

*О. І. Башинський, М. З. Пелешко, Т. Г. Бережанський  
Львівський державний університет безпеки життєдіяльності*

## ВОГНЕСТІЙКІСТЬ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ СКЛАДСЬКИХ БУДІВЕЛЬ ДЛЯ ЗБЕРІГАННЯ ЛЕГКОЗАЙМИСТИХ ТА ГОРЮЧИХ РІДИН

У статті розглянуто актуальну проблему щодо відповідності межі вогнестійкості елементів будівельних конструкцій будівель для зберігання легкозаймистих та горючих рідин.

На сьогодні склади нафти і нафтопродуктів є одними із найважливіших елементів системи нафтопродуктозабезпечення України. На основі проведеного аналізу літературних джерел показано, що пожежі на складах нафтопродуктів є стимулом для підвищення пожежної небезпеки поряд розташованих будівель, а збільшення їх масштабів, гостро вказує на необхідність вдосконалення заходів пожежної безпеки при їх проектуванні та експлуатації. Як показує практика, пожежі в таких спорудах, є складними і масштабними, ліквідуються з великими труднощами, завдають великої шкоди і часто призводять до загибелі людей.

На основі проведених теоретичних розрахунків показано, що руйнування конструкції складу нафтопродуктів в тарі і, як наслідок, значні матеріальні втрати та загроза життя і здоров'ю людей, відбувається внаслідок неправильного підбору будівельних конструкцій та невідповідності межі вогнестійкості цих конструкцій до діючих норм та вимог до будівель такого призначення.

Для цього в рамках роботи проведено розрахунок межі вогнестійкості металевої двотаврової колони складу нафтопродуктів виготовленої з сталі марки ВСтЗпс4 та профілем двотавра №30 складу нафтопродуктів. Встановлено, що межа вогнестійкості металевої колони двотаврового перерізу становить близько 16 хв (R 16). Тоді, згідно з нормативними документами для будівель такого типу (ступінь вогнестійкості будівлі - III), вона повинна становити R 120, тобто навіть якщо розрахунковий метод має похибку в результаті вибору іншої марки сталі, чи профілю двотавра, то об'єктивно жоден з профілів двотавра та жодна марка сталі двотавра не забезпечили б стійкості металевої двотаврової колони складу нафтопродуктів в тарі під час пожежі протягом 120 хв (R 120).

**Ключові слова:** вогнестійкість, межа вогнестійкості, конструктивні елементи будівлі, легкозаймиста та горюча рідина, металева колона.

**Вступ.** Щорічно Україна споживає більше ніж 20 млн тонн нафти та продуктів її переробки, що передбачає експлуатацію досить великого резервуарного парку країни. Встановлено, що для 1 тонни нафти, яку добувають або переробляють, необхідно забезпечити для зберігання об'єм порядку 0,4–0,5 м<sup>3</sup>. На сьогодні склади нафти і нафтопродуктів є одним із найважливіших елементів системи нафтопродуктозабезпечення України.

За даними світової пожежної статистики, щорічно в світі відбувається 7-8 мільйонів пожеж, при яких гинуть 70-80 тисяч чоловік і 500-800 тисяч осіб отримують опіки і травми.

Зокрема світова статистика виникнення пожеж на складах для зберігання легкозаймистих та горючих рідин наглядно показує тенденцію до підвищення пожежної небезпеки при збільшенні масштабів і вказує на необхідність подальшого

вдосконалення заходів пожежної безпеки при їх проектуванні та експлуатації. Пожежі в таких будівлях, як правило, є складними і масштабними, ліквідуються з великими труднощами, завдають значної шкоди і часто призводять до загибелі людей.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Складські приміщення та будівлі для зберігання легкозаймистих та горючих рідин повинні відповідати нормам та правилам проектування, бути ізольованими, захищеними від дії прямих сонячних променів, атмосферних опадів і ґрунтових вод, обладнаними механічною припливно-видажною вентиляцією тощо.

