

Е. М. Гуліда¹, Я. Я. Козак¹, М. І. Васильєв²

¹Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, ²Головне управління ДСНС у м. Львові

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕЖИ ВОГНЕСТІЙКОСТІ СУХОЇ СТІНКИ РЕЗЕРВУАРА ДЛЯ ЗБЕРІГАННЯ НАФТОПРОДУКТІВ

Постановка проблеми. Статистичний аналіз пожеж на об'єктах зберігання, переробки і транспортування нафти і нафтопродуктів за останні 20 років свідчить, що із 200 пожеж – 92% із них виникає в наземних резервуарах. При пожежі горіння рідини в резервуарі являє собою дифузійне горіння струменя пара в повітрі. В процесі горіння рідини в резервуарі змінюються механічні властивості його металевої стінки, які впливають на тривалість її вогнестійкості. При виникненні пожежі в резервуарі може відбутися руйнація сухої стінки. Руйнування сухої стінки резервуара може призвести до вилиття нафтопродуктів і виникненню каскадного розповсюдження пожежі. Тому основною проблемою є визначення тривалості часу при пожежі до початку руйнування сухої стінки резервуара, тобто її вогнестійкості.

Мета роботи. Розробити метод визначення вогнестійкості сухої стінки резервуара для зберігання нафтопродуктів.

Постановка задач та їх розв'язання. Для розроблення методу визначення вогнестійкості сухої стінки резервуара для зберігання нафти і нафтопродуктів необхідно розв'язати такі задачі:

- 1) визначити вплив температури листового матеріалу сухої стінки резервуара на її міцність;
- 2) отримати залежність для визначення тривалості часу до виникнення граничних руйнівних напружень листового матеріалу сухої стінки резервуара;
- 3) отримати залежність для визначення часу вогнестійкості сухої стінки резервуара для зберігання нафти і нафтопродуктів при виникненні пожежі.

Для розв'язування **першої задачі** було встановлено вплив температури листової сталі, яка використовується для виготовлення стінки резервуара, на границю текучості σ_t .

Для розв'язання **другої задачі** була отримана залежність для визначення тривалості часу до виникнення критичних температур, за яких можливе руйнування листового матеріалу сухої стінки резервуара.

Для розв'язання **третьої задачі** була розроблена блок-схема алгоритму визначення вогнестійкості сухої стінки резервуара при пожежі, на підставі якої був розроблений пакет прикладних програм.

Висновки та конкретні пропозиції:

1. Встановлено вплив температури листового матеріалу сухої стінки резервуара на її міцність. Результати досліджень показали, що температура матеріалу сухої стінки резервуара в межах 690...710 °С є критичною і це може призвести до її руйнування.

2. Результати досліджень дали змогу отримати залежність для визначення тривалості часу до виникнення критичних температур, за яких відбувається руйнування листового матеріалу сухої стінки резервуара. Результати розрахунків для резервуара РВС-5000 показали, що його вогнестійкість коливається в межах $\tau_e = 13...15$ хв. Безумовно таке значення вогнестійкості для сухої стінки резервуара є дуже малим з точки зору процесу ліквідації пожежі. Тому необхідно розробляти і впроваджувати певні заходи для підвищення вогнестійкості сухої стінки резервуара.

3. Для визначення часу вогнестійкості сухої стінки резервуара зберігання нафти і нафтопродуктів при виникненні пожежі була отримана залежність, яка дає змогу визначити температуру T в °С від тривалості горіння резервуара τ в хв, висоти сухої стінки резервуара h_0 в м і глибини Δh_0 в м від верхнього краю.

Результати досліджень дозволили розробити блок-схему алгоритму розв'язку цієї задачі, а також на її основі пакет прикладних програм, написання мовою програмування С#.

Ключові слова: вогнестійкість, суха стінка резервуара, температура спалаху нафтопродукту, пожежа.

E.M. Hulida, Ya.Ya. Kozak, M.I. Vasiliev

¹Lviv State University of Life Safety, ²Main Directorate of the State Emergency Service in Lviv

THE RESEARCH OF FIRE RESISTANCE LIMIT OF THE TANK STORAGE OF PETROLEUM PRODUCTS

Introduction. Statistical analysis of fires at storage, refining and transportation facilities for oil and petroleum products over the past 20 years shows that out of 200 fires, 92% of them occur in land tanks. In a fire, liquid combustion in the tank is a diffusion combustion of a jet of steam in the air. In the process of burning the liquid in the tank changes the mechanical properties of its metal wall, which affects its fire resistance duration. In the event of a fire in the tank, the drywall may be

destroyed. Destruction of dry tank wall can lead to oil spills and cascading fire. Therefore, the main problem is to determine the fire duration before the destruction of the dry wall of the tank, i.e. its fire resistance.

