УДК 622.692.4
DOI: 10.31471/1993-9973-2023-2(87)-33-40

ПРОГНОЗУВАННЯ ВТРАТ НАФТОПРОДУКТІВ ВІД ВИПАРОВУВАННЯ НА АЗС

Ю. І. Дорошенко

ІФНТУНГ; 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська,15; тел. (03422) 42166;
e-mail: yuliia.doroshenko@nung.edu.ua

Нафтогазова галузь є важливою складовою паливно-енергетичного комплексу України. Разом з іншими галузями вона забезпечує пошук, розвідку та розробку родовищ нафти і газу, транспортування, переробку, зберігання та реалізацію нафти і газу, а також продуктів їх переробки. Нафтогазова галузь забезпечує енергетичну незалежність держави, тому її стану та розвитку приділяється значна увага. Нафтогазові підприємства за рівнем шкідливої дії на природне середовище вважаються об'єктами підвищеного екологічного ризику. Найбільша увага приділяється проблемі забруднення атмосфери шкідливими речовинами, що утворюються при застосуванні нафтопродуктів, зокрема автомобільних бензинів. В останні роки переглядаються та жорсткішають стандарти, що обмежують викиди до атмосфери шкідливих сполук під час експлуатації транспортних засобів та регламентують показники якості моторних палив. Стрімке зростання автотранспортних засобів призводить до збільшення кількості автозаправних станцій (АЗС), кожна з яких є джерелом викиду забруднюючих речовин. Основними забруднюючими речовинами в процесі експлуатації АЗС при використанні бензину, дизельного палива та скрапленого вуглеводневого газу є: бензин, вуглеводні насичені, пропан, бутан, етан, метан. Безпосередньо джерелами викиду забруднюючих речовин на АЗС під час виконання технологічних операцій є: дихальний клапан резервуару з пальним (організоване джерело), забруднююча речовина утворюється під час заправки резервуару з бензовозу, а також при зберіганні в резервуарах: гирло бензобаку (неорганізоване джерело), забруднююча речовина утворюється під час заправки баків автомобільних транспортних засобів. АЗС є стаціонарними джерелами забруднення атмосферного повітря через випарування бензину й дизельного палива з резервуарів для їх зберігання. Вміст цих речовин у атмосферному повітрі міста не контролюється на постах спостереження. Проблема забезпечення транспорту екологічно чистим паливом визнана, зокрема в США та країнах ЄС, проблемою національної безпеки, яка вимагає запровадження невідкладних надзвичайних заходів. Посилення екологічних вимог до транспортних засобів та моторних палив необхідно й в Україні. Тому нагальною проблемою сучасності є розробка та освоєння новітніх технологій виробництва автомобільних бензинів, які б відповідали найбільш жорстким екологічним вимогам. Отже, розробка природоохоронних заходів на території автозаправних комплексів є актуальною задачею збереження довкілля. Проаналізовано безліч підходів до відпуску нафтопродуктів споживачам на автозаправних станціях. Наукова робота містить основні розрахунки, пов'язані з процесами прийому, зберігання і відпуску нафтопродуктів споживачам на автозаправних станціях. Зокрема проведено порівняльний аналіз втрат нафтопродуктів при заповненні автоцистерни відкрити струменем, закритим та комбінованим способом. На основі отриманих результатів побудовано моделі для прогнозування втрат за кожним із типів заповнення автоцистерни на АЗС.

Ключові слова: втрати, випаровування, автозаправна станція, налив, відкритий струмінь, закритий струмінь.

The oil and gas industry is an important component of the fuel and energy complex of Ukraine. Together with other industries, it provides search, exploration and development of oil and gas deposits, transportation, processing, storage and sale of oil and gas, as well as their processing products. The oil and gas industry ensures the country's energy independence, so considerable attention is paid to its condition and development. Oil and gas enterprises are considered objects of increased environmental risk based on the level of harmful effects on the natural environment. The greatest attention is paid to the problem of atmospheric pollution by harmful substances produced by the use of petroleum products, in particular automobile gasoline. In recent years, the standards limiting the emissions of harmful compounds into the atmosphere during the operation of vehicles and regulating the quality indicators of motor fuels have been revised and tightened. The rapid growth of motor vehicles leads to an increase in the number of gas stations (gas stations). Every gas station is a source of pollutants. The main polluting substances in the process of gas station operation when using gasoline, diesel fuel, and liquefied hydrocarbon gas are: gasoline, saturated hydrocarbons, propane, butane, ethane, methane. The direct sources of emissions of pollutants at gas stations during technological operations are: the breather valve of the fuel tank (organized source), the pollutant is formed during filling of the tank from a gasoline truck, as well as during storage in tanks: the mouth of the gas tank (unorganized source), pollutant is formed during refueling of the tanks of motor vehicles. Gas stations are stationary sources of air pollution due to the evaporation of gasoline and diesel fuel from their storage tanks. The

