

УДК 614.841.412

DOI: <https://doi.org/10.31731/2524.2636.2022.6.2.101-107>

Лариса Хаткова, кандидат педагогічних наук, доцент (ORCID: 0000-0001-5140-0213),
Вікторія Дагіль (ORCID: 0000-0001-7335-609X),
Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля
Національного університету цивільного захисту України,
Ілля Дагіль,
Київський національний університет імені Тараса Шевченка

КІЛЬКІСНА ОЦІНКА РИЗИКУ ВИНИКНЕННЯ ПОЖЕЖ НА РЕЗЕРВУАРАХ З НАФТОЮ І НАФТОПРОДУКТАМИ ВІД САМОЗАЙМАННЯ ПРОФОРНИХ ВІДКЛАДЕНЬ

Об'єкти з наявністю нафтопродуктів характеризуються підвищеною пожежною та вибухопожежною небезпекою. Масштаби наслідків таких пожеж можуть бути значними. Забезпечення та підтримка необхідного рівня пожежної безпеки таких об'єктів має бути в пріоритеті діяльності їхніх керівників, власників, відповідальних посадових осіб.

Нафтобази при їх неправильній експлуатації можуть бути досить небезпечними техногенними суб'єктами, аварії та катастрофи на яких можуть мати досить тяжкі наслідки, зважаючи на фізичні та хімічні характеристики нафтопродуктів, які на них зберігаються та розподіляються.

Крім того, нафтопродукти – небезпечні речовини, неправильне поводження з якими при перевезенні, зберіганні чи використанні може призвести до тяжких наслідків у вигляді аварійних ситуацій, пожеж і вибухів, травмування і загибель людей.

Згадаймо приклад пожежі, яка виникла 8 червня 2015 року на нафтобазі «БРСМ-Нафта» у Васильківському районі Київської області. 9 червня під час гасіння пожежі стався потужний вибух. Пожежа охопила всі 17 резервуарів з паливом. Виникла загроза поширення на сусідню нафтобазу, ліс і військову частину, на якій зберігається арсенал зброї. Оголосили евакуацію громадян з двокілометрової зони від кордону пожежі. Внаслідок катастрофи загинуло 5 осіб (з них троє — рятувальники), 18 осіб постраждали. Тому забезпечення та підтримка необхідного рівня пожежної безпеки таких об'єктів має бути в пріоритеті діяльності їхніх керівників, власників, відповідальних посадових осіб.

Пожежі на об'єктах зберігання нафтопродуктів характеризуються:

- розривами резервуарів, закипанням та викидом нафтопродуктів;
- утворенням зон, що ускладнюють подачу вогнегасних речовин, у результаті обвалення покрівель резервуарів;
- сильним тепловипромінюванням та конвективними потоками від резервуара, що горить;
- швидким розвитком і поширенням вогню технологічними лотками, розлитими легкозаймистими та горючими рідинами, каналізаційними та іншими системами;
- змінами напрямків потоків продуктів горіння і теплової дії залежно від метеорологічних умов.

На резервуарах, при нормальному режимі роботи, основними джерелами запалювання є: прояв атмосферної електрики, іскри від електроустановок; самозаймання пірофорних з'єднань; механічні удари під час відбору проб і виміру рівня, найчастіше – вибух при ручному відборі проб з даху резервуарів типу – резервуар вертикальний сталевий; технологічні вогневі пристрої; розряди статичної електрики [2,4].

Ключові слова: нафтогазова галузь, пірофорні відкладення, самозаймання, резервуар для зберігання нафти та нафтопродуктів, пожежа, резервуар вертикальний сталевий (РВС), повторюваність, ризик, розподіл Пуассона.

