**УДК 614.8**

**ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ГЕОМЕТРИЧНОЇ ФОРМИ ФАКЕЛУ ГОРІННЯ РЕЗЕРВУАРУ З НАФТОПРОДУКТОМ НА ВЕЛИЧИНУ ТЕПЛОВОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ**

**С. В. Говаленков,**

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ ФАКЕЛА ГОРЕНИЯ РЕЗЕРВУАРА С НЕФТЕПРОДУКТОМ НА ВЕЛИЧИНУ ТЕПЛОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ**

**С. В. Говаленков,**

**RESEARCH INFLUENCE OF THE GEOMETRICAL FORM OF THE BURNING TANK FUEL WITH PETROLEUM PRODUCT ON THE VALUE OF THERMAL RADIATION**

**S. Govalenkov,**

*Існуючи моделі процесів виникнення і розвитку пожеж резервуарів з нафтою та нафтопродуктами не враховують залежність величини виникаючого при пожежі теплового потоку від параметрів резервуара, форми факела полум’я, вітру, а отже й кута нахилу факела, температури.*

*В роботі досліджено математичні моделі геометричних форм факелів горіння резервуарів з нафтою та нафтопродуктами та їх вплив на величину теплового потоку. Досліджена залежність теплового потоку від форми і висоти факелу полум’я, кута його нахилу, діаметрів резервуарів і відстані між ними.*

*Показано, що при формі факела в формі конуса (усіченого конуса), поблизу стінок резервуара є «мертва» зона близько 2 м. Залежність випромінювання від відстані для конуса і усіченого конуса незначно відрізняються один від одного. Модель факелу у вигляді прямокутника призводить до максимального випромінювання, яке знаходиться приблизно на 5 метрів ближче до резервуару, ніж дають моделі конуса і усіченого конуса. Модель точкового джерела призводить до великих похибок на великих відстанях, та до ще більших похибок на малих відстанях. Тому використанню такої моделі доцільно уникати.*

*Для визначення впливу форми і розміру факелу горіння на величини вражаючих факторів при пожежі резервуарів доцільно досліджувати нахилені фігури, які б моделювали форму факелу при наявності вітру.*

*Ключові слова. Резервуар, пожежа,а факел, конус, циліндр, еліпс, теплове випромінювання.*

*Существующие модели процессов возникновения и развития пожаров резервуаров с нефтью и нефтепродуктами не учитывают зависимость величины возникающего при пожаре теплового потока от параметров резервуара, формы факела пламени, ветра, а значит и угла наклона факела, температуры.*

*В работе исследованы математические модели геометрических форм факелов горения резервуаров с нефтью и нефтепродуктами и их влияние на величину теплового потока. Исследована зависимость теплового потока от формы и высоты факела пламени, угла его наклона, диаметров резервуаров и расстояния между ними.*

*Показано, что при форме факела в форме конуса (усеченного конуса), вблизи стенок резервуара является «мертвая» зона около 2 м. Зависимость излучения от расстояния для конуса и усеченного конуса незначительно отличаются друг от друга. Модель факела в виде прямоугольника приводит к максимальному излучению, которое находится примерно на 5 метров ближе к резервуару, чем дают модели конуса и усеченного конуса. Модель точечного источника приводит к большим погрешностям на больших расстояниях, и к еще большим погрешностям на малых расстояниях. Поэтому использовать такую модель нецелесообразно.*

*Для определения влияния формы и размера факела горения на величины поражающих факторов при пожаре резервуаров целесообразно исследовать наклонные фигуры, которые моделируют форму факела при наличии ветра.*

*Ключевые слова. Резервуар, пожар, факел, конус, цилиндр, эллипс, тепловое излучение.*

**1. Вступ.**

У всіх країнах світу, в тому числі Україні, проводяться інтенсивні дослідження по розробці та здійсненню широкого комплексу мір з метою попередження і гасіння пожеж в резервуарах, тому що проблема їх протипожежного захисту далека від вирішення, свідоцтвом чого є великі пожежі та вибухи, які щорічно виникають у світі.