content of these substances in the atmospheric air of the city is not controlled at monitoring stations. The problem of providing transport with ecologically clean fuel is recognized, in particular in the USA and EU countries, as a national security problem that requires the introduction of urgent emergency measures. Strengthening of environmental requirements for vehicles and motor fuels is also necessary in Ukraine. Therefore, the urgent problem of modern times is the development and mastering of the latest technologies for the production of automobile gasoline, which would meet the strictest environmental requirements. Therefore, the development of environmental protection measures on the territory of gas stations is an urgent task of environmental protection. In this scientific work, an analysis of various approaches to the sale of petroleum products to consumers at gas stations was carried out. The scientific work contains basic calculations related to the processes of reception, storage and release of petroleum products to consumers at gas stations. In particular, a comparative analysis of losses of oil products was carried out when filling a tank truck with an open jet, closed and combined method. On the basis of the obtained results, models were built for forecasting losses for each type of tank truck filling at gas stations.

Key words: losses, evaporation, filling station, filling, open jet, closed jet.

Вступ

Усунення втрат нафтопродуктів – один із найважливіших шляхів економії паливно-енергетичних ресурсів, які відіграють провідну роль у розвитку сучасної економіки усіх країн світу.

При організації економії нафтопродуктів передбачається вивчення питання, а потім зниження та наступного усунення різного роду втрат нафтопродуктів на усіх стадіях їх доставки до споживачів. Одним із основних джерел економії нафтових ресурсів є усунення втрат при їх видобутку, транспортуванні, зберіганні та переробці.

На сучасному рівні розвитку засобів транспорту і зберігання вуглеводнів основним видом втрат нафтопродуктів, які не можуть бути повністю усунені, є втрати від випаровувань із резервуарів на об'єктах зберігання та розподілу нафтопродуктів (рис. 1). Однак втрати полягають не лише у зменшенні об'єму палива і, відповідно, економічних збитках, йдеться і про в негативний вплив на навколишнє середовище. У зв'язку із цим боротьба із втратами нафтопродуктів від випаровувань важлива не тільки з точки зору економічного ефекту, але й для забезпечення охорони довкілля.

У результаті випаровування змінюються фізичні показники нафтопродуктів: збільшується густина, вага фракції, знижується октанове число. Це призводить до погіршення якості бензину і збільшення його витрати при експлуатації транспортних засобів.

Дослідження, присвячене виявленню закономірностей втрат нафтопродуктів, є досить актуальним і дозволить вибрати оптимальний варіант розподілу нафтопродуктів та спрогнозувати втрати.

Аналіз сучасних закордонних і вітчизняних досліджень і публікацій

Закордонні спеціалісти оцінюють надходження вуглеводнів при випаровуванні нафти і нафтопродуктів у атмосферу від 20 до 100 млн тонн на рік, і близько 9 млн тонн вуглеводнів, на їх думку, випадає у вигляді опадів з атмосфери.

Особливу увагу слід приділяти впливу автозаправних станцій на навколишнє середовище, оскільки вони, як правило, знаходяться у містах із високим ступенем забудови і значною концентрацією автотранспорту. Структура втрат нафтопродуктів від випаровування по об'єктах представлена на рисунку 2 і підтверджує значущість питання втрат від випаровування саме на автозаправних станціях.

Як бачимо, найбільший відсоток випаровувань припадає на автозаправні станції (АЗС).

Автозаправні станції (АЗС) являються кінцевою ланкою нафтопродуктозабезпечення. Від їх правильної експлуатації залежить діяльність багатьох підприємств, організацій та установ різних форм власності. Технічно правильна, раціональна експлуатація АЗС можлива тільки добре підготовленими спеціалістами, які мають чітке уявлення про техніку і технологію, що застосовується. Актуальною задачею є запобігання втратам нафтопродуктів від випаровування, розливу, забруднення і т.д. Удосконалення експлуатації АЗС дозволяє підвищувати ефективність роботи автомобільного транспорту, їх пожежну і екологічну безпечність. З практичної точки зору, автозаправні станції – це єдині об'єкти, які забезпечують нафтопродуктами дрібних споживачів. І це має дуже важливе значення. Без їхньої безперервної роботи практично була би паралізована вся мережа автотранспорту [1 – 7].