Постановка проблеми. Наразі профілактиці пожеж та попередженню надзвичайних ситуацій приділяється дуже велика увага. Нафтогазова галузь є однією з областей, де події відбуваються з високою частотою і де практично всі об'єкти відносяться до небезпечних виробничих об'єктів [6]. Однією з причин, через які відбуваються пожежі та аварії в нафтогазовій галузі: самозаймання пірофорних відкладень, частка якої припадає 12,8 % від загальної кількості джерел запалювання [5]. Згідно з даними [9], більшість пожеж через самозаймання пірофорних відкладень відбувається у весняний і осінній час, коли в резервуарах вертикальних сталевих для зберігання нафти і нафтопродуктів (далі – РВС) проводять очищення.

Підвищена небезпека обслуговування резервуарного та іншого обладнання в умовах наявності на їх стінках пірофорних відкладень вимагає використання комплексу заходів, що забезпечують з одного боку запобігання їх самовільного займання, а з іншого – недопущення ситуацій, коли при загорянні пірофорних відкладень могли б статися вибух і пожежа.

Найбільш радикальний та універсальний захід по запобігання самозагоряння пірофорних відкладень в резервуарах – це недопущення їх утворення на стінках внутрішньої порожнини резервуара. В першу чергу, це досягається нанесенням захисних покриттів на основі стійких матеріалів (епоксидних, поліуретанових, поліефірних та інших). Але цей захід можна здійснити, головним чином, на щойно введених в експлуатацію резервуарах. При цьому треба мати на увазі, що виконавці цієї роботи, прагнучи спростити собі справу, намагаються уникнути нанесення цих покриттів на внутрішню поверхню покрівлі. А якщо і наносять покриття, то вони недовговічні через неякісну очистку і підготовку поверхні.

Проблема запобігання загоряння пірофорних відкладень в резервуарах виникає, коли необхідно резервуар зупинити для огляду або проведення ремонтних робіт. І тут покриття будуть ефективні, але спочатку треба спорожнити резервуар, очистити його від нафтопродуктів та пірофорних відкладень. Тому тут повинен бути використаний ряд технологічних заходів. Це пов'язано з тим, що пірофорні відкладення в цих умовах є джерелом горючих продуктів, запалювання яких важко контролювати (наприклад, у вільному пароповітряному просторі резервуара), а при взаємодії з киснем продукти корозії загоряються, і при цьому виділяється токсичний двоокис сірки, накопичення якої в замкнутому просторі потребує вентиляції або роботи в протигазах.

Вітчизняна та зарубіжна практика використовують ряд способів, що дозволяють ліквідувати пожежну небезпеку пірофорних проявів або запобігти їх утворенню за допомогою безпечної технології ремонтних і очисних робіт.

Ефективним способом боротьби із самозайманням пірофорних відкладень при розгерметизації резервуарів (під час спорожнення резервуара це неминуче) є запобігання контакту внутрішніх поверхонь ємкостей з киснем повітря. Для цього можуть бути використані різні схеми герметизації резервуарного парку, застосування системи уловлювання легких фракцій нафти.

Через відсутність надійних способів попередження утворення пірофорних сульфідів, повна безпека при розгерметизації ємностей та обладнання може бути забезпечена лише усуненням контакту пірофорних відкладень з киснем повітря або зменшенням швидкості його взаємодії із сульфідом заліза. Це досягається заповненням вільного пароповітряного простору резервуарів або менших за обсягом технологічних ємностей азотом, двоокисом вуглецю, вихлопними газами двигунів, газомеханічною піною чи постійною подачею водяної пари всередину резервуара за особливою технологією.

Звичайне пропарювання резервуарів тільки підвищує небезпеку самозаймання вільних від нафтопродуктів пірофорних відкладень, якщо привести ці відкладення в безконтрольний контакт з повітрям.

При проведенні ремонтних робіт в резервуарах, коли необхідно в першу чергу видалити пірофорні відкладення на дні ємкостей, використовують наступний спосіб: спорожняють резервуар від нафти до найнижчого рівня, заповнюють його водою та

інертним газом – і проводять видалення відкладень механізованим обладнанням з під шару води.