Основа забезпечення безпеки таких будівель становить система протипожежного захисту, що включає вогнестійкість конструкцій – здатність зберігати функціональні властивості (несучі та огорожуючі) в умовах пожежі. Показником вогнестійкості будівельних конструкцій є межа

вогнестійкості, яка визначається фізико-хімічними властивостями матеріалів, з яких вони виготовлені, та їх товщиною. В свою чергу значення межі вогнестійкості та межі поширення вогню по конструкціях будуть визначати ступінь вогнестійкості будівлі в цілому.

Згідно з нормами пожежної безпеки, будівлі та споруди складів для зберігання легкозаймистих та горючих рідин повинні мати вогнестійкість не нижче II ступеня. При цьому одноповерхові будівлі можуть бути III ступеня вогнестійкості. Будівлі для зберігання горючих рідин у тарі можуть бути заввишки не більше трьох поверхів, а легкозаймистих — одноповерховими [1, 7, 8].

Аналогічна картина спостерігається і у світовій практиці. Згідно зі стандартами GAPS – Global Asset Protection Services (Глобальна служба з захисту активів), будівлі для зберігання горючих та легкозаймистих рідин мають виконуватись із негорючих або вогнестійких матеріалів [2].

Будівля складу повинна бути розташована на відстані не менше 30 м від будівель, зовнішні стіни яких не є вогнестійкими; на відстані не менше 15 м від будівель, зовнішні стіни яких мають межу вогнестійкості 120 хв. Якщо відстань є меншою ніж 15 м, то межа вогнестійкості зовнішньої стіни будівлі має бути не меншою ніж 240 хв [2].

Прикладом невідповідності межі вогнестійкості основних конструктивних елементів складської будівлі для зберігання легкозаймистих та горючих рідин і як її наслідку є масштабна пожежа на Львівській нафтобазі "Плугова-1", що належить ПАТ «Концерн Галнафтогаз». На території нафтобазі зберігається бензин та дизельне паливо. Нафтопродукти доставляють до нафтобазі залізничними цистернами, а далі за допомогою насосної станції перекачують у резервуари відповідно до маркування палива. Потім за допомогою насосів-стояків дизельне паливо або бензин розливається в автоцистерни. Нафтобаза облаштована сучасною системою пожежної сигналізації та системою піногенераторів. На території об'єкта також є дві пожежні водойми.

Пожежа сталася 3 серпня 2007 року, коли на тупикову колію Львівської нафтобазі з нез'ясованою метою зайхав маневровий локомотив Львівської залізниці з чотирма платформами щебеню попереду. Локомотив на швидкості протаранив цистерни з бензином А-95, які в кількості 12-ти штук стояли на тупиковій колії та чекали розвантаження. Внаслідок зіткнення у одній із цистерн утворилась пробоїна на рівні сорока сантиметрів від її дна. З неї почало витікати паливо, яке зайнялось та спричинило загорання трьох цистерн. Створилася реальна загроза для займання та вибуху ємностей із авіаційним паливом, розташованих

на відстані близько десяти метрів від зони інтенсивного горіння. Горів і поруч розташований ангар з нафтопродуктами [3].



Рисунок 1 – Пожежа на Львівській нафтобазі "Плугова-1"

Машиніст локомотива залишив місце події. Працівники нафтобазі та члени добровільної пожежної дружини, діючи згідно з Планом ліквідації аварійних ситуацій (ПЛАС), почали гасіння пожежі і оперативно викликали усі необхідні служби.

Пожежу було ліквідовано за дві години. Повністю згоріли складські приміщення нафтобазі, п'ять цистерн з бензином, рятувальникам вдалось запобігти загорянню двох цистерн з бензином. Людських жертв та постраждалих немає. Якби стався вибух бензину та нафтопродуктів, полум'я охопило б половину Львова, адже нафтобаза розташована поблизу потужних підприємств, таких як лакофарбовий завод та інші.