Одним з основних методів дослідження процесів горіння резервуарів є методи основані на аналітичних та ймовірнісних підходах і спрямовані на з’ясування процесів, що виникають при пожежі в окремому резервуарі. Як правило, застосовуються моделі, де розглядається горіння рідини на вільній поверхні в умовах штилю. Ці моделі не враховують залежність величини виникаючого при пожежі теплового потоку від параметрів резервуара, форми факелу полум’я, вітру, а отже й кута нахилу факела. Тому залишаються не вивченими питання про вплив теплового потоку від палаючого резервуара на нагрівання сусідніх резервуарів, про вплив геометричних параметрів форми факелу полум’я, вітру (кута нахилу факелу) на величину теплового потоку.

Мета роботи – аналіз геометричних форм факелів горіння резервуарів з нафтою та нафтопродуктами та їх вплив на величину теплового потоку. Для досягнення цієї мети необхідно дослідити математичні моделі геометричних параметрів факелу полум’я в палаючому резервуарі, кута його нахилу, ступінь впливу на такі резервуари теплового потоку факела полум’я.

Значення теплового потоку в свою чергу залежать від форми і висоти факелу полум’я в палаючому резервуарі, кута його нахилу (тобто від напрямку і швидкості вітру), діаметрів резервуарів і відстані між ними.

**2. Аналіз останніх досліджень і публікацій.**

Резервуарні парки для зберігання нафти та нафтопродуктів є складними інженерно-технічними спорудами і складаються з резервуарів, як правило, об’єднаних по групах, систем трубопроводів та інших споруд [1, 2]. До складу резервуарних парків входить комплекс технологічних будівель, споруд і установок, призначених для приймання, зберігання і видачі нафти і нафтопродуктів, а також підсобно-виробничі, побутові будівлі і споруди, що забезпечують їх нормальну експлуатацію.

На цей час існує чимало моделей факелу палаючих резервуарів з нафтопродуктами. Але всі вони дають різні результати. Розглянемо деякі з них, що безпосередньо стосуються нашої задачі.

В [3], пропонується розглядати факел як конус. Нахил конуса пов’язаний з вітром. За умови відсутності вітру довжина факела  обчислюється за формулою [4]:

 . (1)

де D – діаметр резервуара.

В [5] пропонується інша формула:

  (2)

де  – масова швидкість вигорання рідини, ;  – густина повітря, ;  – прискорення вільного падіння.

При наявності вітру довжина факела обчислюється за тією ж самою формулою, а його висота -, де кут нахилу  залежить від швидкості вітру.

В роботі [6] кут нахилу факелу  від вертикальної осі розраховується за формулою:

 , (3)

де ;  – швидкість вітру, ;  – діаметр основи факелу, м;  – щільність пару, ;  Па – атмосферний тиск;  – температура факела, К;  – молярна маса пару, .

В [7] наведено інший підхід до обчислення кута :

 , (4)

де , , ;  – енергія факела, що виділяється в одиницю часу, Вт;  – константа;  – щільність газу, ;  – щільність повітря, ;  – температура повітря;  – теплоємність повітря.

В роботі [8] описано експеримент по визначенню геометричних параметрів факелу полум’я. Організація експерименту здійснювалась наступним чином. Модель резервуара – металевий сталевий циліндр діаметром 6 метрів, висотою 1,6 метри був заповнений сирою нафтою загальним об’ємом 10 м3 . Резервуар на металевих конструкціях піднятий на висоту 8,4 метри. Умови навколишнього середовища були наступні: атмосферний тиск 746 мм. рт. ст., температура повітря 15 С0, вітер північно-західний, швидкістю 1-4 м/с.

Висота факелу вимірювалась за допомогою теодоліту, який знаходився на відстані 60 метрів від резервуару. За даними вимірювань висота факелу становила 6,5-10,0 метрів, що відповідає співвідношенню 1,1-1,67D.

По-перше, оцінимо очікувані довжину і кут нахилу факела за формулами (1)-(4). Формула (1) дає довжину факела 7,2 м. Формула (2) дає, очевидно, дуже завищену довжину 40,0 м. Можливо вона є більш придатною для обчислення довжини факелу від розливу нафтопродуктів на великій площі. Обчислення кута нахилу дає 25º (3) або 67º (4) для швидкості вітру 4 .

З рис. 1 видно, що форму факелу дійсно можливо апроксимувати похилим конусом, як це й пропонується в [3, 9].

