



Прийнято 28.04.2025. Прорецензовано 05.11.2025. Опубліковано 26.12.2025.

УДК 622.691.4

DOI: 10.31471/1993-9868-2025-2(44)-227-236

ЗАСТОСУВАННЯ ПРИКЛАДНИХ ПРОГРАМ ДЛЯ РОЗРАХУНКІВ ТЕПЛОГІДРАВЛІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОТОКУ НАФТИ

Мукмінов І. І.

PhD, старший викладач

Одеський національний технологічний університет

вул. Канатна, 112, Одеса, 65039, Україна,

<https://orcid.org/0000-0002-3674-9289>

e-mail: fatalrew@gmail.com

Волгушева Н. В.

Кандидат технічних наук, доцент

Одеський національний технологічний університет

вул. Канатна, 112, Одеса, 65039, Україна

<https://orcid.org/0000-0002-9984-6502>

e-mail: natvolgusheva@gmail.com

Бошкова І. Л.

Доктор технічних наук, професор

Одеський національний технологічний університет

вул. Канатна, 112, Одеса, 65039, Україна,

<https://orcid.org/0009-0009-5599-2709>

e-mail: boshkova.irina@gmail.com

Тітлов О. С.

Доктор технічних наук, професор

Одеський національний технологічний університет

вул. Канатна, 112, Одеса, 65039, Україна,

<https://orcid.org/0000-0003-1908-5713>

e-mail: titlov1959@gmail.com

Альтман Е. І. *

Кандидат технічних наук, доцент

Одеський національний технологічний університет

вул. Канатна, 112, Одеса, 65039, Україна,

<http://orcid.org/0000-0002-8934-2036>

e-mail: ellaa@ukr.net

Запропоноване посилання: Мукмінов, І. І., Волгушева, Н. В., Бошкова, І. Л., Тітлов, О. С. & Альтман, Е. І. (2025). Застосування прикладних програм для розрахунків теплогідрравлічних характеристик потоку нафти. Нафтогазова енергетика, 2(44), 227-236. doi: 10.31471/1993-9868-2025-2(44)-227-236.

* Відповідальний автор



Copyright © The Author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Анотація. Представлено результати моделювання неізотермічного руху нафти на ділянці магістрального нафтопроводу. Наголошується, що вирішення проблеми пошуку ефективного транспортування нафти системою нафтопроводів є актуальним питанням, яке пов'язане з встановленням раціональних режимів перекачування. Визначено доцільність застосування сучасних методів математичного програмування та прикладних програм. При цьому використання сучасних прикладних програм потребує безпосередньої участі користувачів-програмістів, що мають уявлення стосовно предметної області розробки. Визначено, що для дослідження теплових та гідравлічних характеристик потоку нафти в нафтопроводі необхідні врахування багатьох факторів та коректність вибору з них визначальних. Подаються основні етапи складання моделі процесу транспортування нафти, які містять побудову геометрії нафтопроводу в програмі Fusion360, складання фізико-хімічної моделі нафти в програмі PVTsim Nova, моделювання теплообміну та гідродинаміки в програмі COMSOL Multiphysics. Наведено приклад розрахунку транспортування підігрітої в'язкої нафти, при якому нафта надходить в магістральний нафтопровід за температури 50 °C; застосовується трубопровід неглибокого закладення, прокладений на глибині 0,9 м. Досліджувалась зміна температури нафти за перетином каналу та довжиною з урахуванням витрат в навколишнє середовище. Доведено, що зниження температури ґрунту супроводжується зниженням температури нафти, що відповідає фізичній картині охолодження рухомої рідини в трубопроводі. Температура по перетину змінюється також у відповідності до фізичних законів, що свідчить про доцільність використання обраної програми для теплових розрахунків. За результатами моделювання отримано дані за швидкістю нафти та зміною тиску по довжині нафтопроводу. Представлені дані стосовно зміни тиску враховують витрати по довжині нафтопроводу, проте можливе включення в програму також різниці геодезичних висот та витрати на місцевих опорах.

Ключові слова: трубопровід; етапи моделювання; потоки навколишнього середовища; тиск; в'язкість; температура.

Вступ

Мережі нафтопроводів є найбільш економічним і найбезпечнішим засобом транспортування сирої нафти, що вимагає відповідності високим стандартам ефективності та надійності. Трубопровідні системи проєктують поетапно, включаючи початкову концепцію, техніко-економічне обґрунтування, функціональний проєкт, а також оптимізацію та оцінку ризику [1, 2]. Однією з інноваційних технологій в нафтогазовій галузі є комп'ютерне моделювання гідравлічних та теплових процесів при русі нафти по нафтопроводу. Детальний опис етапів проєктування, що підкреслює важливість визначення доцільних умов експлуатації, зниження ризику та контролю системи, наведено у джерелах [3, 4], де підкреслюється важливість визначення доцільних умов експлуатації, зменшення ризику та контролю трубопровідної системи. Фактично, одна з основних робочих умов, яка повинна мати пріоритет на етапі проєктування нафтопроводу – це вимоги до потоку рідини: забезпечення заданої витрати та режиму руху. На цьому етапі також виявляються неприйнятні умови експлуатації. Наявність правильних інструментів для проєктування, розрахунку та підбору обладнання для систем забезпечення транспортування нафти та нафтопродуктів є важливим апаратом для інженерів у сучасному світі. Маючи для цього відповідне програмне забезпечення, інженери в різних галузях можуть ефективно прогнозувати поведінку та продуктивність проєктів. На сьогоднішній день актуальними є питання,