Також значної шкоди завдала пожежа на Лисичанському нафтопереробному заводі, де вогнем було пошкоджено складську будівлю з нафтопродуктами. З аналізу наслідків пожежі видно, що основною проблемою були металеві колони складської будівлі, що під дією високих температур пожежі деформувались. Цієї ситуації можна було уникнути, якби було забезпечено відповідне значення межі вогнестійкості основних будівельних конструкцій будівлі.

**Мета роботи** полягає у встановленні відповідності межі вогнестійкості основних конструктивних елементів складської будівлі для зберігання легкозаймистих та горючих рідин.

**Результати досліджень.** Визначити причини руйнування будівлі і, як наслідок, значних матеріальних втрат та загрозу для життя та здоров'я людей, можна проаналізувавши показники вогнестійкості конструктивних елементів вищезгаданої будівлі складу.

Відповідно до розділу 4 пункту 3.3.1 [1], склади нафтопродуктів в тарі мають мати ступінь вогнестійкості не нижче III.

Конструктивне виконання складу було таким: зовнішні несучі стіни товщиною 380 мм виконані з керамічної цегли, перекриття міжповерхове збірне – виконане із залізобетонних багатопустотних плит, колони металеві двотаврового профілю №30.

Згідно з таблицею 1 [4], усі конструкції відповідають вимогам межі поширення полум'я М0 за матеріалом виконання.

Залишається проаналізувати відповідність межі вогнестійкості.

Згідно з [4], мінімальна межа вогнестійкості несучих стін для III ступеня вогнестійкості – REI 120. Враховуючи матеріал виконання та те, що керамічна цегла виготовляється при високих температурах і критична температура її є високою, а також що товщина стін становить 380 мм, очевидно, що межа вогнестійкості несучих стін буде вищою ніж вимагає [3], тому автори вважають недоцільним наводити у цій роботі її розрахунок.

Згідно з [4], мінімальна межа вогнестійкості міжповерхового перекриття для III ступеня вогнестійкості – REI 45. Враховуючи, що у вимогах до такої конструкції дозволяється використання матеріалів з межею поширення вогню М1 (дерев'яні вогнезахиснені балки та настипи тощо), то залізобетонне перекриття із багатопустотних плит в умовах пожежі буде краще виконувати свої функціональні властивості та їх розрахунок межі вогнестійкості наводити у цій роботі недоцільно.

Проведемо розрахунок межі вогнестійкості металевих колон [6], оскільки на думку авторів саме вони були найвразливішим місцем під час пожежі.

Навантаження на колони та матеріал виконання підібрані наближено, враховуючи неможливість отримання проектної документації, тому результат обчислення матиме похибку порівняно з реальними умовами, та все ж імовірно дасть змогу оцінити внаслідок чого конструкція будівлі складу нафтопродуктів обвалилась.

Металева двотаврова колона профілем №30 зі сталі марки ВСтЗпс4. Геометричні розміри,

площа поперечного перерізу, моменти опору та інерції двотавра вибрані згідно з [5].

Значення коефіцієнта умов роботи під час пожежі визначаємо за формулою:

$$\gamma_T = \frac{N}{\phi \cdot A \cdot R_y} = \frac{10,2 \cdot 1000}{472 \cdot 46,5 \cdot 235} = 0,197 \quad (1)$$

де  $A$  – площа поперечного перерізу металевго елемента, брутто,  $\text{см}^2$ ;  $N$  – навантаження на колону, кН;  $\phi$  – коефіцієнт поздовжнього згину,  $R_y$  – розрахунковий опір сталі, МПа.

Далі за таблицею 1 знаходимо критичну температуру.