Нахил конуса пов’язаний з вітром. За умови відсутності вітру довжина факелу  обчислюється за формулою (1). При наявності вітру довжина факела обчислюється за тією ж самою формулою, а висота  похилого конуса:

 , (5)

де кут нахилу  залежить від швидкості вітру (рис. 1).



Рис. 1. Параметри факелу:  – конус факела;  – довжина факела;  – висота факела;  – кут нахилу конуса відносно вертикальної вісі.

Якщо відомі координати точок , С(х2 ,у2), В(х3 ,у3), (виміряні по фотознімку), то можна обчислити висоту факела, довжину та його нахил. Знайдемо координати точки  (рис.1.1):

 ,

 .

Координати точки (рис.1): , .

Тоді довжина факела L, його висота Н і кут нахилу  визначаються наступними виразами

;   ; (6)

При дослідженні пожежі координати точок А, С і N були фіксованими, AN = NC, та визначеними заздалегідь, а координати точки В визначались за допомогою теодоліту в рівні моменти часу. Враховуючи, що АС = D = 6 м., і застосовуючи (6) обчислимо значення L, H, . Результати розрахунків зведемо в таблицю 1.

Таблиця 1.

Параметри факелу в різні моменти часу

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| № з/п | L, (м) | H, (м) | , градуси |
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1 | 8,32 | 6,56 | 37,9 |
| 2 | 8,91 | 5,82 | 49,2 |
| 3 | 7,02 | 4,36 | 51,6 |
| 4 | 8,23 | 5,95 | 43,7 |
| 5 | 8,86 | 7,39 | 33,5 |
| 6 | 7,52 | 5,08 | 47,5 |
| 7 | 7,47 | 5,11 | 46,9 |
| 8 | 7,57 | 6,32 | 33,3 |
| 9 | 6,12 | 4,76 | 39,0 |
| 10 | 6,81 | 5,03 | 42,4 |
| 11 | 7,16 | 5,16 | 43,9 |
| 12 | 4,49 | 0,11 | 88,6 |
| 13 | 7,10 | 6,50 | 23,8 |
| 14 | 7,91 | 7,25 | 23,6 |
| 15 | 9,00 | 8,42 | 20,7 |
| 16 | 6,98 | 6,14 | 28,3 |
| 17 | 6,79 | 5,77 | 31,8 |
| 18 | 6,80 | 5,70 | 33,1 |
| 19 | 7,63 | 6,44 | 32,4 |
| 20 | 7,96 | 6,81 | 31,1 |
| 21 | 7,54 | 5,90 | 38,6 |
| 22 | 8,19 | 7,01 | 31,1 |
| 23 | 7,35 | 7,04 | 16,7 |
| 24 | 8,77 | 7,98 | 24,5 |
| 25 | 7,51 | 6,75 | 26,0 |
| 26 | 8,01 | 7,16 | 26,6 |
| 27 | 7,90 | 6,80 | 30,6 |
| 28 | 8,16 | 7,39 | 25,1 |
| 29 | 7,88 | 5,65 | 44,2 |
| 30 | 7,55 | 5,28 | 45,7 |
| 31 | 8,41 | 5,75 | 46,9 |
| Середнє | 7,61 | 6,05 | 36,7 |
| Середньо-квадратичне відхилення | 0,89 | 1,44 | 13,2 |

**3. Мета і задачі дослідження.**

Метою роботи є дослідження і аналіз геометричних форм факелів горіння резервуарів з нафтою та нафтопродуктами та їх вплив на величину теплового потоку. Для досягнення цієї мети необхідно дослідити математичні моделі геометричних параметрів факелу полум’я в палаючому резервуарі, кута його нахилу, ступінь впливу на такі резервуари теплового потоку факела полум’я .

Значення теплового потоку в свою чергу залежать від форми і висоти факелу полум’я в палаючому резервуарі, кута його нахилу (тобто від напрямку і швидкості вітру), діаметрів резервуарів і відстані між ними.

**4.Постановка задачі та її розв’язок.**

При дослідженні математичних моделей геометричних параметрів факелу полум’я в палаючому резервуарі можна виділити наступні небезпеки впливу теплового потоку:

– нагрівання верхньої частини стінки резервуара з подальшим її руйнуванням під вагою даху резервуара;

– нагрівання верхньої частини стінки і вибух газоповітряної суміші нафтопродукту;

– скипання нафтопродукту поблизу стінок;

– скипання води, що знаходиться в нафтопродукті.