пов'язані з вирішенням проблеми пошуку ефективного розподілу потоків нафти системою нафтопроводів з метою зниження сумарних енерговитрат. Вирішення цієї проблеми пов'язане з підбором раціональних режимів перекачування для різних технологічних ділянок нафтопроводів із застосуванням сучасних методів математичного програмування. Перехідні процеси потоку рідини можуть створювати неприйнятні робочі умови і тому повинні бути основною частиною оцінки ризику в системі трубопроводу [5]. У зв'язку з цим, дослідницькі роботи зосереджені на розробці комп'ютерної моделі трубопровідної системи. Метою є отримання надійних фізичних характеристик потоку нафти та нафтопродуктів та прогнозування їхньої поведінки, особливо у перехідних процесах.

Аналіз сучасних закордонних і вітчизняних досліджень та публікацій

Зростання населення світу стимулює швидке збільшення глобального попиту на нафту та газ як ключові джерела енергії. [6]. Це призвело до більш складних проєктів, будівництва та введення в експлуатацію трубопровідної системи для полегшення транспортування продуктів з одного місця в інше. Використання ефективних прикладних програм із високою зручністю функцій, такими як графічний інтерфейс користувача для обробки даних, дозволяє забезпечити комп'ютерне моделювання транспортування нафти з урахуванням багатьох фізичних змінних, що дає можливість

удосконалення проєктування нафтопроводу. Відомі ефективно працюючі для галузі нафтопроводного транспорту програмні розробки. Так, система трубопроводів для транспортування сирої нафти була розроблена на основі програмного забезпечення промислового гідроудару [1], відомого як IMPULSE 4.0, розробленого Applied Flow Technology (AFT).

Тепло- та масообмін сирої нафти по трубопроводах є дуже складним процесом, оскільки існує багато параметрів потоку, які впливають на транспортний профіль. Щоб краще зрозуміти поведінку потоку сирої нафти в трубопроводах, необхідні знання обчислювальної гідродинаміки (Computational Fluid Dynamics, CFD) для прогнозування явищ, пов'язаних із потоками рідини. [7], [8]. У дослідженні [8] використовувався алгоритм SIMPLE (Semi Implicit Method Pressure-Linked Equation), який є ітераційною стратегією для розрахунку тиску на розташованій у шаховому порядку сітці. В [9] демонструється хороша узгодженість між чисельними моделюваннями та польовими вимірюваннями. Це свідчить про те, що запропонована чисельна схема була придатним методом для моделювання теплообміну та потоку нафти в заглиблених гарячих трубопроводах сирої нафти. Xing та ін. [9] оптимізували параметри для керування операцією попереднього нагрівання трубопроводу сирої нафти. Поєднання вищої швидкості потоку з нижчою температурою на виході було для них найкращою умовою експлуатації. Кумар та ін. [10] проаналізували термічний вплив на поширення тиску та відновлення потоку для трубопроводу, заповненого слабо стислого сирою нафтою. Поширення тиску пришвидшилось через менший в'язкий опір, і потік відновився швидше в нафтопроводі.

На основі чисельного моделювання авторами [11] у процесі транспортування зі змінною витратою проявляються складні теплогідравлічні характеристики, викликані комплексним впливом змін типу нафти, витрати та поглиненого/виділеного тепла. Для прогнозування перехідних процесів тиску, що супроводжують кавітацію та появу бульбашок газу в гідравлічному трубопроводі, що працює при низькому тиску, у джерелі [12] вивчається математична модель та розроблено метод моделювання з використанням методу кінцевих різниць і платформи Matlab/Simulink. Такий підхід дозволяє прогнозувати динаміку тиску і запобігати критичним сценаріям.

Програмне забезпечення відіграє дедалі важливішу роль у нафтовій і газовій промис-

ловості, забезпечуючи ефективний і точний моніторинг трубопроводів [13].

Для отримання достовірних моделей рідини, які мають бути використані в прикладних програмах, що моделюють рух рідини нафтопроводами, необхідні дані за коефіцієнтами в'язкості.

В Україні Яблунівське родовище є одним із прикладів родовищ важкої нафти. Властивості цієї нафти добре досліджені експериментальним шляхом [14]. У рамках цих досліджень вплив складу на в'язкість сирої нафти був розглянутий у роботі [15]; у роботі [16] досліджено в'язкісно-температурні властивості високов'язких нафт із трьох свердловин Яблунівського родовища (Полтавська обл., Україна) за допомогою ротаційного віскозиметра. Отримані дані мають практичну цінність і можуть бути використані при розрахунках та оптимізації процесу транспортування нафти трубопроводним транспортом.