Аналіз останніх досягнень і публікацій. У попередній робот [7] було визначено теоретичні частоти пожеж на РВС від самозаймання пірофорних відкладень з розподілу кількостей пожеж на РВС за частотами виникнення за законом розподілу Пуассона. У роботі проводилася кількісна оцінка ризику виникнення пожеж на РВС від самозаймання пірофорних відкладень за місяцями згідно із законом розподілу Пуассона. У період із 2012 по 2022 р.р. внаслідок самозаймання пірофорних відкладень на РВС сталося 17 пожеж. Розподіл пожеж на РВС від самозаймання пірофорних відкладень за місяцями за 2012-2022 роки представлено у таблиці 1 та на малюнку 1.

Таблиця 1 – Розподіл пожеж на РВС від самозаймання пірофорних відкладень за місяцями за 2012-2022 роки

Місяць	Частота пожеж	Місяць	Частота пожеж
січень	0	липень	1
лютий	2	серпень	1
березень	1	вересень	2
квітень	2	жовтень	0
травень	5	листопад	0
червень	3	грудень	0

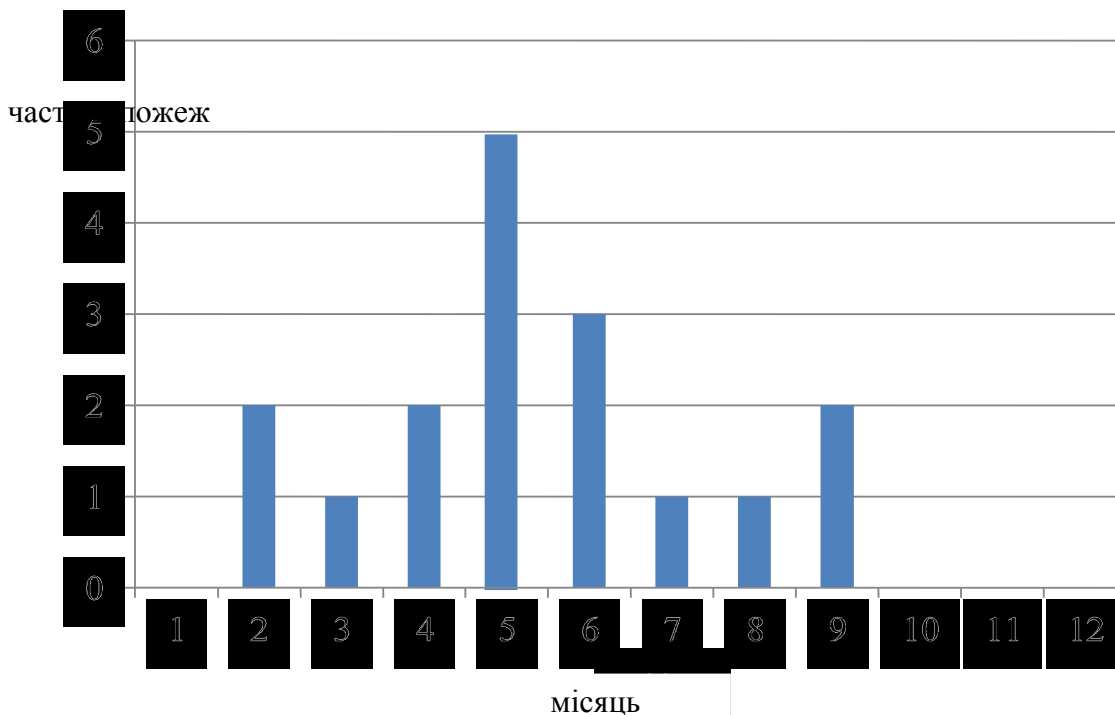


Рисунок 1 – Розподіл пожеж на РВС від самозаймання пірофорних відкладень за місяцями за 2012-2022 роки

З таблиці 1 і рисунка 1 видно, що твердження у джерелі [3], взагалі, вірно, на весняні місяці припадає 8 пожеж, на осінні – 2. Кількісну оцінку ризику виникнення пожеж на РВС від самозаймання пірофорних відкладень за місяцями визначали за законом Пуассона, так як береться до уваги великий проміжок часу і при цьому пожежі є випадковими подіями, тобто відбуваються у випадкові моменти часу, та інтервал між ними є випадковою величиною.