Європейська комісія в грудні 1990 року опублікувала робочий документ, в якому конкретизували директивні пропозиції щодо обмеження викидів в атмосферу летких органічних сполук в системі розподілу автомобільного бензину – від нафтопереробних заводів до АЗС. У документі відмічалось, що пари органічних сполук приймають участь у фотохімічних реак-

ISSN 1993–9973 print
ISSN 2415–332X online

Рисунок 1 – Наслідки від випаровування нафтопродуктів

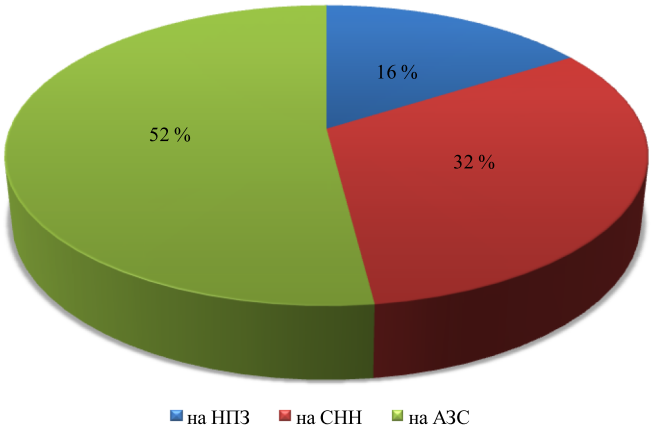

Рисунок 2 – Структура втрат нафтопродуктів від випаровування по об'єктах нафтового комплексу

ціях з утворенням озону, який впливає на здоров'я людей, стан навколишнього середовища. Комісією в документі було викладено ряд заходів, які протягом 10-20 років дозволили би скоротити викиди органічних речовин із транспортних засобів на 80-90 %.

У теперішній час у Великобританії втрати вуглеводнів від випаровувань у нафтосховищах оцінюється від 0,01 до 0,27 % від загальної кількості нафтопродукту, яка проходить через сховище, залежно від типу резервуарів для зберігання.

У США ще у 70-х роках були прийняті нормативи, які встановлюють кількість допустимих викидів парів вуглеводнів в атмосферу.

США та європейські країни обладнали АЗС системами збору парів вуглеводнів при заповненні резервуарів бензином і повернення їх в автомобільну цистерну.

Таким чином, забруднення атмосфери транспортними засобами є головною проблемою за рахунок постійного збільшення перевезень. Особливо це актуально в теперішній важкий військовий час.

В середньому автозаправні станції викидають в атмосферу більше 100 тис. тонн парів вуглеводнів.

За даними Токійського бюро з боротьби із забрудненнями встановлено, що з моменту наповнення цистерни нафтопродуктами на нафтобазах до видачі його на АЗС у паливні баки автомобілів від випаровування витрачається 0,64 % палива. Втрати вуглеводнів від випаровування на АЗС із резервуарів і наливних баків автомобілів відбуваються при заправленні через паливозаправну колонку (ПЗК), а також внаслідок порушення герметичності колонок, заправних шлангів, з'єднань щілинних прокладок.

Французькі вчені оцінюють втрати від випаровування вуглеводневого палива при заправленні автомобілів в 0,19 % від загального обсягу нафтопродуктів, німецькі – 0,175 %, англійські – 0,18 %.

При наливі падаючим струменем, коли наливна труба (або обладнання) не доходить до нижньої утворюючої обичайки цистерни, втрати навіть у зимовий час досягають 0,5-0,6 % від обсягу наливного продукту.