Purpose. Develop a method for determining the fire resistance of the dry wall of the storage tank of oil and petroleum products.

Methods. To develop a method for determining the fire resistance of storage tank dry wall of oil and petroleum products, it is necessary to solve the following problems:

- 1) to determine the temperature effect on sheet material of tank dry wall on its strength;
- 2) to obtain the dependence for determining the duration of time before the occurrence of ultimate destructive stresses of the sheet material of tank dry wall;
- 3) to obtain the dependence for determining the time of fire resistance of tank dry wall of oil and petroleum products in the event of a fire.

To solve the first problem, the temperature influence of the sheet steel used to make the tank wall on the yield strength σ_T was established.

To solve the second problem, a dependence was obtained to determine the length of time before the occurrence of critical temperatures at which the destruction of the sheet material of tank dry wall is possible.

To solve the third problem, a block diagram of the algorithm for determining the fire resistance of tank dry wall in case of fire was developed, on the basis of which a package of applications was developed.

Conclusions and specific suggestions:

1. The influence of the temperature of the sheet material of tank dry wall on its strength is established. The research results showed that the temperature of the tank drywall material in the range of 690-710 °C is critical and it can lead to its destruction.

2. The results of the research allowed to obtain the dependence for determining the duration of time to critical temperatures occurrence at which the destruction of the sheet material of tank dry wall. The results of calculations for the tank RVS-5000 showed that its fire resistance varies within $\tau_v = 13 \dots 15$ minutes. Of course, this value of fire resistance for tank dry wall is very small in terms of the fire extinguishing process. Therefore, it is necessary to develop and implement certain measures to increase the fire resistance of tank dry wall.

3. To determine the time of fire resistance of tank dry wall storage of oil and petroleum products in the event of a fire was obtained dependence, which allows to determine the temperature T in °C from the duration of burning the tank τ per minute, the height of the dry wall h_0 in m upper edge. The research results allowed to develop a block diagram of the algorithm for solving this problem, as well as a package of applications based on it, which are written in the C# programming language.

Key words: fire resistance, tank dry wall, flash point of petroleum products, fire.

Постановка проблеми. Статистичний аналіз пожеж на об'єктах зберігання, переробки і транспортування нафти і нафтопродуктів за останні 20 років свідчить, що із 200 пожеж – 92% виникає в наземних резервуарах [1]. В Україні для зберігання нафти і нафтопродуктів використовують головним чином наземні вертикальні циліндричні сталеві резервуари (РВС), які мають стаціонарну конструкцію покрівлі з плаваючим понтоном на поверхні рідини або без понтонів [2]. Понтон використовується для зменшення вільної поверхні нафтопродукту і зменшення його втрат через випаровування.

Під час пожежі горіння нафтопродукту в резервуарі являє собою дифузійне горіння струменя пари в повітрі [3]. В процесі горіння рідини в резервуарі змінюються механічні властивості його металеві стінки, які впливають на тривалість її вогнестійкості. Для зрозуміння цього питання розглянемо різні області резервуара, які зображені на рис. 1.

Резервуар для зберігання нафти і нафтопродуктів висотою H (рис. 1) включає дві характерні області: 1 – область резервуара, заповнена паром нафтопродуктів і повітря; 2 – область резервуара висотою h , заповнена рідким нафтопродуктом. Виходячи з наявності цих характерних областей стінку резервуара 1 висотою $H - h$ називають сухою, а стінку резервуара 2 висотою h – змоченою.

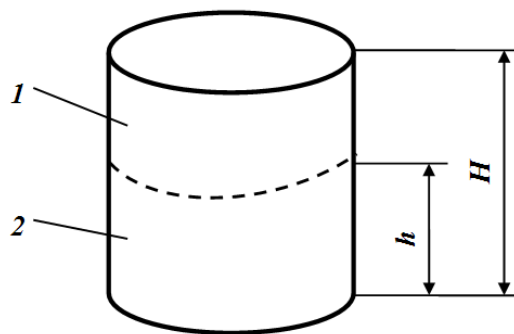


Рисунок 1 – Розбивка поверхонь резервуара на характерні області

При виникненні пожежі в резервуарі, а саме в області 1, через деякий час може відбутися руйнування сухої стінки. Це пояснюється тим, що при горінні факела в об'ємі резервуара в області сухої стінки при нагріванні міцність сталевих листів значно зменшується, утворюються «кишені» і може відбутися його руйнація. Руйнування сухої стінки резервуара може привести до виливу нафтопродуктів і виникненню каскадного розповсюдження пожежі. Тому основною проблемою є визначення тривалості часу під час пожежі до початку руйнування сухої стінки резервуара, тобто її вогнестійкості.

