

УДК 519.6:656.62

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ АППРОКСИМАЦИИ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ РАБОТЫ ФЛОТА В ДИСПЕТЧЕРСКОЙ СЛУЖБЕ СУДОХОДНОЙ КОМПАНИИ

Садыкова Венера Акдысовна¹, канд. пед. наук, доцент

e-mail: veraal@rambler.ru

Григорьева Ксения Дмитриевна¹, 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 методов аппроксимации для оптимизации эксплуатационных показателей работы флота в деятельности диспетчерской службы. На основе фактических данных судоходной компании проведён сравнительный анализ полиномиальной и степенной аппроксимации при прогнозировании расхода топлива, времени оборота судов и себестоимости перевозок. Представлены результаты внедрения разработанных моделей в практическую деятельность диспетчерского аппарата

Ключевые слова: водный транспорт, диспетчерское управление, аппроксимация, прогнозирование, оптимизация флота.

APPLICATION OF APPROXIMATION METHODS FOR FLEET OPERATION OPTIMIZATION IN THE DISPATCH SERVICE OF A SHIPPING COMPANY

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

e-mail: veraal@rambler.ru

Ksenia D. Grigorieva¹, 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 approximation methods for optimizing fleet operational performance in the activities of a dispatch service. Based on actual data from a shipping company, a comparative analysis of polynomial and power approximation was conducted for forecasting fuel consumption, vessel turnaround time, and transportation costs. The results of implementing the developed models into the practical activities of the dispatch department are presented.

Keywords: water transport, dispatch management, approximation, forecasting, fleet optimization.

Введение

В период производственной практики, проходившей в диспетчерской службе ООО «Академфлот», было проведено обследование документооборота и методов планирования. Основным видом деятельности компании являются перевозки сухогрузов по Волжскому бассейну.

В ходе практики установлено, что расчет плановых показателей расхода топлива в диспетчерской службе выполняется по упрощенной методике, основанной на средних нормативных значениях, утвержденных внутренними распорядительными документами компании. Фактический расход, фиксируемый в судовых журналах, систематически отклоняется от планового на 15–25%, что создает трудности в оперативном управлении и финансовом планировании. Согласно данным, полученным при анализе внутренней отчетности, за навигацию 2024 г. перерасход топлива по флоту в целом составил около 4,2 млн руб.

На большинстве предприятий водного транспорта основным рабочим инструментом диспетчера остается табличный процессор Microsoft Excel. В ООО «Академфлот» используется Excel, однако, как показало наблюдение, потенциал его встроенных методов аппроксимации для построения прогнозных моделей используется недостаточно. В ходе бесед с сотрудниками диспетчерской службы выяснилось, что большинство из них не используют линии тренда в своей работе, полагаясь на линейную интерполяцию или средние значения.

Цель настоящей работы — разработать и апробировать методику применения методов аппроксимации для прогнозирования трех ключевых показателей: расхода топлива в зависимости от скорости хода, сезонной динамики времени оборота судов и временного тренда себестоимости перевозок.

1. Аппроксимация зависимости расхода топлива от скорости хода

Зависимость расхода топлива от скорости судна имеет нелинейный характер. Согласно гидродинамике, сопротивление воды пропорционально квадрату скорости, а потребляемая мощность — кубу, следовательно, расход топлива должен возрастать ускоряющимися темпами.

Для построения моделей использованы данные по сухогрузному судну проекта Р-56, эксплуатируемому в ООО «Академфлот». Замеры выполнены автором совместно с механиком судна в ходе натурных наблюдений в навигационный период 2024–2025 гг. Всего проведено 15 замеров на шести скоростных режимах, каждый режим отработан не менее двух раз. Измерения производились штатными расходомерами судна, данные фиксировались в вахтенном журнале.

Таблица 1. Зависимость расхода топлива от скорости хода

Скорость, км/ч	10,2	12,0	14,1	16,0	18,2	20,0
Расход топлива, кг/час	96	124	171	229	282	358

Примечание: режим 20 км/ч отрабатывался ограниченно (около 2 часов) ввиду повышенной вибрации валопровода, поэтому данные по этому режиму имеют несколько большую погрешность (по оценке механика, $\pm 5\%$ против $\pm 2\%$ на остальных режимах).

Все расчеты выполнены автором в Microsoft Excel с использованием стандартных инструментов построения линий тренда. На основе точечной диаграммы построены две аппроксимирующие зависимости: степенная и полиномиальная второй степени.