Авторами [17] для аналізу та представлення результатів використовувався пакет обчислювальної гідродинаміки CFD ANSYS (Fluent). Оскільки рідина, яка використовується в дослідженні, є сирою нафтою, стаття призначена для нафтової та газової промисловості, проєктувальників і виробників трубопроводів.

Найпоширенішим і добре вивченим способом є перекачування з підігрівом нафти, але неправильно обрана температура нагріву і режим роботи можуть призвести до значних техніко-економічних витрат. В [18] вказується, що на сьогоднішній день актуальними є питання, пов'язані з вирішенням проблеми пошуку ефективного розподілу потоків нафти системою нафтопроводів з метою зниження сумарних енерговитрат. Вирішення цієї проблеми пов'язане з підбором раціональних режимів перекачування для різних технологічних ділянок нафтопроводів із застосуванням сучасних методів математичного програмування.

Висвітлення невирішених раніше частин загальної проблеми

Аналіз літературних даних дозволяє зробити висновок, що застосування прикладних програм для розрахунків є інноваційним методом дослідження теплових та гідравлічних характеристик потоку нафти в широкому діапазоні вхідних даних, проте немає рекомендацій щодо алгоритму використання прикладних програм для рішення окремих задач, зокрема перекачування нафти з підігрівом, оцінки їх сумісності та взаємозв'язку.

Мета та завдання досліджень

Метою досліджень є вибір та апробація на конкретному прикладі транспортування нафтопроводом в'язкої нафти сучасних прикладних програм, використання яких дозволяє отримати дані щодо розподілу температури, тиску та швидкості нафти за довжиною та перетином нафтопроводу.

В завдання роботи входило:

- складання алгоритму послідовного використання програм Fusion360, PVTsim Nova та COMSOL Multiphysics, за допомогою яких складається модель нафтопроводу, фізико-хімічна модель нафти, та на їх підставі складання – модель руху рідини в нафтопроводі з урахуванням витрат теплоти в навколишнє середовище;

- проведення на прикладі неізотермічного руху в нафтопроводі попередньо підігрітої нафти Яблунівського родовища розрахунків в програмі COMSOL Multiphysics;

- аналіз даних та оцінка достовірності моделі.

Висвітлення основного матеріалу дослідження

Імітаційне моделювання є взаємопов'язаною системою прикладних програм процесу неізотермічного транспортування нафти на ділянці нафтопроводу і передбачає отримання даних із розподілу швидкості, тиску та температури при русі в умовах «гарячого» транспортування для подальшого використання даних на етапі проектування та оптимізації режимів роботи нафтопроводів.

Запропоновано такі основні етапи моделювання процесу транспортування нафти:

1. Побудова геометрії трубопроводу, що складається з ділянки заданої довжини.

2. Задання залежностей фізичних властивостей нафти, зокрема густини, теплоємності, теплопровідності, в'язкості від температури.

3. Формулювання умов для розрахунку теплообміну нафтопроводу з навколишнім середовищем, задання температури навколишнього середовища.

4. Моделювання гідродинаміки та теплообміну з урахуванням нерівномірного розподілу температури та в'язкості по довжині трубопроводу для заданої геометрії трубопроводу (п. 1) при визначених втратах теплоти від трубопроводу в навколишнє середовище (п. 3), що призводить до змін фізичних властивостей нафти (п. 2).

5. Аналіз отриманих розрахункових даних (за п. 4) зі зміни тиску, швидкості та температури нафти по довжині трубопроводу.

На всій довжині нафтопроводу температура навколишнього середовища приймалась незмінною.

Відповідно п.1, у програмі Fusion360 була побудована тривимірна модель нафтопроводу довжиною $L = 75$ км, діаметром $d = 0,82$ м. Результат моделювання наведений на рис. 1.

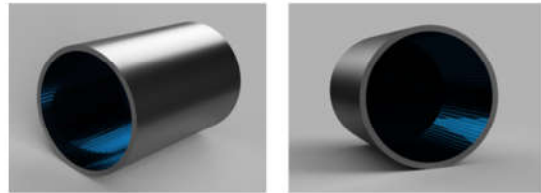


Рисунок 1 – Тривимірна модель фрагменту трубопроводу в програмі Fusion360

Далі в програмі PVTsim Nova була побудована модель рідини (нафти), що містила теплофізичні характеристики нафти у залежності від температури. Для цього була створена умовно нова рідина в матричному вигляді, яка заповнювалась табличними даними залежностей густини, теплоємності, теплопровідності та в'язкості від температури. Вказані залежності були задані у температурному діапазоні від 20 °C до 50 °C. Крім того, у вихідних даних був заданий склад нафти у відсотковому співвідношенні. Для проведення розрахунків розподілу швидкості нафти за перетином та зміни тиску і температури нафти по довжині в програму COMSOL Multiphysics, модуль Fluid Flow, була завантажена трьохвимірна модель трубопроводу (рис. 1) та на неї накладена розрахункова сітка (рис. 2).