В даній роботі розглянемо геометричні форми факелу як конуса або усіченого конуса, еліпсоїда та циліндра.

Враховуючи отримані експериментальні дані визначимо закон розподілу випадкової величини довжини факела L. Для цього розглянемо гістограму згрупованого статистичного ряду для значень L (рис. 2).

Рис. 2. Гістограма розподілу довжини факела.

На основі гістограми висунемо гіпотезу про нормальний розподіл довжини факела L і перевіримо її за допомогою - критерію. Для підрахунку спостереженого, складемо таблицю 2, в якій наведено значення емпіричних  і теоретичних  частот (n = 31).

Таблиця 2.

Перевірка гіпотези про нормальний розподіл довжини факелу

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Номер інтервалу,  | Довжина факелу, L (м) | Ймовірність влучання,  | Очікувана кількість влучань,  | Фактична кількість влучань,  |
| 1 | < 6,5 | 0,11 | 3,4 | 2 |
| 2 | 6,5 – 7 | 0,14 | 4,3 | 4 |
| 3 | 7 – 7,5 | 0,2 | 6,2 | 5 |
| 4 | 7,5 – 8 | 0,22 | 6,8 | 10 |
| 5 | 8 – 8,5 | 0,17 | 5,3 | 6 |
| 6 | > 8,5 | 0,16 | 5 | 4 |

Підрахуємо величину . Критичне значення для довірчої ймовірності  і 3-х ступенів свободи складає  [8]. Оскільки , то можна зробити висновок про те, що експериментальні данні не суперечать гіпотезі про нормальний закон розподілу довжини факела.

Враховуючи нормальний закон розподілу величини L з надійністю  знаходимо довірчий інтервал для математичного сподівання довжини факелу, а саме: . При цьому за правилом „трьох сигм” майже вирогідним буде наступний інтервал для довжини факела: . Частка довжини факела  і діаметра резервуара складає , що збігається зі значенням вказаним в (1).

Таким чином, в подальших розрахунках можна виходити з того, що факел має форму конусу з довжиною , яка нормальна розподілена з математичним сподіванням  і середньоквадратичним відхиленням , де  – діаметр резервуара.

Це означає, що довжина факелу для сирої нафти з ймовірністю  має інтервал:

 

Під час проведення експерименту швидкість вітру була в межах 1-4 м/с, середній кут нахилу факелу склав 36,7°. Це означає, що при розрахунках пожежної небезпеки резервуарів необхідно враховувати можливий нахил факелу до сусідніх резервуарів.

Основним способом передачі тепла під час пожежі резервуару є теплове випромінювання. У випадку пожежі в резервуарних парках висока температура і великі розміри факела можуть стати причиною загоряння сусідніх об’єктів, а також ускладнювати дії аварійно-рятувальних підрозділів.

Потік тепла через елементарну площадку  від факела визначається законом Стефана-Больцмана [7]:

,

де  – середня температура поверхні факела;  – температура, поверненої до факела поверхні тіла;  – наведена чорнота системи; ;  – локальний кутовий коефіцієнт випромінювання.

Головною проблемою є визначення коефіцієнту випромінювання. Цей коефіцієнт в першу чергу залежить від форми факела. Але в літературі розглянуті лише деякі найпростіші форми.

Найбільш поширеним є представлення факела як прямокутник з основою рівною діаметру резервуара и площу рівну площі поперечного перетину факела [4].

Інше можливе уявлення – модель точкового джерела, коли все випромінювання представляється з однієї точки, розташованої в центрі факела [7]. Недоліком цих моделей є ігнорування реальної форми факела, що унеможливлює їх застосування в безпосередній близькості до резервуару.

Для розрахунку коефіцієнта випромінювання від факелів будемо представляти їх у формі конуса або усіченого конуса (рисунок 3).























Рис. 3. Факел в формі усіченого конуса: висота резервуара, радіус резервуара, довжина полум'я, висота конуса

Розглянемо циліндричну систему координат і обчислимо значення коефіцієнта випромінювання  для точки, що належить вертикальній площадці, зверненої в бік факелу. У загальному випадку знаходимо як інтеграл по поверхні факела, видимого з точки :

, (7)

де  и – кути між вектором  и нормальними векторами к поверхні факела і  згідно;  – довжина вектора .

