

УДК 629.039.58

DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.010920.25.650

## ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ КРИТЕРІЇВ ЗА ВИБУХОПОЖЕЖНОЮ ТА ПОЖЕЖНОЮ НЕБЕЗПЕКОЮ У ВИРОБНИЦТВАХ БІОПАЛИВА

ГАРМАШ С. М.<sup>1\*</sup>, канд. с.-г. наук, доц.,  
ЧЕРНОВА А. С.<sup>2</sup>, маг.

<sup>1\*</sup> Кафедра охорони праці та безпеки життєдіяльності, Державний вищий навчальний заклад «Український державний хіміко-технологічний університет», пр. Гагаріна, 8, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (095) 538-71-38, e-mail: [svgarmash@ukr.net](mailto:svgarmash@ukr.net), ORCID ID: 0000-0002-2658-162X

<sup>2</sup> Державний вищий навчальний заклад «Український державний хіміко-технологічний університет», пр. Гагаріна, 8, 49005, Дніпро, Україна, e-mail: [chernova130714@gmail.com](mailto:chernova130714@gmail.com)

**Анотація. Постановка проблеми.** Суттєва перевага виробництва біоетанолу полягає у використанні поновлюваних джерел енергії. З липня 2021 року бензин, вироблений і реалізований в Україні, повинен на 5 % складатися з біоетанолу. У процесі виробництва біопалива в країнах Європи більшість смертельних випадків відбувається через недооцінку можливості надзвичайних ситуацій. Пожежо- і вибухобезпечність підприємств – один із найважливіших напрямків у захисті людей та навколишнього середовища від тяжких наслідків. Для проведення профілактичних заходів із пожежо- та вибухонебезпеки необхідне визначення основних критеріїв за вибухопожежною та пожежною небезпекою виробництв біоетанолу на кожному підприємстві. **Мета статті** – визначення надлишкового тиску вибуху для парів біоетанолу та розміру зони, яка обмежує область концентрацій, що перевищують нижню концентраційну межу поширення полум'я. **Висновки.** Встановлено результати розрахунку значень критеріїв за вибухопожежною та пожежною небезпекою для біоетанолу, який отримують на модернізованих цукрових підприємствах. Розмір зони ( $R_{\text{НКМП}}$ ), яка обмежує область концентрацій, що перевищують нижню концентраційну межу поширення полум'я ( $C_{\text{НКМП}}$ ), складає 7,8 м. Надлишковий тиск вибуху для парів етанолу складає 14,37 кПа. З метою наочного відображення пожежної небезпеки та проведення пожежопрофілактичної роботи під час виробництва біоетанолу необхідно розробляти пожежно-технічні карти. Приміщення виробництва біоетанолу повинні бути забезпечені природною і механічною аварійною вентиляцією, максимально механізованими й автоматизованими, обладнані автоматичними засобами пожежогасіння та автоматичною пожежною сигналізацією.

**Ключові слова:** критерії за вибухопожежною та пожежною небезпекою; біоетанол; безпека

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ КРИТЕРИЕВ ПО ВЗРЫВОПОЖАРНОЙ И ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ В ПРОИЗВОДСТВАХ БИОТОПЛИВА

ГАРМАШ С. Н.<sup>1\*</sup>, канд. с.-х. наук, доц.,  
ЧЕРНОВА А. С.<sup>2</sup>, маг.

<sup>1\*</sup> Кафедра охраны труда и безопасности жизнедеятельности, Государственное высшее учебное заведение «Украинский государственный химико-технологический университет», пр. Гагарина, 8, 49005, Днепро, Украина, тел. +38 (095) 538-71-38, e-mail: [svgarmash@ukr.net](mailto:svgarmash@ukr.net), ORCID ID: 0000-0002-2658-162X

<sup>2</sup> Государственное высшее учебное заведение «Украинский государственный химико-технологический университет», пр. Гагарина, 8, 49005, Днепро, Украина, e-mail: [chernova130714@gmail.com](mailto:chernova130714@gmail.com)

**Аннотация. Постановка проблемы.** Существенным преимуществом производства биоэтанола является использование возобновляемых источников энергии. С июля 2021 года бензин, производимый и реализуемый в Украине, должен на 5 % состоять из биоэтанола. При производстве биотоплива в странах Европы большинство смертельных случаев происходит из-за недооценки возможности чрезвычайных ситуаций. Пожаро- и взрывобезопасность предприятий – одно из важнейших направлений в защите людей и окружающей среды от тяжелых последствий. Для проведения профилактических мероприятий по пожаровзрывобезопасности необходимо определение основных критериев по взрывопожарной и пожарной опасности производств биоэтанола на каждом предприятии. **Цель статьи** – определение избыточного давления взрыва для паров биоэтанола и размера зоны, ограничивающей область концентраций, превышающих нижний концентрационный предел распространения пламени. **Выводы.** По результатам расчетов установлены значения критериев по взрывопожарной и пожарной опасности для биоэтанола, который получают на модернизированных сахарных предприятиях. Размер зоны ( $R_{\text{НКМП}}$ ), которая ограничивает область концентраций, превышающих нижний концентрационный предел распространения пламени ( $C_{\text{НКМП}}$ ), составляет 7,8 м.