Імовірність виникнення частоти кількості подій на рік визначалася за формулою (1):

$$P_n(k) = \lambda \frac{e^{-\lambda}}{k} \quad (1)$$

де: k – частота виникнення події;

λ – середня кількість виникнення події.

Середня кількість виникнення події становила 1,416 пожеж на місяць. Розрахунок проводився у програмі MS Excel з використанням функції Пуассон.

Для порівняння з емпіричними даними були визначені емпіричні частоти виникнення пожеж на РВС від самозаймання пірофорних відкладень за формулою (2):

$$\hat{n}_i = \frac{n_i}{n} \quad (2)$$

де: n – сума всіх частот;

n_i – частота пожеж у i -ому місяці.

Значення емпіричних частот та розрахункових, отриманих за формулами (1), (2), представлені в таблиці 2.

Таблиця 2 – Розподіл емпіричних частот та ймовірностей виникнення пожежі на РВС від самозаймання пірофорних відкладень за місяцями за 2012-2022 рр.

Місяць	n_i	P_n	Місяць	n_i	P_n
січень	0	0,242	липень	1	0,058
лютий	0,117	0,829	серпень	1	0,058
березень	0,058	0,586	вересень	2	0,117
квітень	0,117	0,829	жовтень	0	0
травень	0,294	0,996	листопад	0	0
червень	0,176	0,944	грудень	0	0

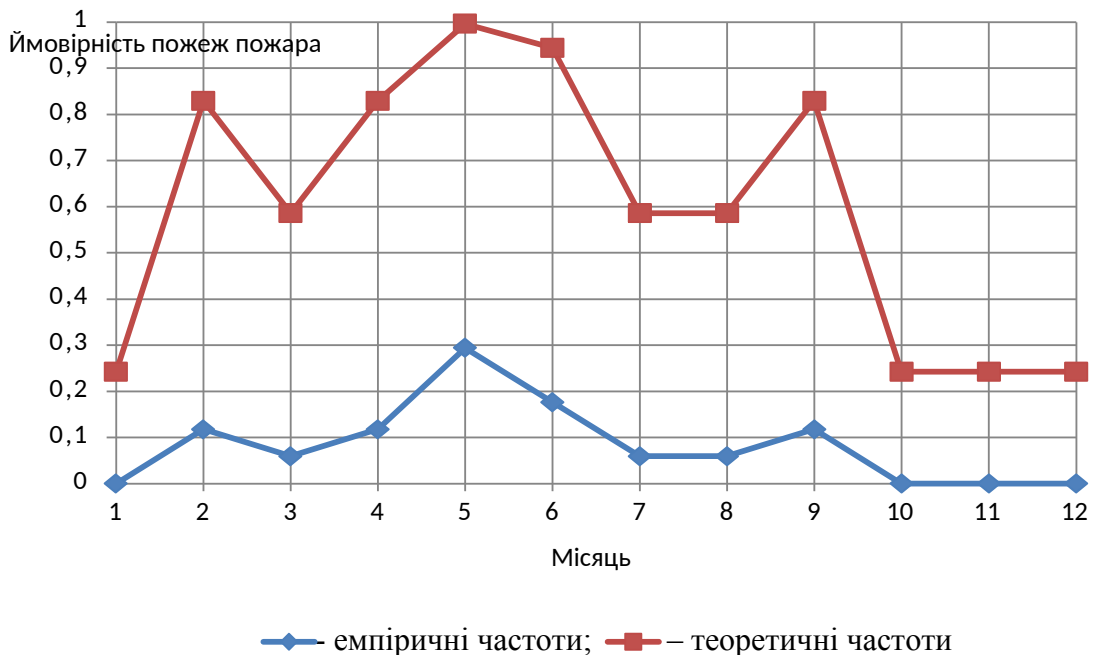


Рисунок 2 – Розподіл емпіричних та теоретичних частот за місяцями за 2012-2022 рр.