Точка , що належить поверхні конуса, має циліндричні координати: , де .

Одиничний нормальний вектор до поверхні конуса в точці :

,

де  – кут при вершина конуса (рис. 1), .

Одиничний нормальний вектор до вертикальної площадки в точці :

, де , .

Тоді для (7) отримуємо вираз

 , (8)

де кути – виражені нижче.

Межі інтегрування по , тобто кут під яким видно конус на висоті :

.

Звідси маємо так звану «мертву» зони поблизу резервуара, де факел не буде видно:

.

Ця зона буде тим більше від поверхні резервуара, чим менше висота факела H. Очевидно, якщо конус буде не усічений, а повний, то і всі наведені викладки зберігаються.

Проведемо порівняння того, наскільки форма факелу впливає на коефіцієнт випромінювання . Для цього розглянемо факели з однаковою площею вертикального перетину, проведеного через вісь симетрії резервуара, щоб перевірити наскільки справедливим виявляється наближене уявлення факела прямокутником.

Вихідні дані для розрахунків наведені в таблиці 3.

Таблиця 3.

Вихідні дані для порівняння факелів

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| ФормаПараметр | Точкове джерело | Прямокутник | Конус | Усічений конус |
| Довжина полум’я, м | – | 10 | 20 | 14,29 |
| Верхній радіус, м | – | – | – | 2 |
| Площа перетину, кв. м | 100 |
| Висота резервуара, м | 10 |
| Радіус резервуара, м | 5 |

Результати розрахунків наведені на рисунку 4.

Розглянемо факели, що мають циліндричну і еліпсоїдну форму.

Потік тепла q (Вт / м2), що проходить через елементарну площадку приймача випромінювання від поверхні факелу знаходиться з формули:

,

де  – інтенсивність випромінювання одиниці поверхні факела; - наведена чорнота системи;  - локальний кутовий коефіцієнт випромінювання.

Через складність форми реального факелу використовують різного роду наближення. Найбільш поширений спосіб оцінки коефіцієнта випромінювання полягає в заміні об'ємної форми факела на прямокутник по площі рівний вертикальному перетину факелу [4].

Ще більшим спрощенням є розрахунок щільності потоку випромінювання від точкового джерела [7]: , де P - площа факела;  - відстань від центру факела до заданої точки.

Обидва ці підходи призводять до формул, які мають нескладний вид, але володіє очевидним недоліком - вони не враховують форму факелу, що унеможливлює їх застосування на малих відстанях.

Для побудови математичної моделі розрахунку коефіцієнта випромінювання від факелів в формі циліндра і еліпсоїда обертання представимо їх у вигляді, представленому на рисунку 4.













































Рис. 4. Еліпсоїдна і циліндрична форми факела. Висота резервуара, довжина полум'я , радіус резервуара , вертикальна піввісь еліпсоїда, горизонтальна піввісь  (всі величини в метрах)

Обчислимо значення коефіцієнта випромінювання  для точки  (або в циліндричній системі координат), що належить вертикальній майданчику, зверненої в бік факела, де . У загальному випадку  знаходиться як інтеграл по поверхні S факела, видимої з точки :

 , (9)

де  – кут між нормальним вектором  до поверхні факела и вектором ;  – кут між нормальним вектором  до поверхні випромінювання і вектором ;  – довжина вектора ; т. В (x, y, z) лежить на поверхні S.

Якщо для еліпсоїда задана довжина полум’я , радіус резервуара  и горизонтальна піввісь , то вертикальна піввісь  може бути найдена наступним чином.

Якщо центр еліпсоїда знаходить на висоті в , тоді його рівняння має вид:

.

При  маємо . Тоді

.

Відносно , знайдемо два рішення:

 , , , .

Перше рішення () відповідає еліпсоїду на рисунку 4, друге рішення () відповідає еліпсоїду, центр якого знаходиться всередині резервуару або нижче його.

Маємо:

, для еліпсоїда,

, для циліндра.

Для циліндричної системи координат 

будемо мати

, для еліпсоїда,

, для циліндра.