Избыточное давление взрыва для паров этанола составляет 14,37 кПа. С целью наглядного отображения пожарной опасности и проведения пожаропрофилактической работы при производстве биоэтанола необходимо разрабатывать пожарно-технические карты. Помещения по производству биоэтанола должны быть обеспечены естественной и механической аварийной вентиляцией, максимально механизированы и автоматизированы, оборудованы автоматическими средствами пожаротушения и автоматической пожарной сигнализацией.

**Ключевые слова:** критерии по взрывопожарной и пожарной опасности; биоэтанол; безопасность

## MAIN CRITERIA FOR EXPLOSION-FIRE HAZARDS OF BIOFUEL PRODUCTION

GARMASH S.M.<sup>1\*</sup>, *Cand. Sc. (Agricuilt.), Assoc. Prof.*,  
CHERNOVA A.S.<sup>2</sup>, *Master*

<sup>1\*</sup> Department of Labour Protection and Life Safety, State Higher Education Institution "Ukrainian State University of Chemical Technology", 8, Naharina Ave., 49005, Dnipro, Ukraine, tel. +38 (095) 538-71-38, e-mail: [svgarmash@ukr.net](mailto:svgarmash@ukr.net); ORCID ID: 0000-0002-2658-162X

<sup>2</sup> Department of Labour Protection and Life Safety, State Higher Education Institution "Ukrainian State University of Chemical Technology", 8, Naharina Ave., 49005, Dnipro, Ukraine, e-mail: [chernova130714@gmail.com](mailto:chernova130714@gmail.com)

**Abstract. Problem statement.** A significant advantage of bioethanol production is the use of renewable energy sources. Since July 2021, gasoline produced and sold in Ukraine should consist of 5 % bioethanol. In the production of biofuels in Europe, most deaths occur due to underestimation of the possibility of emergency situations. Fire and explosion safety of enterprises is one of the most important areas in protecting people and the environment from serious consequences. To carry out preventive measures for fire and explosion safety, it is necessary to determine the main criteria for the explosion and fire hazard of bioethanol production at each enterprise. **Purpose.** To determine excess explosion pressure for bioethanol vapor and zone size, limiting the range of concentrations exceeding the lower concentration limit of flame propagation. **Conclusions.** Based on the calculation results, the values of the criteria for explosive and fire hazard for bioethanol, obtained at modernized sugar factories, are established. The size of the zone (R<sub>nkmp</sub>), which limits the range of concentrations exceeding the lower concentration limit of flame propagation (S<sub>nkmp</sub>), is 7,8 m. The explosion overpressure for ethanol vapor is 14,37 kPa. In order to clearly display the fire hazard and conduct fire prevention in the production of bioethanol, it is necessary to develop fire-technical maps. The premises for bioethanol production should be provided with natural and mechanical emergency ventilation, mechanized and automated as much as possible, equipped with automatic fire extinguishing means and automatic fire alarms.

**Keywords:** criteria for explosion and fire hazard; bioethanol; safety

**Постановка проблеми.** Суттєва перевага виробництва біоетанолу полягає у використанні поновлюваних джерел енергії. Відповідно до Законопроекту № 3356 Верховної Ради, з липня 2021 року бензин, вироблений і реалізований в Україні, повинен на 5 % складатися з біоетанолу з подальшим його збільшенням до 6 % в 2022 році та до 7 % у 2023 році [1].

В Україні є близько 20 виробників біоетанолу (переважно на цукрових підприємствах) загальною потужністю понад 300 тис. т/рік. Під час виробництва біопалива у країнах Європи більшість смертельних випадків відбувається через недооцінку можливості надзвичайних ситуацій. Пожежо- і вибухобезпечність підприємств – один із найважливіших напрямків у захисті людей та

навколишнього середовища від тяжких наслідків. Для забезпечення профілактичних заходів із пожежо- та вибухонебезпеки необхідне визначення основних критеріїв за вибухопожежною та пожежною небезпекою виробництв біоетанолу на кожному підприємстві.

