 600	1 650	1 700	1752	1664	1840
Сентябрь	1 400	1 450	1 500	1553	1475	1631
Октябрь	900	950	1 000	1054	1001	1107
Ноябрь	400	420	450	477	453	501
Итого	8500	8840	9200	9573	9094	10052

Сравнительный анализ методов

Метод 1 даёт более низкие значения по сравнению с Методами 2 и 3, особенно в пиковые месяцы июль–август. Методы 2 и 3 показывают практически идентичные результаты, расходясь не более чем на 0,6%. Отклонения между методами приведены в Таблице 6):



Таблица 6. Отклонения между методами

Параметр	Метод 1 с Метод 2	Метод 1 с Метод 3	Метод 2 с Метод 3
Среднее абсолютное отклонение по месяцам, тыс. тонн	112,6	114,4	2,5
Среднее относительное отклонение, %	8,2%	8,4%	0,2%
Отклонение по годовому объёму, тыс. тонн	–886	–899	–13
Отклонение по годовому объёму, %	–9,3%	–9,4%	–0,1%

Метод 1 дает заниженный прогноз, так как полином строится по средним значениям за 6 лет, включая период стагнации 2020–2022 гг. Методы 2 и 3 ориентируются на данные последних лет (2023–2025), когда наблюдался устойчивый рост.

Для ретроспективной оценки точности методов были проведены вычисления прогнозных значений для 2025 года на основе данных 2022–2024 годов. Результаты представлены в Таблице 7:

Таблица 7. Ретроспективная верификация методов (прогноз на 2025 год)

Метод	Прогноз на 2025 г.,	Факт на 2025 г.	Абсолютная ошибка	Относительная ошибка
Метод 1 (полином 4 ст.)	8 987	9 200	–213	–2,3%
Метод 2 (линейный тренд)	9 160	9 200	–40	–0,4%
Метод 3 (ср. коэффициент)	9 176	9 200	–24	–0,3%

Вывод по верификации: методы 2 и 3 показали высокую точность при прогнозировании 2025 года (ошибка менее 0,5%), тогда как Метод 1 дал существенное занижение (ошибка – 2,3%). Это подтверждает целесообразность использования Методов 2 и 3 для краткосрочного прогнозирования. На основании проведённого сравнительного анализа и ретроспективной верификации рекомендуется использовать усреднённый прогноз по Методам 2 и 3, которые показали высокую точность и согласованность между собой.

Таблица 8. Рекомендуемый прогноз на 2026 год (среднее по методам 2 и 3)

Месяц	Прогноз, тыс. тонн	Нижняя граница (–5%)	Верхняя граница (+5%)
Апрель	479	455	503
Май	953	905	1 001
Июнь	1 552	1 474	1 630
Июль	1 751	1 663	1 839
Август	1 751	1 663	1 839
Сентябрь	1 552	1 474	1 630
Октябрь	1 052	999	1 105
Ноябрь	479	455	503
Итого	9 567	9 088	10 045

В ходе выполнения работы были рассмотрены основные численные методы интерполяции и аппроксимации, применимые в практике организации перевозок на водном транспорте. Проведён сравнительный анализ трёх методов прогнозирования сезонных грузопотоков на примере АО «Волжское пароходство». Ретроспективная верификация показала, что Методы 2 и 3 обладают высокой точностью (ошибка прогноза на 2025 год менее 0,5%), тогда как Метод 1 даёт систематическое занижение из-за усреднения с



периодом стагнации 2020–2022 гг. Рекомендуемый прогноз на навигацию 2026 года составляет 9 567 тыс. тонн (доверительный интервал 9 088–10 045 тыс. тонн).

Применение численных методов позволяет повысить точность планирования, восстановить утраченные данные и оптимизировать графики движения судов.

Список литературы:

1. Бахвалов, Н.С. Численные методы: учебное пособие / Н.С. Бахвалов, Н.П. Жидков, Г.М. Кобельков. – М.: Лаборатория знаний, 2023. – 640 с.
2. Вержбицкий, В.М. Численные методы: математический анализ и дифференциальные уравнения / В.М. Вержбицкий. – М.: ИНФРА-М, 2024. – 416 с.
3. Гаврилов, А.А. Применение численных методов в транспортном планировании / А.А. Гаврилов, С.В. Петров // Транспортное дело России. – 2023. – № 5. – С. 72–78.
4. Демидович, Б.П. Основы вычислительной математики / Б.П. Демидович, И.А. Марон. – СПб.: Лань, 2023. – 672 с.
5. Иванов, В.Н. Математическое моделирование транспортных процессов / В.Н. Иванов, А.В. Кузнецов. – М.: Академия, 2024. – 288 с.
6. Семенов, А.Ю. Прогнозирование грузопотоков на внутреннем водном транспорте с использованием регрессионных моделей / А.Ю. Семенов // Вестник Государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. – 2024. – № 2. – С. 45–53.