Аналіз останніх досягнень і публікацій. Значний вклад в протипожежний захист небезпечних виробничих об'єктів нафто-газопереробної, нафто- та газохімічної промисловості було отримано завдяки розробленій методиці кількісної оцінки ризику аварій, яка наведена в роботі [4]. При цьому розглядаються питання, які пов'язані з вивченням сценаріїв розвитку аварій, оцінкою частоти можливих сценаріїв аварій, оцінкою можливих наслідків за сценаріями аварій, які розглядаються з одночасним розрахунком показників ризику аварій.

Вогнестійкість сухої верхньої частини стінки резервуара залежить від умов горіння і в більшості випадків має малу тривалість. Результати аналізу різних пожеж показують, що втрата міцності сухої стінки настає вже через 15 хвилин після початку пожежі [5 – 7]. Результати досліджень [6] показують, що руйнування листових конструкцій циліндричних резервуарів здійснюється внаслідок розриву вертикальних зварних швів, на які діють кільцеві зусилля розтягу.

Високі температури негативно впливають на плаваючий дах або понтон резервуара. Через певний час вони руйнуються і тонуть. В цьому випадку горіння нафтопродуктів проходить вже не в кільцевому зазорі стінок, а по всій площі резервуара.

До скипання і викиду нафтопродуктів в резервуарі призводить прогрійтий верхній шар рідини [8, 9]. Ефективних заходів запобігання скипання та викиду нафтопродуктів з резервуара при пожежі немає. Тому оперативність пожежно-рятувальних підрозділів для гасіння пожежі має першочергове значення. Крім того, не можна допускати деформацію сухих стінок резервуара, яка призводить до утворення «кишень». Сухою стінкою резервуара називається стінка, яка знаходиться вище рівня налитого в резервуар нафтопродукту. Для розв'язання цієї задачі необхідно своєчасно охолоджувати стінки резервуара, який горить. При горінні резервуара шляхом випромінювання тепло передається на сусідні резервуари [10, 11]. Тому сухі стінки сусідніх резервуарів необхідно також своєчасно охолоджувати.

На підставі аналізу даних наукових праць [12–14] було отримано емпіричну залежність температури T сухої стінки резервуара $^{\circ}\text{C}$ від тривалості пожежі τ в хвилинах і висоти стінки $(H - h)$ в метрах від верху резервуара до рівня наливої рідини

$$T = 155,34\tau^{0,5}(H - h)^{-0,4}, \quad (1)$$

де τ змінюється в межах 1...10 хв; $(H - h)$ змінюється в межах 0,3...4 м.

В роботі [15] при вивченні пожежі на вертикальному сталевому резервуарі типу РВС-5000, на якому найчастіше виникають пожежі, були наведені дані, що для сталевих резервуарів критичне значення впливу температури на його стінки знаходиться в межах 15-20 хв.

Враховуючи результати аналізу сучасного стану вогнестійкості сухої стінки резервуара для зберігання нафти і нафтопродуктів можна зробити висновок, що на сьогодні не має обґрунтованих методів її визначення. Тому ставиться задача розробити метод визначення вогнестійкості сухої стінки резервуара.

Мета роботи. Розробити метод визначення вогнестійкості сухої стінки резервуара зберігання нафтопродуктів.

Постановка задач та їх розв'язання. Для розроблення методу визначення вогнестійкості сухої стінки резервуара зберігання нафти і нафтопродуктів необхідно розв'язати такі задачі:

1) визначити вплив температури листового матеріалу сухої стінки резервуара на її міцність;

2) отримати залежність для визначення тривалості часу до настання критичних температур, за яких відбувається руйнування листового матеріалу сухої стінки резервуара;

3) отримати залежність для визначення часу вогнестійкості сухої стінки резервуара зберігання нафти і нафтопродуктів при виникненні пожежі.

Для розв'язання **першої задачі** необхідно встановити вплив температури листової сталі, яка використовується для виготовлення стінки резервуара, в тому числі встановити вплив температури сухої стінки на границю текучості σ_T . В цьому випадку скористуємося результатами досліджень, які наведені в роботі [17], і представлені на рис. 2. Аналізуючи залежності, представлені на рис. 2, можна зауважити, що суха стінка резервуара практично не буде руйнуватися в межах високих температур від 420°C до 700°C . Це пояснюється тим, що при цих температурах для вуглецевих сталей зменшуються пластичні властивості, тобто матеріал стає крихким. Для крихкого матеріалу характерним руйнуванням є зріз. Тому температура матеріалу сухої стінки резервуара в межах вище $690...710^{\circ}\text{C}$ є критичною, тобто може призвести до її руйнування.