**Аналіз публікацій.** Згідно з Директивою 2009/28/ЕС біоетанол і біодизель, які використовуються на транспортних засобах у чистому вигляді або в суміші, повинні відповідати стандартам якості, встановленим для забезпечення оптимальної експлуатації двигуна [14].

Біоетанол – етиловий спирт (етанол), що отримується у процесі переробки рослинної сировини, яка містить крохмаль (кукурудза, зернові, картопля, цукрові буряки та ін.), для використання як біопалива для

автомобільного транспорту [2; 3; 8]. Світовими лідерами в галузі виробництва біоетанолу стали США (58 % світового виробництва), Бразилія (26 %) та Європейський союз (5 %) [11].

В Україні найбільший виробник етанолу – Гайсинський спиртовий завод, який у 2017 р. виготовив 65 % усього етанолу. Виробництво продукції на основі біоетанолу зневодненого денатурованого в Україні здійснюють дев'ять підприємств. Загальна потужність випуску готової продукції цих підприємств у першому кварталі 2018 році становила понад 140 тис. тонн на рік [10].

Затверджений постановою Кабінету Міністрів України від 01.09.2013 р. № 927 «Технічний регламент щодо вимог до автомобільних бензинів, дизельного, суднових та котельних палив» та вимоги ДСТУ 7687:2015 дозволяють використання об'ємної частки біоетанолу до 5 % для виробництва традиційних бензинів автомобільних [6].

Установлено, що пожежа – найбільш поширений тип аварії на виробництвах біоетанолу, механічне пошкодження обладнання становить основну причину аварій. З метою виявлення ризиків контролюються процеси виробництва біопалива на стадії проектування та експлуатації, вдосконалюються заходи безпеки та навчання персоналу в цій галузі. Крім того, показана необхідність вивчення досвіду інших компаній та виявлення найбільш вірогідних заходів безпеки для уникнення аварій [13; 15]. До основних факторів займання на підприємствах виробництва біоетанолу належать: відкрите полум'я, блискавка, гарячі поверхні, променисте тепло, куріння, різання та зварювання, самозаймання біоетанолу, статична електрика, електричні іскри, печі, опалювальне обладнання [12].

Біоетанол за ступенем впливу на організм людини належить до 4-го класу небезпеки відповідно до ГОСТ 12.1.007 [5].

Гранично допустима концентрація (ГДК) парів біоетанолу в повітрі робочої зони виробничих приміщень по етиловому

спирту – 1 000 мг/м<sup>3</sup> відповідно до ГОСТ 12.1.005.

Біоетанол має наркотичну дію, а також здатність проникати через пошкоджену шкіру. Це – легкозаймиста рідина, температура займання – 13 °С; температура самозаймання – 404 °С. Температурні межі вибуховості парів у повітрі: нижня – 11 °С, верхня – 41 °С. Концентраційні межі вибуховості при 101,3 кПа (760 мм рт. ст.) – 3,6 % об. – 19,0 % об. [5].

Електрообладнання має бути – у вибухонебезпечному виконанні. Обов'язкова герметизація виробничих процесів. Приміщення з виробництва біоетанолу повинно бути обладнане загальнообмінною припливно-витяжною вентиляцією з механічним спонуканням.

Під час роботи з біоетанолом повинні бути виконані вимоги щодо температури в приміщенні і вмісту пар.

Вибухонебезпечні концентрації в приміщеннях визначають за допомогою автоматичних стаціонарних сигналізаторів.

Перевага сумішей етанолу з іншими видами палива перед «чистим» етанолом полягає у кращій запалюваності завдяки низькому вмісту вологи, тоді як «чистий» етанол (марка Е100, з умістом С<sub>2</sub>Н<sub>5</sub>ОН 96,6 %) – це дистиляція азеотропу [9].

Пожежна небезпека технологічного процесу оцінюється розрахунковим або експериментальним шляхом, яким визначаються [4; 7]:

- надлишковий тиск вибуху для парів легкозаймистих (ЛЗР) та горючих рідин (ГР) у приміщенні;

- розмір зон, обмежених нижньою концентраційною межею поширення полум'я газів і парів;

- інтенсивність випаровування горючих рідин на відкритому просторі і в приміщенні та ін.

Порядок розрахунку значень критеріїв за вибухопожежною та пожежною небезпекою наведено у ДСТУ Б В.1.1-36:2016 [7].