Визначено кількісні характеристики даних видів випаровування нафти і нафтопродуктів на Україні:

- втрати бензину при зберіганні його в резервуарах, наливанні його в залізничні і автомобільні цистерни, заправлянні автомобілів на АЗС - близько 100 тисяч тонн на рік;

- додаткові втрати на АЗС при випаровуванні – 50-80 кг при розвантаженні – 18-20 тонн, а з врахуванням випаровувань при заправлянні автомобілів – до 60 тонн на рік;

- під час переливання бензину утворюється "залповий" (максимальний) рівень втрат легких вуглеводнів у розмірі 0,3-0,6 % від маси продукту;

- при зберіганні випаровування становлять 0,1-0,4 % від загального обсягу бензину, так із однієї АЗС із загальним обсягом ємностей 40 м^3 викидається в атмосферу близько 4 тонн легких вуглеводнів на рік.

Середній склад пароповітряної суміші, що "видихається" з резервуарів, включає 32 % масової частки вуглеводнів метанового ряду, 12 % бензинових фракцій і 56 % повітря. Такі викиди, крім забруднення навколишнього середовища, створюють пожежо-вибухонебезпечну ситуацію в районі нафтобаз і АЗС.

Образно кажучи, автозаправна станція – це різновид малої розподільчої нафтобази, яка забезпечує пальним автомобілі. У зв'язку з цим багато матеріалу із області проєктування і експлуатації нафтобаз використовується і для АЗС.

Актуальність проблеми забруднення навколишнього середовища зросло за останні роки через суттєве розширення мережі автозаправних станцій суттєво розширилась і продовжуватиме розширюватись. Це пов'язано із збільшенням автопарку країни, а також прагненням нафтових компаній отримувати «живі» гроші від реалізації нафтопродуктів. Однак при цьому на вітчизняних АЗС на сьогодні майже не передбачено наявності технічних засобів для скорочення викидів вуглеводнів у атмосферу.

Попри досить значні втрати бензину від випаровування, резервуари АЗС, як правило, не мають ніяких засобів скорочення втрат, крім дихальних клапанів. Застосовувати понтони в них не можна, тому що зі зміною рівня рідини в резервуарі площа дзеркала її поверхні також суттєво змінюється. Досвід застосування дисків-відбивачів відсутній. Перепуск парів з резервуарів АЗС в ті резервуари, що спорожнюються, не використовується через технічні труднощі з обладнанням автоцистерн додатковими муфтами і клапанами, а також труднощами створення регенераційних установок для конденсації парів бензинів на нафтобазах, куди доставляють пароповітряну суміш автоцистерни після приймання її з резервуарів АЗС.

У проєктах АЗС як засоби зменшення втрат від випаровування використовуються газозрівнювальні системи. Однак специфіка роботи резервуарів АЗС полягає в тому, що заповнення їх здійснюється автоцистернами з невеликими обсягами, а спорожнювання - цілодобово обсягами у кілька десятків разів меншими, ніж обсяги автоцистерни.

Мета роботи

Вищевказане дозволяє сформувати мету наукової роботи: виявити закономірності зміни втрат нафтопродуктів від випаровування при різних методах наливу у цистерни та провести математичне моделювання прогнозування втрат при технологічних операціях наливу нафтопродуктів споживачам залежно від навколишніх температурних режимів.

Основними завданнями роботи є:

- дослідження впливу температурних режимів на втрати бензинів від випаровування та оцінювання втрат.

Висвітлення основного матеріалу дослідження

Проведемо розрахунок для визначення втрат нафтопродуктів при заповненні колони транспортних засобів, який складається з чотирьох автоцистерн АЦ – 8,5 – 255Б на базовому шасі КрАЗ 255Б. Дана автоцистерна має експлуатаційний об'єм цистерни 8,5 м^3. Автобензин нагрівся до 25^{0}С. Наливання проводиться при атмосферному тиску $P_г$=101320 Па. Цистерна еліптичної форми; мала вісь цього еліпса складає 1,22 м.

Маючи достатню кількість даних, визначимо втрати бензину при різних методах заповнення цистерни.

При заповненні цистерни зверху відкритим струменем втрати визначаються за формулою