На наступному етапі у програмі COMSOL Multiphysics змодельовано фізичні процеси (зміна швидкості, температури та тиску) у нафтопроводі. Дослідженням даної роботи була ділянка магістрального нафтопроводу, яким перекачується в'язка нафта з витратою $G = 507$ кг/с.

Розглядається процес транспортування підігрітої нафти, при якому вона надходить у магістральний нафтопровід при температурі 50°C. Глибина закладання нафтопроводу складає 0,9 м від верху нафтопроводу, що визначає підземний трубопровід неглибокого закладення. У цьому випадку за температуру ґрунту приймається температура зовнішнього повітря. Приймається, що теплопровідність ґрунту в обраному температурному діапазоні постійна та дорівнює $\lambda_{\text{гп}} = 1,75$ Вт/(м К).

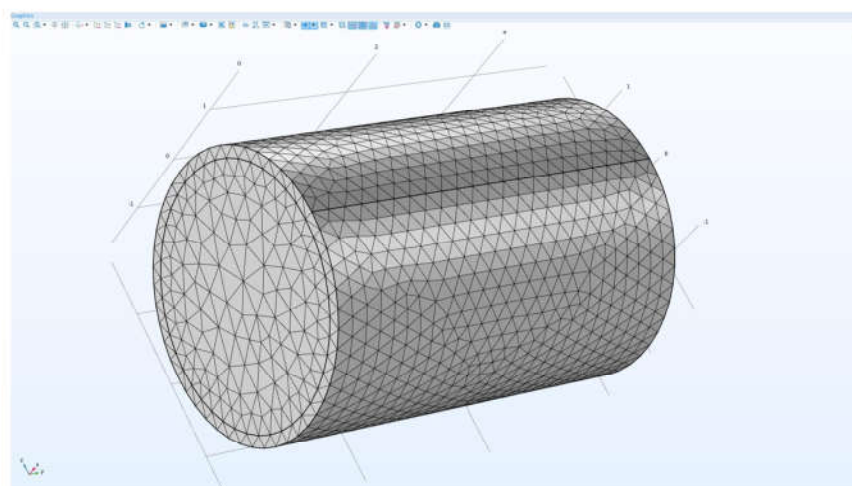


Рисунок 2 – Модель нафтопроводу з розрахунковою сіткою

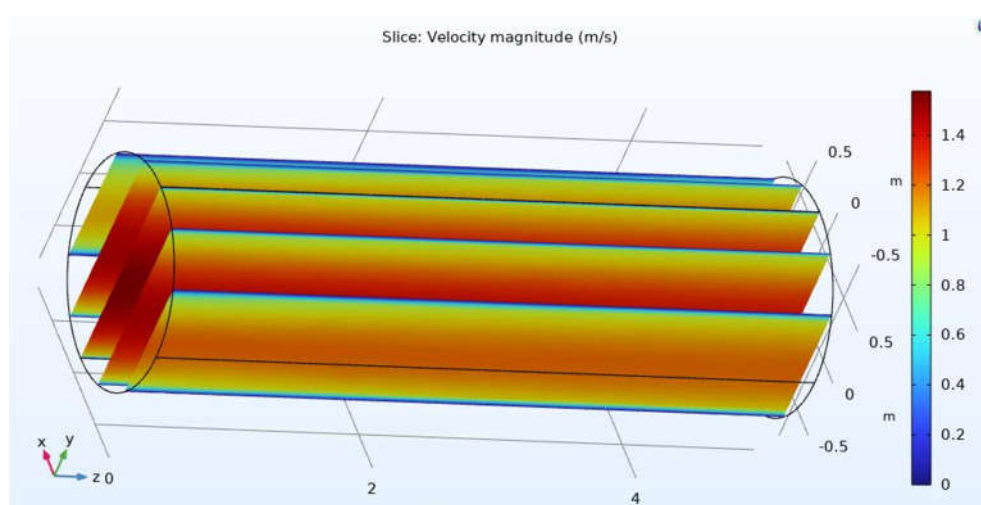


Рисунок 3 – Розподіл швидкості нафти по перерізу нафтопроводу

На рис. 3 представлений розподіл швидкості нафти по перерізу нафтопроводу, отриманий у результаті чисельного моделювання турбулентної течії за допомогою моделі $k-\epsilon$ в середовищі COMSOL Multiphysics.

В програмний комплекс COMSOL Multiphysics для проведення розрахунків внесено дані по залежності коефіцієнтів кінематичної в'язкості та густини від температури. За допомогою модуля Heat Transfer було отримано двовірне температурне поле в циліндричних координатах вздовж трубопроводу з урахуванням витрат в навколишнє середовище при температурах 9°C , 0°C та -10°C (рис. 4). Моделюється нестационарне охолодження нафти у трубі, інтерфейс: Heat Transfer in Solids and Fluids в режимі Time Dependent. Для передачі даних щодо швидкості потоку (рис. 3) в модель теплопереносу використовується інтерфейс Turbulent Flow, $k-\epsilon$.