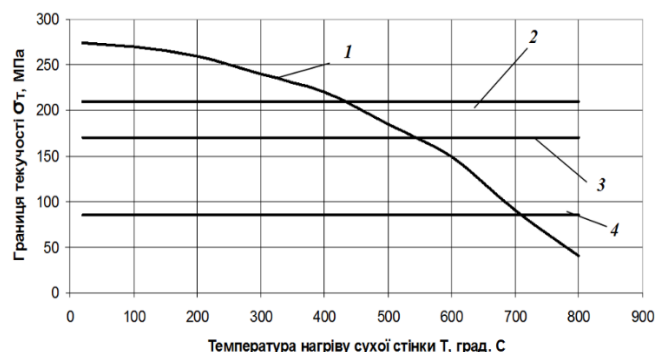


Рисунок 2 – Вплив температури нагрівання сталі Ст4 ГОСТ380-94 на границю текучості σ_T (крива 1); для сталі Ст4 ГОСТ380-94:

крива 2 – допустиме напруження при зминанні;
крива 3 – допустиме напруження при згині;
крива 4 – допустиме напруження при зрізі

Обробка отриманих результатів методом математичної статистики дала можливість отримати залежність для визначення значення границі текучості матеріалу сухої стінки резервуара, виготовленої зі сталі Ст4, виду

$$\sigma_T = -0,0004T^2 + 0,0207T + 272,29, \text{ МПа} \quad (2)$$

де T – температура нагрівання сухої стінки резервуара, °С.

Для розв’язування **другої задачі** необхідно отримати залежність для визначення тривалості часу до виникнення критичних температур, при яких можливе руйнування листового матеріалу сухої стінки резервуара. На першому етапі було встановлено на підставі рекомендацій робіт [6, 12, 13, 17] вплив тривалості горіння резервуара на зміну температури сухої стінки резервуара від її краю до певної глибини резервуара. Результати цих досліджень зображені на рис. 3. З метою не ускладнювати зображення рис. 3 на ньому показані залежності тільки для двох глибин: **1** – глибина 1 м; **2** – глибина 3 м.

На підставі оброблення отриманих результатів методом математичної статистики була отримана залежність (3) для визначення температури T в °С від тривалості горіння резервуара τ в хв, висоти сухої стінки резервуара h_0 в м і глибини Δh_0 в м від верхнього краю в межах тривалості горіння $\tau = 1 \dots 7$ хв.

$$T = -14,375 \tau^2 + 164,5\tau + 236,37 - (h_0 - \Delta h_0)20. \quad (3)$$

Результати аналізу графічних залежностей (рис. 3) і отриманої залежності (3) показують, що критична температура руйнування сухої стінки резервуара 695 °С настає для верхнього краю резервуара на глибину до 1 м упродовж 5 хв. Аналізуючи заповнення найбільш поширених резервуарів РВС-5000 (діаметр 21 м, висота 15 м) і РВС-10000 (діаметр 28,5 м, висота 18 м) було встановлено, що висота сухої стінки коливається в межах 4...6 м. Якщо взяти за основу середнє значення висоти сухої стінки резервуара 5 м, то початок критичної температури руйнування, тобто виникнення небезпечного перерізу, буде в її середній частині висоти на глибині від краю 2,5 м.

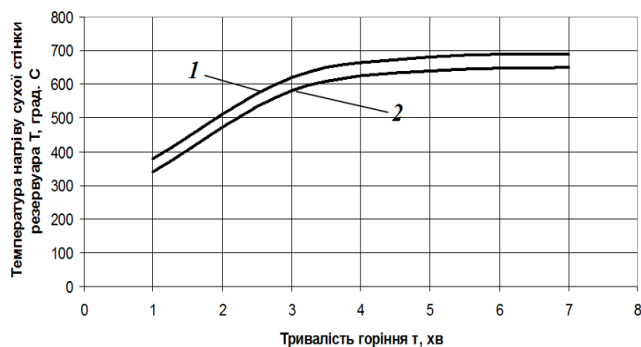


Рисунок 3 – Вплив тривалості горіння τ резервуара на температуру T сухої стінки залежно від її глибини h_0 : крива **1** – глибина 1 м; крива **2** – глибина 3 м

Температура нагрівання небезпечного перерізу залежить від тривалості горіння резервуара. Результати досліджень (рис. 4) показують, що вже при $\tau = 15$ хв пожежі температура нагрівання небезпечного перерізу сухої стінки резервуара дорівнює 705 °С, тобто починається його руйнування в межах 13...15 хв.