**Таблиця 1**

Залежність значень  $\gamma_T, \gamma_\sigma, \gamma_B$  від температури

$t, ^\circ\text{C}$	$T, \text{K}$	$\gamma_T$	$\gamma_\sigma$	$\gamma_B$	$t, ^\circ\text{C}$	$T, \text{K}$	$\gamma_T$	$\gamma_\sigma$	$\gamma_B$
20	293	1,00	1,00	1	400	673	0,70	0,86	0,90
100	373	0,99	0,96	1	450	723	0,65	0,84	-
150	423	0,93	0,95	-	500	773	0,58	0,80	0,60
200	473	0,85	0,94	1,12	550	823	0,45	0,77	-
150	523	0,81	0,92	-	600	873	0,34	0,72	0,30
300	573	0,77	0,90	1,09	650	923	0,22	0,68	-
350	623	0,74	0,88	-	700	973	0,11	0,59	-

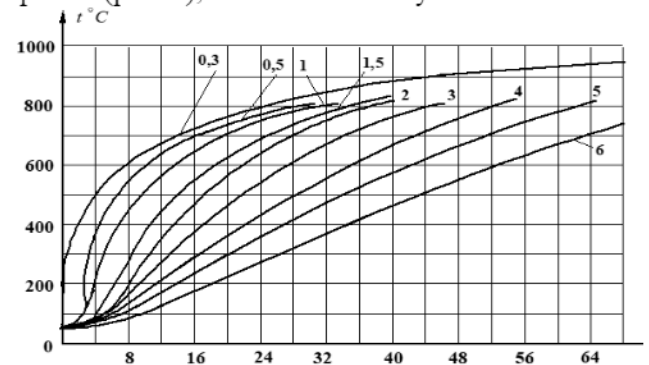
Критична температура ( $T_k$ ) в нашому випадку  $\sim 700 ^\circ\text{C}$ .

Приведену товщину металу незахищених конструкцій визначають із співвідношення площі поперечного перерізу до периметра перерізу, де  $A$  – площа поперечного перерізу металевго елемента ( $\text{см}^2$ );  $P$  – периметр обігріваної частини перерізу:

$$P = 2b + 2(b - d) + 2h = 2 \cdot 135 + 2(135 - 6,5) + 2 \cdot 300 = 172,7 \text{ (см)} \quad (2)$$

$$\delta_{np} = \frac{A}{P} = \frac{46,5}{172,7} = 0,3 \text{ (см)} \quad (3)$$

Враховуючи критичну температуру ( $T_k$ ) та приведену товщину металу конструкції, за графіком (рис. 2), визначаємо межу вогнестійкості.



**Рисунок 2** – Залежність температури сталі від приведеної товщини перерізу (см) та часу нагрівання за стандартним температурним режимом

**Висновки.** Таким чином, згідно з рисунком 2, можна стверджувати, що межа вогнестійкості металевої колони складу нафтопродуктів двотаврового перерізу близько 16 хв (R 16).

Вимогою, згідно з [4], є R 120, тобто навіть якщо розрахунковий метод має похибку в результаті вибору іншої марки сталі, чи профілю двотавра, то об'єктивно жоден з профілів двотавра та жодна марка сталі двотавра, згідно із сортаментом [5], не дали б змоги забезпечити стійкість металевої двотаврової колони складу нафтопродуктів в тарі під час пожежі протягом 120 хв (R 120).

Отже обвал конструкції складу нафтопродуктів в тарі, і як наслідок значні матеріальні втрати та загроза життю і здоров'ю людей, відбувся внаслідок неправильного підбору будівельних конструкцій та невідповідності межі вогнестійкості цих конструкцій до діючих норм та вимог до будівель такого призначення.

#### Список літератури

1. Про затвердження Правил пожежної безпеки України: Наказ МВС України №1417 від 30.12.2014.
2. Global Asset Protection Services.
3. Пожежа на нафтобазі у Львові: під загрозою опинилася половина міста. УНІАН: веб-сайт. URL: <https://www.unian.ua/common/57140-pojeja-na-naftobazi-u-lvovi-pid-zagrozoju-opinilasja-polovina-mista.html> (дата звернення 01.05.2019).
4. ДБН В.1.1-7-2016. Захист від пожежі. Пожежна безпека об'єктів будівництва. [Чинний від 2017-06-01]. Київ, 2017. 41 с. (Інформація та документація).
5. ГОСТ 8239-72. Сталь горячекатаная. Балки двотавровые. Сортамент. [Чинний від 1974-01-01]. Москва, 1974. 4 с. (Інформація та документація).
6. Артеменко В.В., Вовк С.Я., Хлевной О.В. Будівлі та споруди і їх поведінка в умовах пожежі. Львів: ЛДУБЖД. 2015. 300 с.