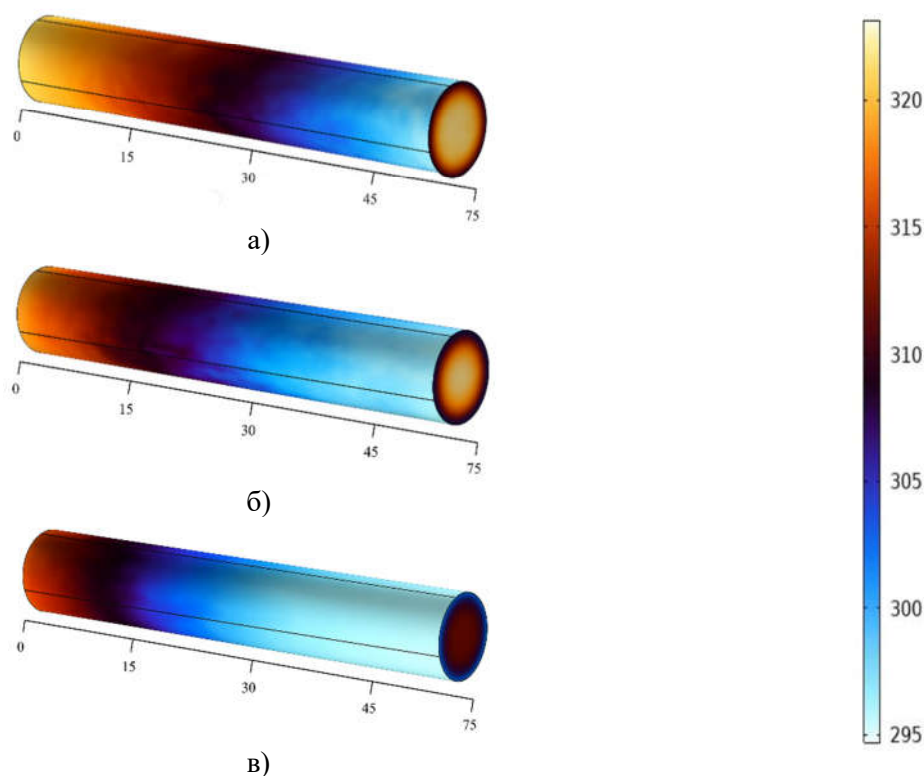
Відповідно рис. 4, зниження температури ґрунту супроводжується зниженням темпера-

тури нафти, що відповідає фізичній картині охолодження рухомої рідини в трубопроводі. Температура по перетину змінюється також відповідно фізичним законам, що свідчить про доцільність використання обраної програми для теплових розрахунків.

Дані по зміні температури нафти за довжиною нафтопроводу передбачаються для використання при розрахунках відстані між пунктами проміжного підігріву.

На рис. 5 наведено результати комп'ютерного моделювання змін тиску по довжині нафтопроводу.

Розрахунок тиску за довжиною відповідає реальній фізичній картині, що спостерігається при витратах на тертя внаслідок дії сил в'язкості. Дані по зміні тиску нафти за довжиною нафтопроводу пропонується використовувати для оцінки відстані між нафтоперекачувальними станціями. В програму Comsol Multiphysics можливе включення різниці геодезичних висот та витрати на місцевих опорах.



а) – температура ґрунту 282 К, б) – температура ґрунту 273 К, в) – температура ґрунту 263 К

Рисунок 4 – Розподіл температури нафти по радіусу та довжині нафтопроводу при різних температурах ґрунту при $l=75000$ м (75 км)