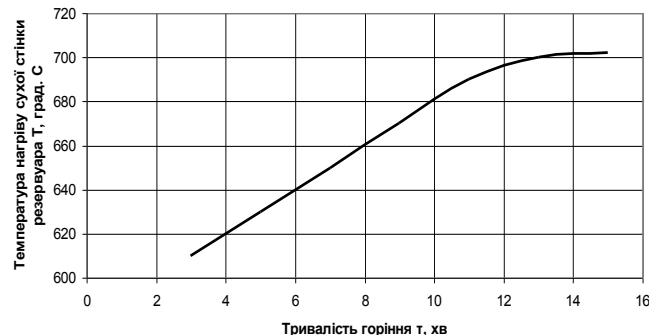


Рисунок 4 – Вплив тривалості горіння резервуара на температуру його сухої стінки в небезпечному перерізі при висоті сухої стінки $h_0 = 5$ м і глибині $\Delta h_0 = 2,5$ м від верхнього краю

Математична обробка результатів експерименту (рис. 4) методом математичної статистики дозволила отримати залежність для визначення температури в °С сухої стінки резервуара в залежності від тривалості горіння в хв в межах $\tau = 3 \dots 15$ хв.

$$T = -0,4167\tau^2 + 15,643\tau + 614,2 - (h_0 - \Delta h_0)20. \quad (4)$$

Отримані результати досліджень дають можливість перейти до розв’язування **третьої задачі**, а саме до визначення часу вогнестійкості сухої стінки резервуара зберігання нафти і нафтопродуктів при виникненні пожежі. Для розв’язування цієї задачі найбільш доцільно розробити блок-схему алгоритму визначення вогнестійкості сухої стінки резервуара під час пожежі, яка зображена на рис. 5.

Розглянемо структуру алгоритму для визначення вогнестійкості сухої стінки резервуара, який включає дев’ять блоків.

Блок 1. Введення вхідних даних.

Блок 2. Визначення глибини небезпечного перерізу сухої стінки резервуара.

Блок 3. Генератор псевдовипадкових чисел μ_i в межах 0...1.

Блок 4. Перехід від випадкових чисел до значення критичної температури.

Блок 5. Визначення напруження на зріз.

Блок 6. Перевірка напружень в небезпечному перерізі на зріз.

Блок 7. Введення позначень до залежності (4) для спрощення розрахунків.

Блок 8. Визначення вогнестійкості сухої стінки резервуара.

Блок 9. Роздрук отриманого результату щодо вогнестійкості сухої стінки резервуара.