Розрахунок надлишкового тиску вибуху для парів легкозаймистих (ЛЗР) та горючих

рідин (ГР), які складаються з атомів С, Н, О, N, Cl, Br, I, F, проводиться за формулою:

$$\Delta P_{\max} = (P_{\max} - P_0) \cdot \frac{m \cdot Z \cdot 100}{V_{\text{вільн.}} \cdot \rho_n \cdot C_{\text{ст}} \cdot K_n}, \quad (1)$$

де  $P_{\max}$  – максимальний тиск вибуху стехіометричної пароповітряної суміші в замкнутому об'ємі, кПа.

Максимальний тиск вибуху визначається за формулою:

$$P_{\max} = \frac{y \cdot P_0 \cdot T_B}{x \cdot T_0}, \quad (2)$$

де  $y$  – кількість молів речовини після вибуху (визначається з рівняння повного окиснення одного моля горючої рідини);  $T_B$  – температура вибуху, для більшості речовин близько 1 500 K;  $x$  – кількість молів речовин до вибуху, (визначається з рівняння повного окиснення одного моля горючої речовини);  $T_0$  – початкова температура, K;  $P_0$  – атмосферний тиск, кПа (приймається  $P_0 = 101,3$  кПа);  $m$  – маса парів ЛЗР, що потрапили в результаті розрахункової аварії до об'єму приміщення, яку визначають для парів ЛЗР за формулою:

$$m = W_e \cdot F_e \cdot \tau_p, \quad (3)$$

де  $W$  – інтенсивність випаровування,  $\text{кг} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{м}^{-2}$ ;  $F_e$  – площа випаровування;  $\tau_p$  – тривалість випаровування ЛЗР (етанолу), приймається 3 600 с;  $Z$  – коефіцієнт участі парів ЛЗР у вибуху (для етанолу приймається  $Z = 0,3$ );  $V_{\text{вільн.}}$  – вільний об'єм приміщення ( $0,8V_{\text{прим.}}$ ),  $\text{м}^3$ ;  $\rho_n$  – густина парів ЛЗР за розрахункової температури  $t_p$ , ( $\text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$ ), що визначається за формулою:

$$\rho_n = \frac{M}{V_0 \cdot (1 + 0,00367 \cdot t_p)}, \quad (4)$$

де  $M$  – молярна маса етанолу,  $\text{кг}/\text{кмоль}$ ;  $V_0$  – мольний об'єм, що дорівнює 22,413  $\text{м}^3/\text{кмоль}$ ;  $t_p$  – розрахункова температура.

Інтенсивність випаровування ЛЗР визначається за формулою:

$$W_e = 10^{-6} \cdot P_n \cdot \sqrt{M}, \quad (5)$$

де  $P_n$  – тиск насичених парів;  $M$  – молярна маса ЛЗР,  $\text{кг}/\text{кмоль}$ .

Тиск насичених парів ЛЗР ( $P_n$ ) за розрахункової температури:

$$P_n = 0,133 \cdot 10^{\left(\frac{A-B}{t+C_A}\right)}, \quad (6)$$

де  $A$ ,  $B$ ,  $C_A$  – константи Антуана, що залежать від властивостей рідини, приймаються за довідником;  $t_p$  – розрахункова температура;  $C_{\text{ст}}$  – стехіометрична концентрація парів етанолу, % (об.), що визначається за формулою:

$$C_{\text{ст}} = \frac{100}{1 + 4,84 \cdot \beta}, \quad (7)$$

де  $\beta$  – стехіометричний коефіцієнт кисню в реакції горіння:

$$\beta = n_c + \frac{n_H - n_X - n_O}{4} - \frac{n_0}{2}, \quad (8)$$

де  $n_c$ ,  $n_H$ ,  $n_O$ ,  $n_X$  – число атомів С, Н, О та галогенів у молекулі парів ЛЗР;  $K_n$  – коефіцієнт, що враховує негерметичність приміщення (приймається  $K_n = 3$ ).

Горизонтальні розміри зони  $R_{\text{НКМП}}$ , які обмежують область концентрацій, що перевищують нижню концентраційну межу поширення полум'я  $S_{\text{НКМП}}$ , обчислюють за формулою:

$$R_{\text{НКМП}} = 3,1501 \cdot \sqrt{K} \left(\frac{P_n}{S_{\text{НКМП}}}\right)^{0,813} \cdot \left(\frac{m_n}{\rho_n \cdot P_n}\right)^{0,333}, \quad (9)$$

де  $\rho_n$  – густина парів ЛЗР за розрахункової температури й атмосферного тиску,  $\text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$ ;  $P_n$  – тиск насичених парів ЛЗР за розрахункової температури, кПа;  $K$  – коефіцієнт, значення якого приймається рівним  $\tau/3$  600 для ЛЗР ( $K = 1$ );  $S_{\text{НКМП}}$  – нижня концентраційна межа поширення полум'я по пароповітряній суміші, % (об.);  $m_n$  – маса парів ЛЗР, кг.