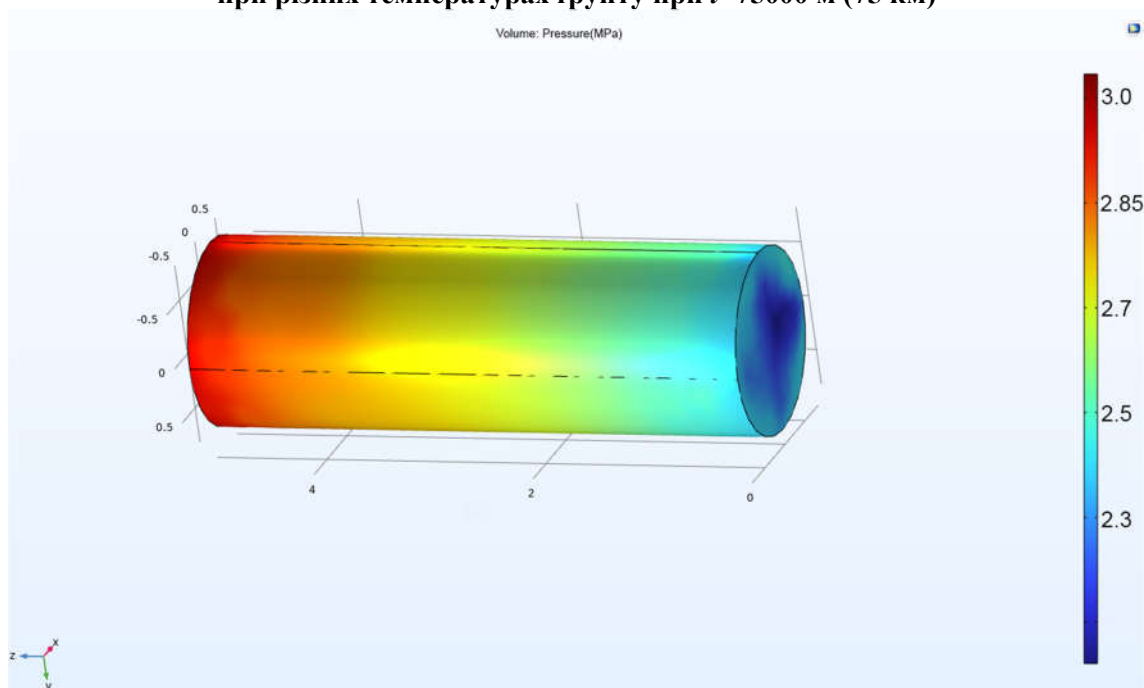


Рисунок 5 – Зміна тиску по довжині нафтопроводу при $l=75000$ м

В роботі прийнято, що теплопровідність ґрунту в обраному температурному діапазоні постійна, що припустимо для ґрунтів, вологість яких можна знехтувати. Також слід зазначити, що метою роботи є, насамперед, апробація комплексу сучасних прикладних програм із визначенням можливості отримання

розподілу швидкості, тиску та температури нафти. В подальшому є можливість враховувати функціональну залежність коефіцієнта теплопровідності від температури та вологості, а також від складу ґрунту на різних ділянках нафтопроводу.

Висновки

Температура нафти знижувалася по довжині трубопроводу внаслідок втрати тепла в навколишнє середовище. У радіальному напрямку температура була максимальною в центрі труби та знижувалася у напрямку до стінки. Швидкість потоку нафти була відносно постійною по довжині трубопроводу, зберігаючи параболічний профіль у кожному перерізі. Інтеграція сучасних технологій, автоматизація процесів та впровадження математичних моделей здатне значно підвищують ефективність та безпеку експлуатації магістральних нафтопроводів. Отримані результати можуть мати практичне значення для нафтогазової галузі та бути використані для покращення технологій транспортування нафти у різних умовах.

Представлені в роботі алгоритм моделювання нафтопроводу та послідовність застосування прикладних програм Fusion360, PVTsim Nova та COMSOL Multiphysics пропонуються для проведення досліджень процесів теплообміну та гідродинаміки при трубопровідному транспорту нафти.

Подяки

Відсутні.

Конфлікт інтересів

Відсутній.

Список використаних джерел

1. Enatimi Boye T., Samuel O. D. Computer-based method of design and modeling of transient flow in crude oil pipeline system. *Journal of Engineering Research*. 2020. Vol. 8, no. 3. P. 219–239. URL: <https://doi.org/10.36909/jer.v8i3.6651>
2. Thorley A. R. D. Fluid Transients in Pipeline Systems. 2nd ed. The American Society of Mechanical Engineers, 2004.
3. Ellenberger P. Piping and Pipeline Calculations Manual: Construction, Design Fabrication and Examination. Elsevier Science & Technology Books, 2014.
4. Brimberg J. et al. An Oil Pipeline Design Problem. *Operations Research*. 2003. Vol. 51, no. 2. P. 228–239. URL: <https://doi.org/10.1287/opre.51.2.228.12786>
5. Muhammad A. B., Nasir A., Ayo S. A., Ige B. Hydraulic Transient Analysis in Fluid Pipeline: A Review. *Journal of science technology and education*. 2019. Vol. 7, no. 4. P. 291–299.
6. IEEJ Outlook 2018 -Prospects and challenges until 2050- Presentation materials - The Institute of Energy Economics, Japan - IEEJ. *The Institute of Energy Economics, Japan - IEEJ*. URL: https://eneken.ieej.or.jp/en/report_detail.php?article_info_id=7577
7. Rukthong W. et al. Computational Fluid Dynamics Simulation of a Crude Oil Transport Pipeline: Effect of Crude Oil Properties. *Engineering Journal*. 2016. Vol. 20, no. 3. P. 145–154. URL: <https://doi.org/10.4186/ej.2016.20.3.145>
8. Yu B. et al. Numerical simulation of a buried hot crude oil pipeline under normal operation. *Applied Thermal Engineering*. 2010. Vol. 30, no. 17–18. P. 2670–2679. URL: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2010.07.016>
9. Xing X. et al. Optimizing control parameters for crude pipeline preheating through numerical simulation. *Applied Thermal Engineering*. 2013. Vol. 51, no. 1–2. P. 890–898. URL: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2012.08.060>
10. Kumar L., Paso K., Sjöblom J. Numerical study of flow restart in the pipeline filled with weakly compressible waxy crude oil in non-isothermal condition. *Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics*. 2015. Vol. 223. P. 9–19. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jnnfm.2015.05.002>
11. Chen Z. et al. Thermo-Hydraulic Characteristics of Non-Isothermal Batch Transportation Pipeline System with Different Inlet Oil Temperature. *Journal of Thermal Science*. 2023. Vol. 32, no. 3. P. 965–981. URL: <https://doi.org/10.1007/s11630-023-1812-0>
12. Zhao T. Y. et al. Analysis of High Pressure Transients in Water Hydraulic Pipeline Using Matlab/Simulink. *Key Engineering Materials*. 2014. Vol. 621. P. 311–316. URL: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/kem.621.311>
13. Pipe Tracking Software: Features, Options, and Best Practices. *One Unified Ecosystem for Steel Products - STEELDna*. URL: <https://www.steeldna.com/blog-post/pipe-tracking-software-features-options-and-best-practices>