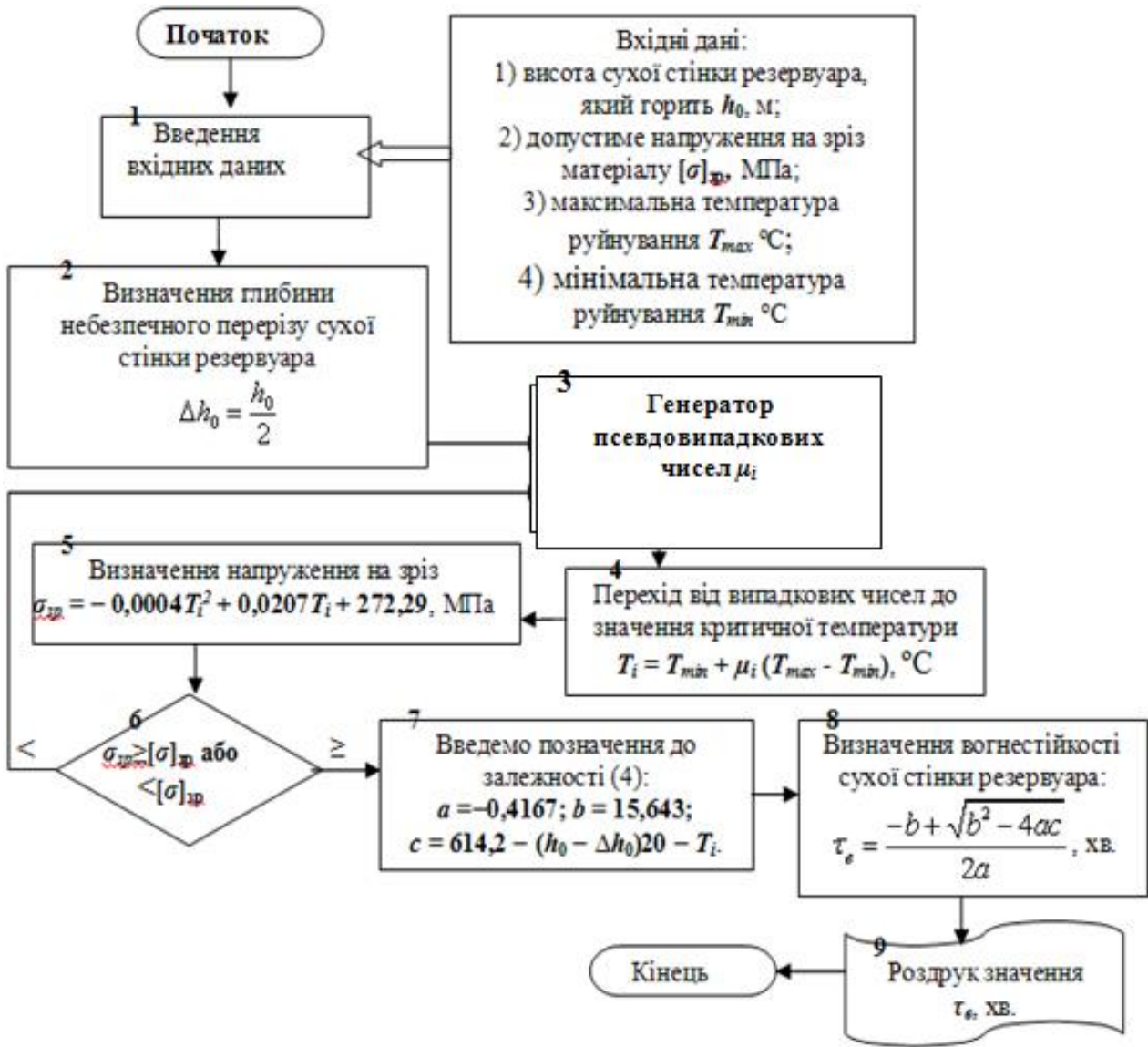


Рисунок 5 – Блок-схема алгоритму визначення вогнестійкості сухої стінки резервуара

На підставі розробленої блок-схеми алгоритму визначення вогнестійкості були розроблені лістинги пакету прикладних програм для визначення

вогнестійкості сухої стінки резервуара, написані мовою програмування C#. Загальний вигляд робочого вікна програми зображено на рис. 6.

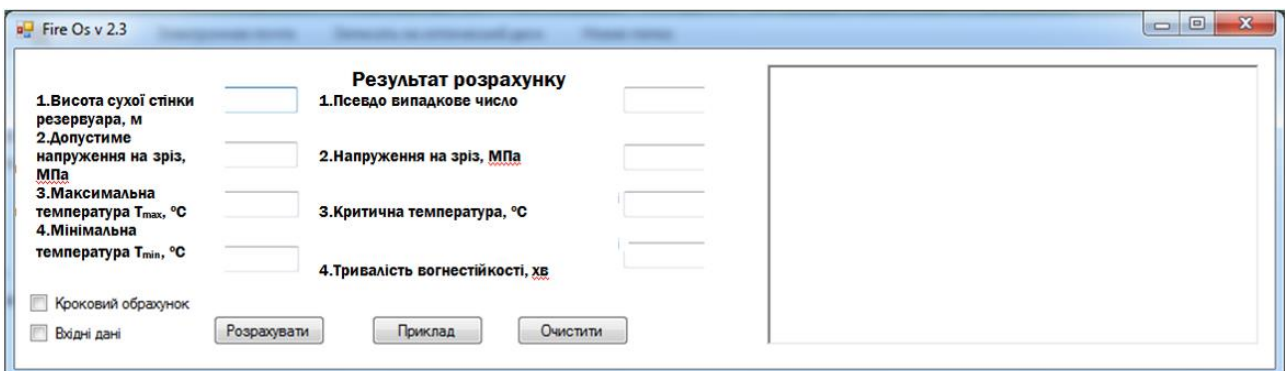


Рисунок 6 – Загальний вигляд робочого вікна програми для визначення вогнестійкості сухої стінки резервуара під час пожежі

Робота пакету прикладних програм перевірялася багаточисельними розрахунками із порівнянням отриманих результатів з результатами архівних матеріалів про пожежі, які відбулися в резервуарних парках [12, 14, 15]. Наприклад, результати розрахунку для резервуара РВС-5000 (діаметр 21 м, висота 15 м) з висотою сухої стінки 5 м вогнестійкість коливається в межах $\tau_e = 13 \dots 15$ хв. Безумовно таке значення вогнестійкості для сухої стінки резервуара є дуже малим. Крім того, від швидкого підвищення температури сухої стінки резервуара, який горить, буде відбуватися нагрівання сталевих конструкцій сусіднього резервуара, що не горить. Це може привести до самоспалахування нафтопродукту та його вибуху. Тому основним заходом для збільшення часу вогнестійкості сухої стінки резервуара під час пожежі є охолодження її водою з розробленням спеціальної конструкції пристрою кільцевого типу і встановленням його у верхній частині резервуара.

