УДК 004.942

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ИНТЕРПОЛЯЦИИ И АППРОКСИМАЦИИ В ТРУБОПРОВОДНОМ ТРАНСПОРТЕ УГЛЕВОДОРОДОВ

♦♦♦♦♦

APPLICATION OF INTERPOLATION AND APPROXIMATION METHODS IN PIPELINE TRANSPORT OF HYDROCARBONS

Пивнов Валентин Петрович
студент 2-го курса магистратуры,
Российский университет дружбы народов
им. Патриса Лумумбы
TerritoryOGS@yandex.ru

Никифоров Сергей Игоревич
студент 3-го курса магистратуры,
Российский университет дружбы народов
им. Патриса Лумумбы
1032220632@pfur.ru

Аннотация. В работе представлен обзор различных способов использования математического моделирования в области транспортировки углеводородов по трубопроводам. Проанализированы методы интерполяции и аппроксимации в контексте изучения влияния температурных изменений на плотность нефти. Проведено сравнение результатов, полученных с использованием разных методов интерполяции и аппроксимации.

Ключевые слова: плотность нефти, математическое моделирование, интерполяция, аппроксимация, интерполяционный многочлен Ньютона, полином Лагранжа, метод наименьших квадратов.

Pivnov Valentin Petrovich
2nd year master's student,
RUDN University
TerritoryOGS@yandex.ru

Nikiforov Sergei Igorevich
3rd year master's student,
RUDN University
1032220632@pfur.ru

Annotation. The paper presents an overview of various methods of using mathematical modeling in the field of hydrocarbon transportation through pipelines. Interpolation and approximation methods are analyzed in the context of studying the effect of temperature changes on oil density. A comparison of the results obtained using different interpolation and approximation methods is carried out.

Keywords: oil density, mathematical modeling, interpolation, approximation, Newton's interpolation polynomial, Lagrange polynomial, least squares method.

Математическое моделирование в трубопроводном транспорте

Математическое моделирование технологических процессов позволяет лучше понять и оптимизировать их. Этот метод активно используется и для изучения технических процессов [1, 2].

Анализ, оптимизация и управление трубопроводными системами транспортировки углеводородов с помощью математического моделирования повышают надёжность, безопасность и эффективность этих систем.

Математическое моделирование в сфере транспортировки углеводородов по трубопроводам предоставляет ряд преимуществ:

– улучшает процесс проектирования и строительства трубопроводов;
– позволяет прогнозировать и анализировать работу трубопроводов;
– способствует управлению рисками, обеспечению безопасности;
– облегчает планирование обслуживания и ремонта объектов;
– даёт возможность оценить эффективность системы;
– используется для обучения персонала;
– может быть интегрировано с другими системами управления.

Методы интерполяции и аппроксимации в контексте трубопроводного транспорта углеводородов представляют собой инструменты, которые помогают решать различные задачи, связанные с анализом и оптимизацией функционирования трубопроводных систем.

Интерполяция – это способ определения значений функции между известными точками. В сфере транспортировки углеводородов по трубопроводам интерполяция может помочь:

– оценить пропускную способность трубопроводов при разных условиях эксплуатации;

– рассчитать потери давления в трубопроводах при изменении расхода жидкости или газа;

– смоделировать работу клапанов и задвижек в системе.

Аппроксимация – метод приближённого описания сложной функции или процесса с помощью более простой функции. В трубопроводном транспорте аппроксимацию можно использовать, для:

– прогнозирования поведения трубопроводов в будущем на основе анализа исторических данных;

– определения оптимальных параметров трубопроводов (диаметр, длина, материал) исходя из требований к производительности и стоимости;

– анализа влияния различных факторов (изменение нагрузки, старение оборудования) на работу системы.

Применение методов интерполяции и аппроксимации для исследования зависимости плотности нефти от колебания температуры

Проанализируем методы интерполяции и аппроксимации в контексте изучения влияния температурных изменений на плотность нефти.

Согласно работам [3, 4], в сфере транспортировки углеводородов по трубопроводам применяют стандартное расчётное соотношение для определения зависимости плотности от изменения температуры.

$$\rho_t = \rho_{20} \cdot [1 + \xi \cdot (20 - t)] \quad (1)$$

где ρ_{20} – плотность исследуемой нефти, при температуре 20 ºС, кг/м^3; ξ – коэффициент объемного расширения нефти, 1/ºС; t – фактическая температура исследуемой нефти, ºС.

В соответствии с данным расчётным соотношением № 1 в таблице 1 приведены значения плотности для нефти (ρ_{20} = 850 кг/м^3), коэффициент объёмного расширения в соответствии с [4] равен ξ = 0,000831 1/ºС.

Таблица 1 – Плотность исследуемой нефти, при заданной температуре

№ п/п	Показатель	Значение				
1	Температура, ºС	22	24	26	28	30
2	Плотность нефти, кг/м^3	848,59	847,17	845,76	844,35	842,94

Методы интерполяции подробно описаны в источнике [5], методика аппроксимации описана в источнике [6].