ISSN 1993–9973 print
ISSN 2415–332X online

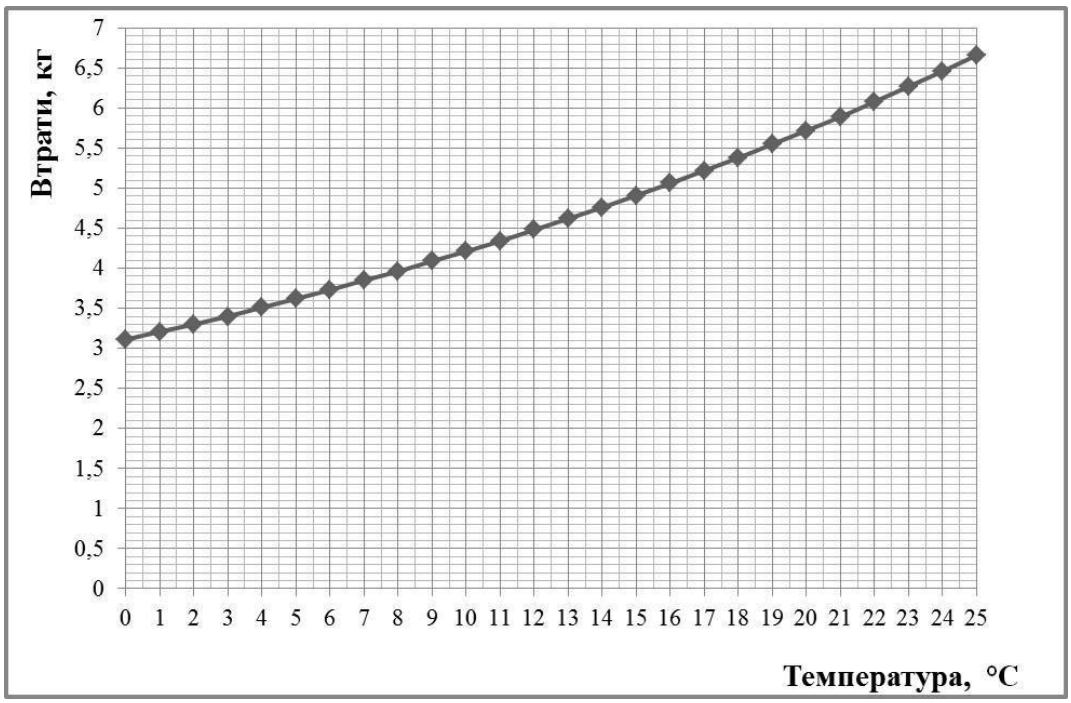

Рисунок 3 – Графік зміни величини втрат бензину залежно від температури при наливанні автоцистерни зверху відкритим струменем

$$G_T = k_T \cdot V_{зак} \cdot \rho_y \cdot (\frac{P_s}{P_\gamma}), \qquad (1)$$

де k_τ – коефіцієнт, який враховує ступінь насиченості пароповітряної суміші і перевищення об`єму пароповітряної суміші, яка витісняється, над об'ємом $V_{зак}$ нафтопродукту, що закачується.

Величина коефіцієнт k_τ залежить від умов наливання. При заповненні транспортних ємностей зверху відкритим струменем використовується формула

$$k_T = (0,7 + \sqrt[3]{\tau})^{-1}, \qquad (2)$$

де τ – час наливу, год.

Визначаємо тиск насичених парів при заданій температурі і відношенні фаз за формулою

$$P_s = 1,22 \cdot P_r \cdot e^{-b_s \cdot (311-T)} \cdot F(V_П / V_{ж}), \qquad (3)$$

де P_r – тиск насичених парів нафтопродукту за Рейдом T_r =311K; відношення об'ємів парової і рідкої фаз = 4);

b_s – емпіричний коефіцієнт;

$F(V_П / V_{ж})$ – поправка, що враховує вплив відношення фаз на тиск насичення;

T – температура нафтопродукту при наливанні.

На рисунку 3 зображено графічну зміну величини втрат бензину при заповненні однієї автоцистерни залежно від температури при наливанні автоцистерни зверху відкритим струменем.

При наливанні зверху або знизу закритим струменем втрати визначаються також за формулою (1), але формула для визначення коефіцієнта k_τ має дещо інший вигляд

$$k_T = 0,85 \cdot a_T \cdot \sqrt{\tau}, \qquad (4)$$

де a_τ – постійний коефіцієнт

$$a_T = \begin{cases} 1 & при \ H_E \le 1м, \\ 1/\mathrm{H_E} & при \ H_E > 1м, \end{cases} \qquad (5)$$

де H_E – висота (діаметр котла) ємності, яка заповнюється, м.

На рисунку 4 зображено графічну зміну величини втрат бензину при заповненні однієї автоцистерни залежно від температури при наливанні автоцистерни зверху закритим струменем.