Висновки

1. Встановлено вплив температури листового матеріалу сухої стінки резервуара на її міцність. Результати досліджень показали, що температура матеріалу сухої стінки резервуара в межах $690 \dots 710$ °C є критичною і це може привести до її руйнування.

2. Результати досліджень дали змогу отримати залежність для визначення тривалості часу до виникнення критичних температур, за яких відбувається руйнування листового матеріалу сухої стінки резервуара. Результати розрахунків для резервуара РВС-5000 показали, що його вогнестійкість коливається в межах $\tau_e = 13 \dots 15$ хв. Безумовно таке значення вогнестійкості для сухої стінки резервуара є дуже малим з точки зору процесу ліквідації пожежі. Тому необхідно розробляти і впроваджувати певні заходи для підвищення вогнестійкості сухої стінки резервуара.

3. Для визначення часу вогнестійкості сухої стінки резервуара зберігання нафти і нафтопродуктів при виникненні пожежі була отримана залежність, яка дає змогу визначати температуру T в °C від тривалості горіння резервуара τ в хв, висоти сухої стінки резервуара h_0 в м і глибини Δh_0 в м від верхнього краю. Результати досліджень дозволили для швидкого реагування розробити блок-схему алгоритму розв'язку цієї задачі, а також на її основі пакет прикладних програм, написаних мовою програмування C#.

Список літератури:

1. Свиридов В.А. Деякі проблемні питання системи протипожежного захисту нафтопереробних підприємств. В.А. Свиридов, В.В. Присяжнюк, С.Д. Кухарішин, М.Л. Якіменко. URL: <http://www.undicz.mns.gov.ua/news/162html>.

2. Бабенко Ю.В., Дудченко В.Г., Басаєв А.М., Савельєв І.В., Деревинський Д.М., Боровиков В.О., Антонов А.В. – К. Протипожежний захист складів

нафти і нафтопродуктів. Оглядова інформація : УкрНДПБ, 2002. 142 с.

3. Виноградов В.П. Химические процессы при установившемся диффузионном горении в условиях пожара. Вестник С. Петербург. ин-та гос. противопожар. службы, 2003. № 2. С. 41-47.

4. Руководство по безопасности „Методика оценки риска аварий на опасных производственных объектах нефтегазоперерабатывающей, нефте- и газохимической промышленности”. Серия 09. Выпуск 38. Колл. авт. М. : Закрытое акционерное общество „Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности”, 2014. 44 с.

5. Волков О.М. Пожарная безопасность резервуаров с нефтепродуктами. О.М. Волков. М.: Недра, 1984. 151 с.

6. Мосалков И.Л., Плюснина Г.Ф., Фролов А.Ю. Огнестойкость строительных конструкций. М.: Спецтехника, 2001. 496 с.

7. Руководство по тушению нефти и нефтепродуктов в резервуарных парках. ГУГПС МВД России. М.: ВНИИПО, 1999.

8. Иванов А.Н., Сучков В.П. Особенности пожарной опасности мазута и тушение пожаров в резервуарах с нефтепродуктами. Изв. Академии промышленной экологии, 2005. № 1. С. 63-68.

9. Земцов А.Г. Повышение эффективности систем пожаротушения для резервуаров с мазутом: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. С. Петербургский институт государственной противопожарной службы МЧС России, 2004. 21 с.

10. Виноградов А.В., Бурлаченко А.Н. Методика расчета температуры стінки резервуара для паливно-мастильних матеріалів під час пожежі. Пожежна безпека, 2002. № 6. С. 5-6.

11. Sacadura J.F. Radiative heat transfer in fire safety science. J. Quant. Spectrosc. and Radiat. Transfer. 2005. 93, №1-3. P. 5-24.

12. Абрамов Ю.А., Басманов А.Е. Оценка параметров распределения температуры сухой стенки резервуара при пожаре. Научный вестник строительства. Харків: ХДТУБА, 2005. Вип. 34. С. 167-172.

13. Абрамов Ю.А., Басманов А.Е. Экспериментальное определение тепловых параметров резервуара. Вісник міжнародного слов'янського університету. Харків: ТОВ ПКФ „Яна”, 2005. Т. 8. №1-2. С. 32-34.