Порівняння, значень коефіцієнта випромінювання  для різних моделей факелів представлено на рисунку 5.



Рис. 5. Порівняння коефіцієнта випромінювання для факелів різної форми

**5. Результати досліджень*.*** З отриманих результатів можемо зробити наступні висновки.

При формі факела в формі конуса (усіченого конуса), поблизу стінок резервуара є «мертва» зона близько 2 м. Залежність випромінювання від відстані для конуса і усіченого конуса незначно відрізняються один від одного. На відстанях до 30 метрів наближена заміна факелу прямокутником призводить до великих похибок. Однак на великих відстанях (більше 40 метрів) криві для прямокутника, конуса і усіченого конуса відрізняються незначно. Відзначимо також, що для обраної геометрії резервуара модель факелу у вигляді прямокутника призводить до максимального випромінювання, яке знаходиться приблизно на 5 метрів ближче до резервуару, ніж дають моделі конуса і усіченого конуса, для яких максимум випромінювання відповідає одному віддалі. Цей факт вказує на те, що останні дві моделі в цьому сенсі близькі одна до одної. Слід також зазначити, що модель точкового джерела призводить до великих похибок на великих відстанях, та до ще більших похибок на малих відстанях. Тому використанню такої моделі доцільно уникати.

Для визначення впливу форми і розміру факелу горіння на величини вражаючих факторів при пожежі резервуарів доцільно досліджувати нахилені фігури, які б моделювали форму факелу при наявності вітру.

Таким чином, на невеликих відстанях (до 30 метрів) коефіцієнт випромінювання істотно залежить від форми факела. Всі криві, виключаючи точкове джерело, мають яскраво виражений максимум на відстані 15-20 метрів від центру резервуару (на відстані 1- 1,5 діаметра від стінок).

Нами були проведені чисельні розрахунки локального кутового коефіцієнта випромінювання для всіх розглянутих вище форм факела для пожежі в резервуарі, що має висоту  і радіус . Щоб можна було зіставити результати розрахунків, було прийнято, що у всіх випадках площа вертикального поперечного перерізу факелу, що проходить через початок координат, становить . Тоді для циліндра і прямокутника довжина факела . Для еліпсоїда:  м,  м,  м () и  м,  м, L=14,2 м (b > L). Для конуса: м. Для усіченого конуса що звужується вгору:  м,  м., для усіченого конуса, що розширюється вгору: м,  м. Останні значення обрані так, щоб кут  був по абсолютній величині однаковий для обох усічених конусів.

Розрахунки з використанням інших моделей факелу випромінювання призводять до значень , які мають яскраво виражений максимум на відстанях r від 13 метрів для прямокутника, та до 21 метра для конуса, а на відстанях більше 55 метрів всі моделі форми факелу (за винятком точкового джерела) призводять до приблизно однакових значень . При менших відстанях розбіжність між значеннями  в різних моделях факелу стають значними (в максимумі майже в два рази).

**6. Обговорення результатів*.*** Залежності, отримані для коефіцієнта випромінювання , можна умовно розбити на три групи, в кожній з яких значення  близькі між собою.

До першої групи належать криві для факелів в формі конуса, конуса що звужується вгору і еліпсоїда (b>L), значення  для яких в максимумі 0,02. До другої групи належать криві для циліндра, і еліпсоїда (b>L), максимальне значення 0,03. До третьої групи належать криві для моделей прямокутника і конуса, що розширюється вгору, для яких відносно близькі між собою криві , причому остання модель дає найбільше значення 0,04 в максимумі.

Таким чином, отримані результати показують, що значення коефіцієнта , а значить і величини теплового потоку *q,* істотно залежать від форм факелу полум’я, причому саме на відстанях, що є найнебезпечнішими, з точки зору безпечного розміщення сил і засобів при організації гасіння пожеж нафти і нафтопродуктів в резервуарних парках. Спостереження пожеж в вертикальних резервуарах показують, що найбільш можливими моделями для опису форми факелів є або моделі конуса, або моделі еліпсоїда (b>L).

Відзначимо, що значення  для кожної даної форми факелу істотно залежить від довжини факела L. Вирішальний вплив на значення температур і часу нагріву сусідніх резервуарів має коефіцієнт взаємного випромінювання .