Види залежності емпіричних та теоретичних частот графічно схожі, є загальна тенденція. Однак для ухвалення цієї гіпотези необхідно перевірити її на адекватність.

Перевірку на адекватність цієї гіпотези будемо проводити за допомогою критерію Пірсона (3).

$$\chi^2 = \frac{(n_i - \hat{n}_i)^2}{\hat{n}_i} \quad (3)$$

де: n_i – емпірична частота кількості пожеж;

\hat{n}_i – теоретична частота кількості пожеж.

Для цього складемо розрахункову таблицю 3 для порівняння теоретичних отриманих даних.

Таблиця 3 – Розрахункові дані для перевірки теоретичних частот, отриманих за формулою (1) за критерієм Пірсона

i	n_i	\hat{n}_i	$n_i - \hat{n}_i$	$(n_i - \hat{n}_i)^2$	$\frac{(n_i - \hat{n}_i)^2}{\hat{n}_i}$
1	0	0,242683	-0,24268	0,058895	0,242683
2	0,117647	0,829618	-0,71197	0,506903	0,611007
3	0,058824	0,586322	-0,5275	0,278254	0,474576
4	0,117647	0,829618	-0,71197	0,506903	0,611007
5	0,294118	0,996618	-0,7025	0,493507	0,495182
6	0,176471	0,944454	-0,76798	0,589798	0,624486
7	0,058824	0,586322	-0,5275	0,278254	0,474576
8	0,058824	0,586322	-0,5275	0,278254	0,474576
9	0,117647	0,829618	-0,71197	0,506903	0,611007
10	0	0,242683	-0,24268	0,058895	0,242683
11	0	0,242683	-0,24268	0,058895	0,242683
12	0	0,242683	-0,24268	0,058895	0,242683
Σ	1	7,159622	–	–	5,347149

Встановлено, що $\chi^2 = 5,347149$. При рівні значимості $\alpha = 0,05$ та кількості ступенів свободи $s = 6 - 3 = 3$ критичне значення становило:

$$\chi_{кр}^2(0,05;3) = 7,8.$$

Висновки: так як у нашому випадку $\chi^2 < \chi_{кр}^2$ робимо висновок про те, що немає підстав відкидати гіпотезу про розподіл випадкової величини. Отримані значення ризиків, розраховані за формулою (1), свідчать про необхідність проведення профілактичних заходів у таких місяцях, як лютий, квітень, травень, червень, вересень. Особливу увагу профілактиці пожеж необхідно приділяти в травні, оскільки значення ризику пожежі на РВС від самозаймання пірофорних відкладень становить 0,9966, що говорить про високу частоту пожеж цього місяця згідно з отриманими значеннями.

При роботах по видаленню пірофорних відкладень необхідно приділити увагу організаційно-технічним заходам, що забезпечують безпеку праці та пожежовибухобезпечність технологічних операцій. Для цього, на підставі діючих правил та норм, на об'єктах з нафтою і нафтопродуктами, повинні бути розроблені виробничі інструкції з техніки безпеки стосовно конкретних об'єктів виробництва, наприклад, технічної експлуатації сталевих резервуарів, в яких є пірофорні відкладення [4]:

Повинен бути складений і затверджений керівництвом підприємства перелік обладнання та комунікацій, в яких утворюються пірофорні відкладення. Робітники та інженерно-технічні працівники, які допускаються до обслуговування цього обладнання,