При наливанні спочатку відкритим, а потім закритим струменем знову використовуємо формулу (1), але формула для визначення коефіцієнта k_τ, і в цьому випадку набуває іншого вигляду:

$$k_\tau = (1,1 + \sqrt[3]{\tau})^{-1}. \qquad (6)$$

На рисунку 5 зображено графічну залежність величини втрат бензину при заповненні однієї автоцистерни залежно від температури при наливанні автоцистерни спочатку відкритим, а потім закритим струменем.

На основі отриманих результатів було проведено графічне зіставлення втрат при різних способах наливання автоцистерн та побудовано

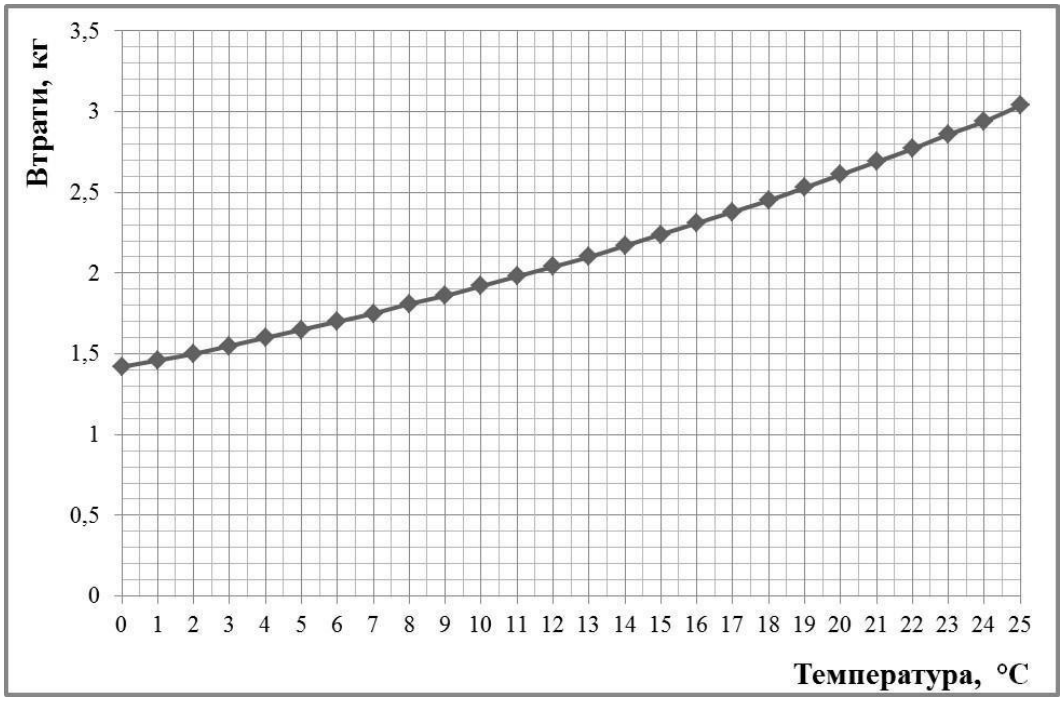

Рисунок 4 – Графік зміни величини втрат бензину залежно від температури при наливанні автоцистерни зверху закритим струменем