Значення  в свою чергу залежать від форми і висоти факелу полум’я в палаючому резервуарі, кута його нахилу (тобто від напрямку і швидкості вітру), діаметрів резервуарів і відстані між ними. Отже, цей коефіцієнт повністю враховує геометричні параметри факелу, резервуарів, а також їх взаємне розташування.

Для оперативних розрахунків критичних температур і часу для спрощення обчислення величини  в [10] запропонована модель у вигляді полінома другого порядку при вказаній фіксованій відстані між резервуарами для однотипних резервуарів. Коефіцієнт взаємного випромінювання  залежить від діаметру резервуарів, форми і довжини факелу і кута його нахилу.

Таким чином, при невеликих діаметрах ( м) довжина факела менше впливає на коефіцієнт випромінювання, ніж при великих діаметрах ( м). Це означає, що випадкові фактори мають більший вплив на резервуарні групи з великими резервуарами.

**7.Висновок.**

В роботі отримані наступні основні результати.

1. Спостереження пожеж в вертикальних резервуарах показують, що найбільш можливими моделями для опису форми факелів є або модель конуса, що розширюється вгору, або моделі еліпсоїда.

2. Отримані результати показують, що значення локального кутового коефіцієнта випромінювання, а значить і величини теплового потоку*,* істотно залежать від форми факела саме на відстанях найважливіших, з точки зору безпечного розміщення сил і засобів при організації гасіння пожеж нафти і нафтопродуктів в резервуарних парках.

3. Залежності, отримані для коефіцієнта випромінювання , можна умовно розбити на три групи, в кожній з яких значення  близькі між собою. До першої групи належать криві для факелів в формі конуса, конуса що звужується вгору і еліпсоїда (b>L), значення  для яких в максимумі 0,02. До другої групи належать криві для циліндра і еліпсоїда (b>L), максимальне значення 0,03. Відносно близькі між собою криві  для моделей прямокутника і конуса, що розширюється вгору, причому остання модель дає найбільше значення 0,04 в максимумі.

**Література**

1. Бордовский А.М., Медник Б.М., Фомин В.И., Цвигун А.А. Предупреждение аварий на объектах магистрального транспорта нефти (зарубежный опыт): Аналитический обзор. – К.: Основа, 2000. – 220 с.
2. Протипожежний захист складів нафти і нафтопродуктів. Оглядова інформація. Ю.В. Бабенко, В.Г. Дудченко, А.М. Басаєв, І.В. Савєльєв, Д.М. Деревинський, В.О. Боровиков, А.В. Антонов. – К.: УкрНДІПБ, 2002.– 142 с.
3. Андриенко В.Н., Говаленков С.В., Созник А.П. Математическая модель теплового излучения от факелов, имеющих форму конуса. Проблемы пожарной безопасности. – Х.: Фолио, 2003. – Вып. 14. – С. 24-28.
4. Иванников В.П., Клюс П.П. Справочник руководителя тушения пожара. – М.: Стройиздат, 1987. – 288 с.
5. Barrett J. Tank farm blast was biggest single incident for Anstralian brigade. Fire, 1993. – V. 86, № 1062. – P. 18-24.
6. Волков О.М. Пожарная безопасность резервуаров с нефтепродуктами. М.: Недра, 1984. – 152 с.
7. Драздейл Д. Введение в динамику пожаров. – М.: Стройиздат, 1990. – 424с.
8. Говаленков С.В., Сознік О.П., Андрієнко В.М. Геоометричне моделювання випромінювання полумя при пожежі нафти в резервуарі. Праці ТДАТА, вип. 4, т.27, Мелітополь, 2004. - С.20-25.
9. Андриенко В.Н., Басманов А.Е., Говаленков С.В., Созник А.П. Геометрическая модель тепловых потоков при пожаре в резервуаре с учетом ветрового воздействия. Современные проблемы геометрического моделирования // Материалы Украино-российской научно-практической конференции. – Харьков, 2005. – с. 171-177.
10. Горбенко Н.А., Говаленков С.В., Безуглов О.Е. Оцінка факторів факела полум’я, що впливають на випромінювання при горінні резервуарів з нафтою та нафтопродуктами. Вісник Міжнародного Слов’янського університету. Серія „Технічні науки”. – № 2, т.7. – Харків: Яна, 2004. – С.50-55.