По методике, описанной в [5] и исходным данным приведенным выше получена функция зависимости плотности нефти от температуры с использованием:

– первой интерполяционной формулы Ньютона:

$$\rho_t = -1{,}48 \cdot 10^{-15} \cdot t^4 + 1{,}55 \cdot 10^{-13} \cdot t^3 - 6{,}08 \cdot 10^{-12} \cdot t^2 - 0{,}71 \cdot t + 864{,}13 \quad (2)$$

– второй интерполяционной формулы Ньютона:

$$\rho_t = -1{,}48 \cdot 10^{-15} \cdot t^4 + 1{,}55 \cdot 10^{-13} \cdot t^3 - 6{,}08 \cdot 10^{-12} \cdot t^2 - 0{,}71 \cdot t + 864{,}13 \quad (3)$$

– с использованием полинома Лагранжа по трём точкам:

$$\rho_t = 0 \cdot t^2 - 0{,}71 \cdot t + 864{,}13 \quad (4)$$

Метод наименьших квадратов использовался для линейной функции, поскольку зависимость плотности нефти от температуры имеет линейный характер. Следуя методике, изложенной в [6], мы вывели функцию, выражающую зависимость плотности нефти от температуры, применив метод наименьших квадратов к линейной функции.

$$\rho_t = -0{,}71 \cdot t + 864{,}13 \quad (5)$$

Результаты вычисления плотности нефти при температуре 29 ºС, по функциям № № 2-5, абсолютные отклонения от фактической плотности, вычисленной по формуле № 1, приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты вычисления плотности нефти, при t = 29 ºС

№ п/п	Функция	Значение, кг/м^3	Отклонение, $\Delta \times 10^{12}$
1	Физическая формула	843,6429	–
2	Первый интерполяционный многочлен Ньютона	843,6429	0,00
3	Второй интерполяционный многочлен Ньютона	843,6429	0,00
4	Полином Лагранжа по трём точкам	843,6429	–1,14
5	Методом наименьших квадратов для линейной функции	843,6429	–1,59

Из таблицы 2 следует, что значения плотности нефти, которые получились по формулам № № 3–5, немного отличаются от результата, полученного по формуле № 1. Однако эти расхождения несущественны для задач, связанных с транспортировкой углеводородов по трубопроводам.

Заключение

Исследование демонстрирует, как методы интерполяции и аппроксимации помогают определить зависимость плотности нефти от температуры при моделировании процессов транспортировки углеводородов по трубопроводам.

Методики, описанные в статье, также могут применяться для моделирования других процессов в трубопроводном транспорте, включая зависимость вязкости от температуры и коэффициента гидравлического сопротивления от скорости потока.

Важно учитывать, что полученные функциональные зависимости подходят только для исходных данных, приведённых в работе. Чтобы получить корректные результаты в других условиях, целесообразно разработать программу для индивидуального нахождения функциональных зависимостей для каждого конкретного случая.

Литература

1. Белова И.К., Дерюгина Е.О., Чухраев И.В. Математическое моделирование теплофизических процессов в термокатодах сильноточных плазменных систем // Информационно-измерительные и управляющие системы. – 2022. – Т. 20. – № 5. – С. 25–36. – DOI : 10.18127/j20700814-202206-05.

2. Белова И.К. Моделирование тепловых процессов идеального термокатода с использованием пакета прикладных программ MathCad // Инженерный журнал: наука и инновации. – 2014. – № 8(32). – С. 10.

3. Vanchugov I.M., Shestakov R.A. Influence of accounting for thermodynamic processes on the processes of mixture formation during sequential pumping of petroleum products // Oil and Gas Science and Technology. – 2021. – Vol. 76. – P. 76. – DOI : 10.2516/ogst/2020100.

4. Нефтепродуктообеспечение: Курс лекций: учебное пособие для студентов образовательных организаций высшего образования, обучающихся по направлению подготовки 21.03.01 «Нефтегазование дело» (уровень бакалавриата) / А.М. Короленок [и др.]. – М. : Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина, 2021. – 427 с.

5. Герасимова М.М. Математическое моделирование: курс лекций / СибГУ им. М.Ф. Решетнева. – Красноярск, 2019. – 92 с.

6. Метод наименьших квадратов. – Самара: Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, 2017. – 32 с.

References:

1. Belova I.K., Deryugina E.O., Chukhraev I.V. Mathematical modeling of the thermophysical processes in the thermocathodes of the high-current plasma systems (in Rus-

sian) // In-formation-measuring and control systems. – 2022. – V. 20. – № 5. – P. 25–36. – DOI : 10.18127/j20700814-202206-05.

2. Belova I.K. Modeling of thermal processes of an ideal thermocathode using MathCad application package // Engineering journal: science and innovations. – 2014. – № 8(32). – P. 10.

3. Vanchugov I.M., Shestakov R.A. Influence of accounting for thermodynamic processes on the processes of mixture formation during sequential pumping of petroleum products // Oil and Gas Science and Technology. – 2021. – Vol. 76. – P. 76. – DOI : 10.2516/ogst/2020100.

4. Oil product supply: A course of lectures: a textbook for students of educational organizations of higher education, studying in the direction of training 21.03.01 «Oil and gas business» (bachelor's degree) / A.M. Korolenok [et al.]. – M. : Russian State University of Oil and Gas (National Research University) named after I.M. Gubkin, 2021. – 427 p.

5. Gerasimova M.M. Mathematical modeling: a course of lectures / M.F. Reshetnev Siberian State University. – Krasnoyarsk, 2019. – 92 p.

6. Method of least squares. – Samara: Samara national research university named after academician S.P. Korolev, 2017. – 32 p.