14. Басманов А.Е. Моделирование нагрева стенки резервуара, соприкасающейся с нефтепродуктом. А.Е. Басманов. Проблемы пожарной безопасности. Харьков: Фолио, 2005. Вып. 17. С. 13-18.

15. Войтович Д.П. Вплив пожеж на викиди токсичних продуктів згорання на об'єктах зберігання нафти і нафтопродуктів. Д.П. Войтович, Е.М. Гуліда. Научный вестник НГУ. 2015. №5. С. 91-97.

16. Свиридов В.А. Деякі проблемні питання системи протипожежного захисту нафтопереробних

підприємств. В.А. Свиридов, В.В. Присяжнюк, С.Д. Кухарішин, М.Л. Якіменко. URL: <http://www.undicz.mns.gov.ua/news/162html>.

17. Андреев І.А., Зубрій О.Г., Мікульонюк І.О. Застосування матеріалів у хімічному машинобудуванні. К.: КПІ, 1999. 148 с.

References:

1. Sviridov V.A. Some problematic issues of the system of fire protection of oil refineries V.A. Sviridov, V.V. Prisyazhnyuk, S.D. Kukharishin, M.L. Yakimenko. URL: <http://www.undicz.mns.gov.ua/news/162html>.

2. Babenko Y.V., Dudchenko V.G., Basayev A.M., Saveliev I.V., Derevinsky D.M., Borovikov V.O., Antonov A.V. - K. Fire protection of oil and oil products warehouses. Review information: UkrNDIPB, 2002. 142 p.

3. Vinogradov V.P. Chemical processes in steady-state diffusion combustion under fire conditions. Vestnik S.-Peterburg. in-ta gos. fire. Service, 2003. № 2. P. 41-47.

4. Safety Guide "Methods for assessing the risk of accidents at hazardous production facilities of the oil and gas refining, petrochemical and gas chemical industries." Series 09. Issue 38. Coll. aut. - Moscow: Closed Joint-Stock Company "Scientific and Technical Center for Industrial Safety Research", 2014. 44 p.

5. Volkov O.M. Fire safety of tanks with oil products. O.M. Volkov. M.: Bosom, 1984. 151 p.

6. Mosalkov I.L., Plyusnina G.F., Frolov A.J. Fire resistance of building structures. M.: Special equipment, 2001. 496 p.

7. Guide to extinguishing oil and oil products in tank farms. GUGPS of the Ministry of Internal Affairs of Russia. M.: VNIPO, 1999.

8. Ivanov A.N., Knots V.P. Features of fire danger of fuel oil and fire extinguishing in tanks with oil products. Izv. Academy of Industrial Ecology, 2005. № 1. P. 63-68.

9. Zemtsov AG Improving the efficiency of fire extinguishing systems for fuel oil tanks: Abstract. dis.... Cand. tech. Science. - St. Petersburg Institute of State Fire Service of the Ministry of Emergencies of Russia, 2004. 21 p.

10. Vinogradov A.V., Burlachenko A.N. Method of calculating the temperature of the tank wall for fuels and lubricants during a fire. Fire safety, 2002. № 6. P. 5-6.

11. Sacadura J.F. Radiative heat transfer in fire safety science. J. Quant. Spectrosc. and Radiat. Transfer. 2005. 93, №1-3. P. 5-24.

12. Abramov Yu.A., Basmanov A.E. Estimation of the parameters of the temperature distribution of the dry wall of the tank in case of fire. Science Newsletter of Budivnistva. - Kharkiv: HDTUBA, 2005. Vip. 34. P. 167-172.

13. Abramov Yu.A., Basmanov A.E. Experimental determination of the thermal parameters of the reservoir. Bulletin of the International Slovyanskogo Universitetu. Kharkiv: TOV PKF "Yana", 2005. T. 8. No. 1-2. P. 32-34.

14. Basmanov A.E. Modeling the heating of the tank wall in contact with the oil product. A.E. Basmanov. Problems of fire safety. Kharkov: Folio, 2005. Issue. 17. P. 13-18.

15. Voytovych D.P. Influence of fires on emissions of toxic combustion products at oil and oil products storage facilities. D.P. Voytovych, E.M. Gulida. . Scientific Bulletin of the NMU. 2015. №5. P. 91-97.

16. Sviridov V.A. Some problematic issues of the system of fire protection of oil refineries V.A. Sviridov, V.V. Prisyazhnyuk, S.D. Kukharishin, M.L. Yakimenko. URL: <http://www.undicz.mns.gov.ua/news/162html>.

17. Andreev I.A. Application of materials in chemical engineering. I.A. Andreev, O.G. Zubriy, I.O. Mykulyonok. K.: KPI, 1999. 148 p.

* Науково-методична стаття