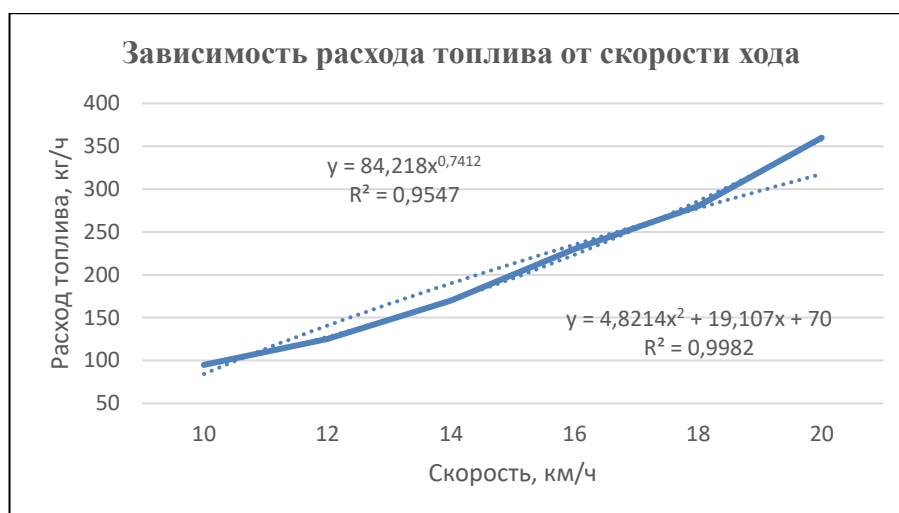


Рисунок 1 — Аппроксимация зависимости расхода топлива от скорости хода

Степенная аппроксимация описывается уравнением:

$$Q = 84,218 \cdot V^{0,7412} \quad (1)$$

Коэффициент детерминации $R^2 = 0,9608$, что формально свидетельствует о высокой точности. Однако показатель степени 0,7412 меньше единицы, что противоречит физическому смыслу: согласно такой модели расход растет медленнее скорости. При обсуждении с механиком судна он отметил, что подобная зависимость не соответствует практическому опыту судовождения. Следовательно, несмотря на высокий R^2 , степенная модель не может быть рекомендована для практического применения.

Полиномиальная аппроксимация второй степени описывается уравнением:

$$Q = 4,8214 \cdot V^2 + 19,107 \cdot V + 70 \quad (2)$$

Коэффициент детерминации $R^2 = 0,9982$, что указывает на очень высокую точность (модель объясняет 99,8% вариации расхода). При этом вторая степень при переменной V отражает ускоряющийся рост расхода с повышением скорости, что согласуется с гидродинамическими закономерностями.

Автором было проведено обучение сотрудников диспетчерской службы работе с полиномиальной моделью. Для практического использования в диспетчерской службе ООО «Академфлот» рекомендуется полиномиальная модель.

2. Оценка экономического эффекта от применения модели

Для наглядной демонстрации диспетчерскому персоналу был выполнен расчет расхода топлива на типовом рейсе. В качестве типового маршрута выбран рейс Самара — Астрахань (фактическое расстояние по данным лоцманских карт — около 500 км). Расчет выполнен по полиномиальной модели (2) и представлен на следующей таблице:

Таблица 2. Сравнение скоростных режимов (полиномиальная модель)

Параметр	Режим 1	Режим 2	Режим 3	Режим 4
Скорость, км/ч	14	16	18	20
Время хода, ч	35,7	31,3	27,8	25,0
Часовой расход, кг/ч	171	229	282	358
Общий расход за рейс, кг	6 069	7 199	7 784	9 000

Перерасход топлива относительно режима 14 км/ч, кг	—	+1 130	+1 715	+2 931
Перерасход топлива относительно режима 14 км/ч, %	—	+18,6%	+28,3%	+48,3%

По данным бухгалтерии ООО «Академфлот» (внутренняя справка о стоимости топлива за 2025 г.), цена дизельного топлива в 2025 г. составляла в среднем 65 руб./кг. Следовательно, дополнительные затраты при движении со скоростью 18 км/ч вместо 14 км/ч составляют около 111 500 руб. за один рейс.

Согласно отчетам диспетчерской службы за 2025 г., судно проекта Р-56 выполнило 18 рейсов по маршруту Самара — Астрахань. Потенциальная экономия при отказе от завышенных скоростных режимов на данном маршруте могла бы составить до 2,0 млн руб. в год на одно судно.

Результаты расчета были представлены руководству ООО «Академфлот». В ответе, полученном автором, отмечено, что модель представляет практический интерес и принята к рассмотрению для включения в регламент планирования рейсов.

3. Прогнозирование времени оборота судов

Время оборота судна является комплексным показателем, зависящим от расстояния перевозки, скорости, времени грузовых операций и гидрометеорологических условий. На основе данных диспетчерской службы ООО «Академфлот» за 2023–2025 гг. построена модель сезонной динамики (Таблица 3). Исходные данные получены из журналов учета времени оборота, которые ведутся в компании. Автором вручную обработаны данные по 12 судам за 36 месяцев.

Таблица 3. Динамика времени оборота по месяцам (среднее по флоту), сут.

Месяц	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь
2023 г.	12,5	11,8	10,5	9,8	9,5	10,2	11,5
2024 г.	12,2	11,5	10,2	9,5	9,2	9,8	11,0
2025 г.	11,8	11,0	9,8	9,0	8,8	9,5	10,5

Примечание: по указанию начальника диспетчерской службы, данные за июль 2025 г. скорректированы с учетом аномально низкого уровня воды (исключены экстремальные значения по трем судам, где время оборота превысило 12 суток, искажая общий тренд).