7. ВБН В.2.2-58.1-94. Проектирование складов нефти и нефтепродуктов с давлением насыщенных паров не выше 93,3 кПа. [Чинний від 1994-04-01]. Київ, 1994. 149 с. (Інформація та документація).

8. ДСТУ 2272:2006. Пожежна безпека. Терміни та визначення основних понять. [Чинний від 2007-07-01]. Київ, 2007. 28 с. (Інформація та документація).

#### References

1. Pro zatverdshennya Pravyl pozhezhnoji bezpeky Ukrainy Nakaz MVS Ukrainy №1417 vid 30.12.2014 .
2. Global Asset Protection Services.
3. Pojeja na naftobazi u Lvovi pid zagrozoju opinilasja polovina mista. UNIAN: veb-sajyt. URL: <https://www.unian.ua/common/57140-pojeja-na-naftobazi-u-lvovi-pid-zagrozoju-opinilasja-polovina-mista.html>.
4. ДБН В.1.1-7-2016. Zachyst vid pozhezchi. Pozhezchna bezpeka obektiv budivnytva. [Chnnyu vid 2017-06-01]. Kyiv, 2017. 41 s. (Informazia ta dokumentazia).
5. ГОСТ 8239-72. Stal garachekatana. Balky dvotavrovi. Sortament. [Chnnyu vid 1994-01-01]. Moskva, 1994. 4 s. (Informazia ta dokumentazia).
6. Budivli ta sporudy i jich povedinka v umovach pozhezchi. Artemenko V.V., Vovk S. Ja., Chlevnojoj O.V. Lviv:LDUBZD. 2015. 300 s.
7. VBN V.2.2-58.1-94. Prtoektirovanie skladv nefti i nefteproduktov s davleniem nasyschenych parvo ne vysche 93,3 kPa. [Chnnyu vid 1994-04-01]. Kyiv, 1994. 149 s. (Informazia ta dokumentazia).
8. DSTU 2272:2006. Pozhezchna bespeak. Terminy ta vyznachenja osnovnych ponjat. [Chnnyu vid 2007-07-01]. Kyiv, 2007. 28 s. (Informazia ta dokumentazia).

*O. I. Bashynskiy, M.Z. Peleshko, T.G. Berezghanskiy*

### FIRE RESISTANCE OF BUILDING STRUCTURES OF FLAMMABLE AND COMBUSTIBLE LIQUIDS STORES

The article is dedicated to the fire resistance limit of building structures of the objects for the storage of flammable and combustible liquids.

Today, oil stores are very important elements of the oil supply system in Ukraine. The analysis of literary sources has shown that fires in oil stores cause extra fire hazard of surrounding objects. Increasing of their scales requires further improvement of fire safety measures during planning and using of oil stores. Fires in such buildings are tricky and large; they cause great harm and often lead to the death of people; their liquidation is very difficult.

Theoretical calculations shown that the collapse of structures of the packaged oil stores and, as a result, significant material losses and the threat to people's life and health, were resulted from the incorrect selection of building structures and the discrepancy between the fire resistance of these structures and the applicable norms and requirements for such buildings.

Fire resistance limit of the metal double-T pillar made of steel BCт3пс4 (profile size number 30) was calculated in the article. Such constructions are used in oil stores. The obtained fire resistance limit of a metal double-T pillar is about 16 minutes (R 16). According to the normative documents for buildings of this type (the degree of fire resistance of the building – III), it should be 120 minutes (R 120). Even if the calculation method has an error due to the choice of another steel grade, objectively none of the double-T profiles from the assortment list would provide proper fire resistance limit.

**Key words:** fire resistance, fire resistance limit, structural elements of the building, flammable and combustible liquids, metal column.