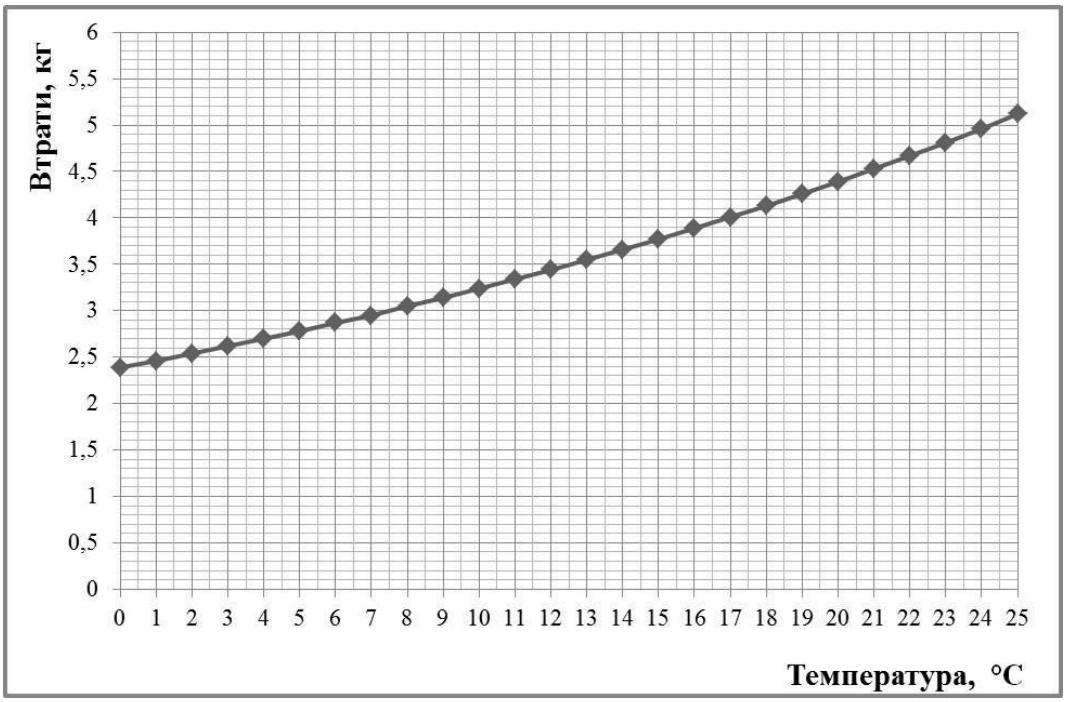

Рисунок 5 – Графік зміни величини втрат бензину залежно від температури при наливанні автоцистерни спочатку відкритим, а потім закритим струменем

математичні моделі, які дозволять спрогнозувати втрати нафтопродуктів залежно від температури навколишнього середовища.

Графічне співставлення величин втрат при різних способах наливання автоцистерн та відповідні математичні моделі представлено на рисунку 6.

Висновки

Провівши дані розрахунки і зіставляючи отримані результати, можемо зробити висновок про вигідність застосування того чи іншого методу наливання автоцистерн. Проведені розрахунки підтвердили наше очікування – найменші втрати спостерігаються при наливанні

ISSN 1993–9973 print
ISSN 2415–332X online

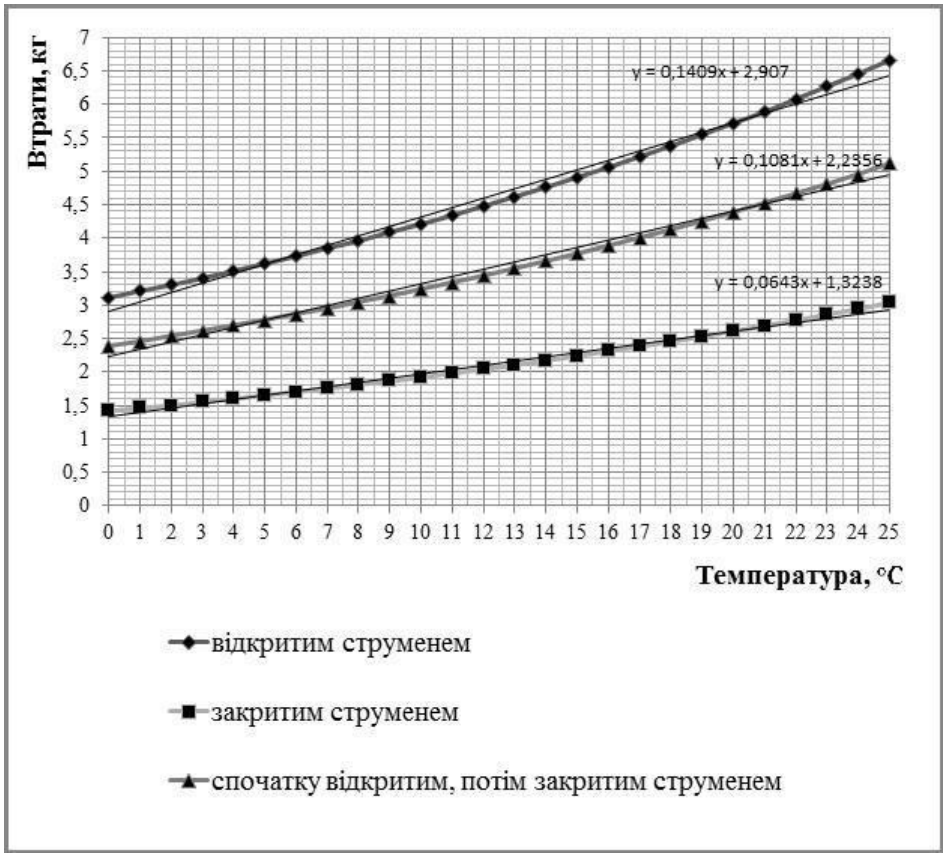

Рисунок 6 – Графічне зіставлення величин втрат при різних способах наливання автоцистерн