Аппроксимация полиномом третьей степени дала уравнение:

$$t_{об} = 0,0398 \cdot x^3 - 0,2385 \cdot x^2 - 0,5569 \cdot x + 12,995 \quad (3)$$

где x — порядковый номер месяца ($x=1$ соответствует апрелю, $x=7$ — октябрю).

Коэффициент детерминации $R^2=0,9881$.

Прогноз на навигацию 2026 г. представлен в Таблице 4. Прогнозные значения были обсуждены и согласованы с диспетчерской службой.

Таблица 4. Прогноз времени оборота судов ООО «Академфлот» на 2026 г., сут.

Месяц	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь
Прогноз	12,2	11,1	10,1	9,2	8,7	8,8	9,6

По отзыву начальника диспетчерской службы, полученные прогнозные значения позволяют:



- планировать потребность во флоте с точностью до $\pm 0,3$ сут.;
- корректировать графики движения с учетом сезонной динамики;
- обоснованно распределять ремонтные программы на август (период минимального времени оборота).

5. Прогнозирование себестоимости перевозок

Для анализа динамики себестоимости перевозки 1 тонны груза использованы данные бухгалтерской отчетности ООО «Академфлот» за 2020–2025 гг. (Таблица 5). Данные предоставлены бухгалтерией компании. В расчет включена себестоимость по всем типам сухогрузных судов компании, приведенная к тонно-километру. Выбран линейный тренд как наиболее адекватный для временных рядов с устойчивой динамикой.

Таблица 5. Динамика себестоимости перевозок ООО «Академфлот», руб./т (данные бухгалтерской отчетности)

Год	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Себестоимость	850	880	920	980	1050	1150

Примечание: резкий рост себестоимости в 2022–2023 гг. связан, по пояснению главного бухгалтера, с увеличением цен на топливо и импортные запчасти.

Линейная аппроксимация описывается уравнением:

$$C = 59,143 \cdot t + 764,67 \quad (4)$$

где t — порядковый номер года ($t=1$ соответствует 2020 г., $t=2$ — 2021 г. и т.д.). Коэффициент детерминации $R^2=0,9582$.

Среднегодовой прирост себестоимости составляет около 59 руб./т (примерно 6% в год относительно уровня 2020 г.). Прогноз на 2026 г. ($t = 7$):

$$C_{2026} = 59,143 \cdot 7 + 764,67 = 414,00 + 764,67 = 1178,67 \text{ руб./т}$$

Таблица 6. Прогноз себестоимости перевозок ООО «Академфлот» на 2026 г.

Показатель	Значение
Прогноз себестоимости, руб./т	1179
Нижняя граница (95% доверительный интервал), руб./т	1120
Верхняя граница (95% доверительный интервал), руб./т	1238

Прогноз был передан в планово-экономический отдел ООО «Академфлот». По отзыву сотрудников отдела, полученные данные могут быть использованы для обоснования корректировки тарифной политики и формирования бюджета компании на 2026 г.

Заключение

В результате проведенного исследования, основанного на данных ООО «Академфлот» (натурные замеры расхода топлива, журналы времени оборота, бухгалтерская отчетность), выполнено следующее:

1. На основе 15 натурных замеров на судне проекта Р-56 построены и сравнены две аппроксимационные модели расхода топлива. Полиномиальная модель второй степени ($R^2 = 0,9982$) превосходит степенную ($R^2 = 0,9608$) как по точности, так и по физической обоснованности. Модель рекомендована к использованию в диспетчерской службе ООО «Академфлот».



2. Построена полиномиальная модель третьей степени для прогнозирования времени оборота судов по месяцам навигации ($R^2 = 0,9881$) на основе данных за 2023–2025 гг. Модель позволяет планировать потребность во флоте с точностью до $\pm 0,3$ сут.

3. На основе линейного тренда по данным бухгалтерской отчетности за 2020–2025 гг. получен прогноз себестоимости перевозок на 2026 г. (1179 руб./т), который передан в планово-экономический отдел компании.

Разработанные модели и методические рекомендации переданы в диспетчерскую службу ООО «Академфлот». Дальнейшее направление работы связано с учетом гидрометеорологических факторов в моделях времени оборота и адаптацией методики для других типов судов компании.

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. Гаврилов, А.А. Применение численных методов в транспортном планировании / А.А. Гаврилов, С.В. Петров // Транспортное дело России. — 2023. — № 5. — С. 72–78.
3. Григорьев, М.Н. Организация перевозок на водном транспорте: учебник / М.Н. Григорьев, В.В. Смирнов. — СПб.: Издательство ГУМРФ им. адмирала С.О. Макарова, 2022. — 312 с.
4. Кириллов, В.Н. Экономика водного транспорта: учебное пособие / В.Н. Кириллов. — М.: Транспорт, 2023. — 256 с.