- 14.Топільницький П. І., Романчук В. В., Ярмола Т. В., Зінченко Д. В. Фізико-хімічні властивості важких нафт Яблунівського родовища з високим вмістом сірки. *Chemistry, Technology and Application of Substances*. 2020. Vol. 3, № 1. С. 75–82. URL: <https://doi.org/10.23939/ctas2020.01.075>
- 15.Santos I. C. V. M., Oliveira P. F., Mansur C. R. E. Factors that affect crude oil viscosity and techniques to reduce it: A Review. *Brazilian Journal of Petroleum and Gas*. 2017. Vol. 11, no. 2. P. 115–130. URL: <https://doi.org/10.5419/bjpg2017-0010>
- 16.Romanchuk O. O., Topilnytskyi P. I., Yarmola T. V. Study of the viscosity-temperature properties of heavy oil from the yablunivsky field of Ukraine. *Chemistry, technology and application of substances*. 2023. Vol. 6, no. 2. P. 38–48. URL: <https://doi.org/10.23939/ctas2023.02.038>
- 17.Kamal K. K., A. ALI J., khidhir D. K. Modeling the Flow of Crude Oil in Cracked Pipeline. *International Journal of Scientific Research in Science and Technology*. 2020. P. 226–233. URL: <https://doi.org/10.32628/ijrst207468>
- 18.Beloglazov I., Morenov V., Leusheva E. Flow modeling of high-viscosity fluids in pipeline infrastructure of oil and gas enterprises. // *Egyptian Journal of Petroleum*. 2021. Vol. 30, no. 4. P. 43–51. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ejpe.2021.11.001>

References

1. Enatimi Boye, T., & Samuel, O. D. (2020). Computer-based method of design and modeling of transient flow in crude oil pipeline system. *Journal of Engineering Research*, 8(3), 219–239. <https://doi.org/10.36909/jer.v8i3.6651>
2. Thorley, A. R. D. (2004). *Fluid Transients in Pipeline Systems* (2nd ed.). The American Society of Mechanical Engineers.
3. Ellenberger, P. (2014). *Piping and Pipeline Calculations Manual: Construction, Design Fabrication and Examination*. Elsevier Science & Technology Books.
4. Brimberg, J., Mehrez, A., & Stulman, A. (2003). An Oil Pipeline Design Problem. *Operations Research*, 51(2), 228–239. <https://doi.org/10.1287/opre.51.2.228.12786>
5. Muhammad, A. B., Nasir, A., Ayo, S. A., & Ige, B. (2019). Hydraulic Transient Analysis in Fluid Pipeline: A Review. *Journal of science technology and education*, 7(4), 291–299.
6. The Institute of Energy Economics, Japan - IEEJ. (2018). *IEEJ Outlook 2018 -Prospects and challenges until 2050- Presentation materials - The Institute of Energy Economics, Japan - IEEJ*. https://eneken.ieej.or.jp/en/report_detail.php?article_info_id=7577
7. Rukthong, W., Thetkathuek, A., & Sirivat, A. (2016). Computational Fluid Dynamics Simulation of a Crude Oil Transport Pipeline: Effect of Crude Oil Properties. *Engineering Journal*, 20(3), 145–154. <https://doi.org/10.4186/ej.2016.20.3.145>
8. Yu, B., Zhao, D., Ma, G., Ma, Y., Feng, X., Wang, Q., & Du, Y. (2010). Numerical simulation of a buried hot crude oil pipeline under normal operation. *Applied Thermal Engineering*, 30(17-18), 2670–2679. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2010.07.016>
9. Xing, X., Yu, W., & Wei, F. (2013). Optimizing control parameters for crude pipeline preheating through numerical simulation. *Applied Thermal Engineering*, 51(1-2), 890–898. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2012.08.060>
- 10.Kumar, L., Paso, K., & Sjöblom, J. (2015). Numerical study of flow restart in the pipeline filled with weakly compressible waxy crude oil in non-isothermal condition. *Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics*, 223, 9–19. <https://doi.org/10.1016/j.jnnfm.2015.05.002>
- 11.Chen, Z., Ma, G., & Ma, Y. (2023). Thermo-Hydraulic Characteristics of Non-Isothermal Batch Transportation Pipeline System with Different Inlet Oil Temperature. *Journal of Thermal Science*, 32(3), 965–981. <https://doi.org/10.1007/s11630-023-1812-0>
- 12.Zhao, T. Y., Dong, S., Zhang, J. W., & Li, C. S. (2014). Analysis of High Pressure Transients in Water Hydraulic Pipeline Using Matlab/Simulink. *Key Engineering Materials*, 621, 311–316. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/kem.621.311>
- 13.*Pipe Tracking Software: Features, Options, and Best Practices*. Retrieved <https://www.steeldna.com/blog-post/pipe-tracking-software-features-options-and-best-practices>