повинні бути попередньо ознайомлені з властивостями пірофорних речовин та заходами щодо запобігання їх утворення і самозаймання. При експлуатації такого обладнання необхідно забезпечити періодичний контроль за утворенням пірофорних відкладень та періодичністю їх очищення. Перед початком планових ремонтних робіт на резервуарах, пов'язаних з розгерметизацією резервуарів з нафтопродуктами, відповідальний керівник, призначений наказом по підприємству (об'єкту), повинен [1]:

- розробити план ведення робіт, в якому визначені додаткові заходи із запобігання самозагоряння пірофорних відкладень (флегматизація, дезактивація), порядок їх збирання, захоронення (нейтралізації) у встановленому місці і заходи безпеки при виконанні цих робіт;

- провести інструктаж з техніки безпеки на робочому місці з усіма членами робочої бригади (групи), в якому повинні бути розглянуті пожежовибухонебезпечні властивості пірофорних речовин, способи їх флегматизації, дезактивації, збору, поховання;

- оформити наряд-допуск на виробництво газонебезпечних робіт, включаючи пропарювання, заповнення і спорожнення резервуара водою, а також інші заходи, що забезпечують запобігання самозаймання пірофорних відкладень.

Проби пірофорних відкладень для дослідницьких цілей повинні відбиратися тільки з дозволу головного інженера об'єкту, при погодженні цієї роботи з місцевим органом пожежної охорони в присутності відповідального керівника робіт.

Проби пірофорних відкладень слід відбирати, зскрібаючи їх з поверхні металу спеціальним пробовідбірником. Скребок частина пробовідбірника повинна бути виготовлена з матеріалу, що не дає іскор при терті і ударі. Пірофорні проби ізолюються від контакту з киснем повітря подаванням інертного газу. При відсутності інертного газу допускається ізолювати пробу від повітря водою або нафтопродуктом. Оцінку пірофорної активності слід проводити тільки в лабораторних умовах .

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Правила пожежної безпеки для об'єктів зберігання, транспортування та реалізації нафтопродуктів, які затверджені наказом Міністерства палива та енергетики України від 24.12.2008 р. № 658.

2. Бабенко Ю. В. Протипожежний захист складів нафти і нафтопродуктів. Оглядова інформація / Ю. В. Бабенко, В. Г. Дудченко А. М. Басаєв та ін. – К.: УкрНДІПБ, 2002.– 142 с.

3. Кузин А. В. Безопасность ремонтных работ / А. В. Кузин, Г. Я. Теплинский, В. И. Юшков. – Москва: Химия, 1981. – 264 с.

4. Лісафін В. П. Проектування та експлуатація складів нафти і нафтопродуктів: [підруч. для студ. вищ. навч. закл.] / В. П. Лісафін, Д. В. Лісафін. – Івано-Франківськ: Факел, 2006. – 597 с.

5. Лісафін В. П. Типові розрахунки процесів приймання, зберігання та розподілу нафти і нафтопродуктів: [навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл.] / В. П. Лісафін, Н. В. Люта. – Івано-Франківськ: Факел, 2003. – 248 с.

6. Ференц Н. О. Прогнозування аварійних ситуацій і аварій на дільниці риформінгу нафтопереробного підприємства / Н. О. Ференц, С. О. Ємеляненко // Зб. наук. праць «Пожежна безпека». – Львів: ЛДУ БЖД, 2010.

7. Чернецький В. В. Математичне моделювання та дослідження теплових процесів у вертикальних сталевих резервуарах за умов пожежі/ В. В. Чернецький, М. М. Семерак, М. Р. Михайлишин // Пожежна безпека: зб. наук. праць. – 2015. – №27.– С. 151 – 157.

REFERENCES

1. Fire safety rules for storage, transportation and sale of petroleum products approved by Order No. 658 of the Ministry of Fuel and Energy of Ukraine dated December 24, 2008.

2. Babenko Yu.V. Fire protection of oil and oil product warehouses. Overview information / Yu.V. Babenko, V.G. Dudchenko A.M. Basaev et al. – K.: UkrNDIPB, 2002. – 142 p.