закритим струменем. Розрахунки втрат бензину проводились для температурного діапазону від 0 до 25 °С для всіх описаних вище способів наливання. Як бачимо, найбільші втрати спостерігаються при наливанні відкритим струменем, а найменші – закритим струменем. Комбінований спосіб характеризується середніми значеннями. Своїх максимальних значень втрати досягають при максимальній температурі досліджуваного періоду.

Побудовані математичні моделі дозволять проводити прогнозування можливих втрат залежно від температурних умов.

Література

1. Blewins T.R., Van Matre F.G. How Conoco justified vapor recovery. *Petrol Refiner*, 1961, X, Vol 40, 10, P. 148-150.

2. Кулік О. Нафтотранспортна система України. Погляд у минуле та майбутнє. *Нефть и газ*. 2002. № 8. С. 38-41.

3. Інструкція щодо вимог пожежної безпеки під час проєктування автозаправних станцій, затверджена наказом МНС України від 06.12.05 р. No 376: НАПБ Б.05.019-2005. *Офіційний вісник України* від 05.04.06, 2006. 25 с.

4. Споруди транспорту. Метрополітени: ДБН В.2.3-7-2010. Чинний з 01.10.2011. К.: Мінрегіонбуд України, 2011. 195 с.

5. Внукова Н.В. Науково-методологічні основи екологічної безпеки комплексу автомобіль-дорога-середовище: автореф. дис. на здобуття наук. ступ. д.т.н.: спец. 21.06.01 «Екологічна безпека». Х.: ХНАДУ. 2015. 36 с.

6. Внукова Н.В. Методологія екологічної безпеки комплексу АДС (автомобіль – дорога – середовище): монографія. Х.: ХНАДУ, 2011. 196 с.

7. Черняк Л. М., Бойченко С. В., Продченко Н. А. Якісний аспект втрат від випаровування палив. *Матеріали доповідей VII Міжнародної XVIII Традиційної НПК, присвяченої пам'яті професора В. М. Плахотника*. 2012. С. 241.

References

1. Blewins T.R., Van Matre F.G. How Conoco justified vapor recovery. *Petrol Refiner*, 1961, X, Vol 40, 10, P. 148-150.

2. Kulik O. Naftotransportna systema Ukrainy. Pohliad u mynule ta maibutnie. *Neft y haz*. 2002. No 8. P. 38-41. [in Ukrainian]

3. Instruktsiia shchodo vymoh pozhezhnoi bezpeky pid chas proiektuvannia avtozapravnykh stantsii, zatverdzhena nakazom MNS Ukrainy vid 06.12.05 r. No 376: NAPB B.05.019-2005. Ofitsiinyi visnyk Ukrainy vid 05.04.06, 2006. 25 p. [in Ukrainian]

4. Sporudy transportu. Metropoliteny: DBN V.2.3-7-2010. Chynnyi z 01.10.2011. K.: Minrehionbud Ukrainy, 2011. 195 p. [in Ukrainian]

5. Vnukova N.V. Naukovo-metodolohichni osnovy ekolohichnoi bezpeky kompleksu avtomobil-doroha-seredovyshche: avtoref. dys. na zdobuttia nauk. stup. d.t.n.: spets. 21.06.01 «Ekolohichna bezpeka». Kh.: KhNADU. 2015. 36 p. [in Ukrainian]

6. Vnukova N.V. Metodolohiia ekolohichnoi bezpeky kompleksu ADS (avtomobil – doroha – seredovyshche): monohrafiia. Kh.: KhNADU, 2011. 196 p. [in Ukrainian]

7. Cherniak L. M., Boichenko S. V., Prodchenko N. A. Yakisnyi aspekt vtrat vid vyparovuvannia palyv. *Materialy dopovidei VII Mizhnarodnoi XVIII Tradytsiinoi NPK, prysviachenoi pamiati profesora V. M. Plakhotnyka*, 2012. P. 241. [in Ukrainian]

ISSN 1993–9973 print
ISSN 2415–332X online