14. Topilnytskyi, P. I., Romanchuk, V. V., Yarmola, T. V., & Zinchenko, D. V. (2020). Fizyko-khimichni vlastyosti vazhkykh naft Yablunivskoho rodovyshcha z vysokym vmistom sirky. *Chemistry, Technology and Application of Substances*, 3(1), 75–82. <https://doi.org/10.23939/ctas2020.01.075> [in Ukrainian]
15. Santos, I. C. V. M., Oliveira, P. F., & Mansur, C. R. E. (2017). Factors that affect crude oil viscosity and techniques to reduce it: A Review. *Brazilian Journal of Petroleum and Gas*, 11(2), 115–130. <https://doi.org/10.5419/bjpg2017-0010>
16. Romanchuk, O. O., Topilnytskyi, P. I., & Yarmola, T. V. (2023). Study of the viscosity-temperature properties of heavy oil from the yablunivsky field of Ukraine. *Chemistry, technology and application of substances*, 6(2), 38–48. <https://doi.org/10.23939/ctas2023.02.038>
17. Kamal, K. K., A. ALI, J., & khidhir, D. K. (2020). Modeling the Flow of Crude Oil in Cracked Pipeline. *International Journal of Scientific Research in Science and Technology*, 226–233. <https://doi.org/10.32628/ijrst207468>
18. Beloglazov, I., Morenov, V., & Leusheva, E. (2021). Flow modeling of high-viscosity fluids in pipeline infrastructure of oil and gas enterprises. *Egyptian Journal of Petroleum*, 30(4), 43–51. <https://doi.org/10.1016/j.ejpe.2021.11.001>

USE OF APPLICATION SOFTWARE FOR CALCULATIONS OF THERMAL HYDRAULIC CHARACTERISTICS OF OIL FLOW

Mukminov I. I.

PhD, Senior Lecturer
Odessa National Technological University
112 Kanatna Street, Odessa, 65039, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-3674-9289>
e-mail: fatalrew@gmail.com

Volgusheva N. V.

Кандидат технічних наук, доцент
Odessa National Technological University
112 Kanatna Street, Odessa, 65039, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-9984-6502>
e-mail: natvolgusheva@gmail.com

Boshkova I. L.

Doctor of Technical Sciences, Professor
Odessa National Technological University
112 Kanatna Street, Odessa, 65039, Ukraine
<https://orcid.org/0009-0009-5599-2709>
e-mail: boshkova.irina@gmail.com

Titlov O. S.

Doctor of Technical Sciences, Professor
Odessa National Technological University
112 Kanatna Street, Odessa, 65039, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-1908-5713>
e-mail: titlov1959@gmail.com

Altman E. I.

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Odessa National Technological University

112 Kanatna Street, Odessa, 65039, Ukraine

<http://orcid.org/0000-0002-8934-2036>

e-mail: ellaa@ukr.net

Abstract. The results of modelling non-isothermal oil movement in a section of the main oil pipeline are presented. It is emphasised that finding effective oil transportation methods through the pipeline system is a topical issue related to establishing rational pumping modes. The feasibility of using modern mathematical programming methods and application software is determined; however, the latter requires direct participation from programmer users with an understanding of the development area. To study the thermal and hydraulic characteristics of oil flow in an oil pipeline, it is necessary to consider many factors and select the correct determinants. The main stages of the modelling process are presented: construction of the oil pipeline geometry in the Fusion360 programme; compilation of a physical and chemical oil model in the PVTsim Nova programme; and modelling of heat transfer and hydrodynamics in the COMSOL Multiphysics programme. An example of the calculation of the transportation of heated viscous oil is given, in which the oil enters the main oil pipeline at a temperature of 50 °C. The pipeline is a shallow-laid underground pipeline at a depth of 0.9 m. The change in oil temperature along the cross-section and length of the channel was studied, taking into account losses to the environment. It has been proven that a decrease in soil temperature is accompanied by a decrease in oil temperature. This corresponds to the physical process of cooling a moving fluid in a pipeline. The temperature changes across the cross-section in accordance with physical laws, indicating the feasibility of using the selected program for thermal calculations. According to the modelling results, data on oil velocity and pressure changes along the length of the pipeline were obtained. The presented data on pressure changes takes into account costs along the length of the oil pipeline; however, it would also be possible to include the difference in geodetic heights and costs at local supports in the program.

Keywords: oil pipeline; modeling stages; environmental flows; pressure; viscosity; temperature.