3. Kuzin A.V. Safety of repair work / A.V. Kuzin, G.Ya. Teplinskiy, V.I. Yushkov. – Moscow: Chemistry, 1981. – 264 p.
4. Lisafin V.P. Design and operation of oil and oil product warehouses: [sub. for students higher education closed.] / V.P. Lisafin, D.V. Lisafin. – Ivano-Frankivsk: Fakel, 2006. – 597 p.
5. Lisafin V.P. Typical calculations of the processes of acceptance, storage and distribution of oil and oil products: [scientific. manual for students higher education closed.] / V.P. Lisafin, N.V. Lyuta. – Ivano-Frankivsk: Fakel, 2003. – 248 p.
6. Ferenc N.O. Forecasting emergency situations and accidents at the reforming site of an oil refinery / N.O. Ferenc, S.O. Emelianenko // Collection. of science Works "Fire safety". – Lviv: LSU BZD, 2010.
7. Chernetsky V.V. Mathematical modeling and research of thermal processes in vertical steel tanks under fire conditions/ V.V. Chernetskyi, M.M. Semerak, M.R. Mykhailyshyn// Fire safety: Coll. of science works – 2015. – No. 27. – P. 151 – 157.

*Larisa Khatkova, Candidate of pedagogical sciences, docent,
Victoria Dagil,
Cherkasy Institute of Fire Safety Named after Chornobyl Heroes
of National University of Civil Defense of Ukraine,
Ilya Dagil,
Kyiv National University named after Taras Shevchenko*

QUANTITATIVE EVALUATION OF THE RISK OF FIRE ON THE OIL TANKS FROM THE FIRE FIGHTING OF PYROPHORIC DEPOSITS

***Abstract.** After the extraction of oil, its processing and the production of various liquid petroleum products (gasoline, diesel fuel, lubricants and various solvents), there is a significant need for their temporary storage with subsequent sale to consumers. For this purpose, special complex facilities are being created, which ensure not only the temporary preservation of oil and oil products, but also their reception from producers and sale to consumers.*

A large amount of flammable substances stored in tanks creates a high fire hazard in tank farms. Fires that occur cause significant material damage and often lead to the death of people/

Currently, a lot of attention is paid to fire prevention and emergency prevention. The oil and gas industry is one of the areas where events occur with a high frequency and where almost all facilities are classified as dangerous production facilities. One of the causes of fires and accidents in the oil and gas industry: self-ignition of pyrophoric deposits, which accounts for 12.8% of the total number of ignition sources.

Most of the fires due to spontaneous ignition of pyrophoric deposits occur in spring and autumn, when cleaning is carried out in the vertical steel tanks for the storage of oil and petroleum products.

The increased danger of maintaining tank and other equipment in the presence of pyrophoric deposits on their walls requires the use of a set of measures that ensure, on the one hand, the prevention of their spontaneous ignition, and on the other hand, the prevention of situations where an explosion and fire could occur when pyrophoric deposits igniteю.

At paper quantitative evaluation of the risk of fires on vertical stainless tanks for contain oil and petroleum products from auto-ignition of pyrophoric deposits is given. The statistics on fires in tanks for contain oil and petroleum products from auto-ignition of pyrophoric deposits and distribution of fires by months from 2012 to 2022 are presented. Data are given about the period of the most frequent occurrence of fires in oil tank from the spontaneous combustion of pyrophoric deposits after the elimination of the previous fire in the oil tank for the same reason.

The obtained risk values indicate the need for preventive measures in months such as February, April, May, June, and September. Special attention should be paid to fire prevention in

May, as the value of fire risk on tanks due to spontaneous ignition of pyrophoric deposits is 0.9966, which indicates a high frequency of fires in this month according to the obtained values.

Key words: *gas and oil industry, pyrophoric deposits, auto-ignition, oil tank, fire, repeatability, risk, Poisson distribution.*