**Мета дослідження** – визначення надлишкового тиску вибуху для парів етанолу та розміру зони, яка обмежує область концентрацій, що перевищують нижню концентраційну межу поширення полум'я.

**Результати досліджень.** На основі аналітичного огляду використаних джерел встановлено, що технологічні процеси, в яких застосовуються легкозаймисті

речовини, повинні виконуватися в приміщеннях, забезпечених природною і механічною аварійною вентиляцією. Виробничі процеси отримання біоетанолу повинні бути максимально механізованими й автоматизованими, відбуватися в герметизованому обладнанні, що виключає виділення в приміщення шкідливих, вибухопожежонебезпечних парів, газів і пилу.

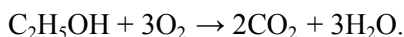
Приміщення повинні бути обладнані автоматичними засобами пожежогасіння і автоматичною пожежною сигналізацією.

У пожежонебезпечних цехах і на обладнанні, що становить небезпеку вибуху або займання, повинні бути вивішені знаки, які забороняють користування відкритим вогнем, а також знаки, що попереджають про обережність за наявності займистих та вибухових речовин.

Для вловлювання спиртових парів, що виходять із повітряних клапанів апарата, необхідно встановлювати спиртові пастки, а неконденсовані гази виводити за межі приміщення

Апаратне відділення має бути обладнане звуковою сигналізацією, що попереджає про небезпечну концентрацію спиртової пари і включає аварійну вентиляцію, а також обладнане пожежною сигналізацією або засобами аварійного пожежогасіння

Рівняння повного окиснення одного моля рідини – етанолу (реакція горіння):



Визначаємо максимальний тиск вибуху стехіометричної пароповітряної суміші за формулою (2):

$$P_{\max} = \frac{5 \cdot 101,3 \cdot 1500}{4 \cdot 293} = 648,25 \text{ кПа}.$$

Визначаємо тиск насичених парів етилового спирту ( $P_n$ ) за розрахункової температури  $61^\circ\text{C}$  (рекомендація довідника) за формулою (6):

$$P_n = 0,133 \cdot 10^{\left(7,81 - \frac{1918,5}{61+252}\right)} = 6,517 \text{ кПа}.$$

Визначаємо інтенсивність випаровування етилового спирту за формулою (5):

$$W_e = 10^{-6} \cdot 6,517 \cdot \sqrt{46} = 44,2 \cdot 10^{-6} \text{ кг} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{м}^{-2}$$

Визначаємо масу пари етанолу, яка може потрапити у повітря приміщення через випаровування за формулою (3):

$$m = 44,2 \cdot 10^{-6} \cdot 244 \cdot 3600 = 38,82 \text{ кг}.$$

Обчислимо густину парів етанолу за розрахункової температури за формулою (4):

$$\rho_n = \frac{46}{22,413 \cdot (1 + 0,00367 \cdot 61)} = 1,68 \text{ кг} / \text{м}^3.$$

Стехіометричний коефіцієнт кисню в реакції горіння визначаємо за формулою (8):

$$\beta = 2 + \frac{6-0}{4} - \frac{1}{2} = 3.$$

Стехіометричну концентрацію парів етанолу розраховуємо за формулою (7):

$$C_{cm} = \frac{100}{1 + 4,84 \cdot 3} = 6,44.$$

Надлишковий тиск вибуху для парів етанолу визначаємо за формулою (1):

$$\Delta P_{\max} = (648,25 - 101,3) \cdot \frac{38,82 \cdot 0,3 \cdot 100}{1366 \cdot 1,68 \cdot 6,44 \cdot 3} = 14,37 \text{ кПа}$$

Ступінь руйнування будівлі за даного тиску низький, безпечний для людини.

Визначаємо горизонтальні розміри зони  $R_{НКМП}$ , які обмежують область концентрацій, що перевищують нижню концентраційну межу поширення полум'я  $C_{НКМП}$  за формулою (9):

$$R_{НКМП} = 3,1501 \cdot \sqrt[1]{\left(\frac{6,517}{3,6}\right)^{0,813} \cdot \left(\frac{38,82}{1,68 \cdot 6,517}\right)^{0,333}} = 7,78 \text{ м}.$$

З метою наочного відображення пожежної небезпеки та проведення пожежопрофілактичної роботи під час виробництва біоетанолу необхідно розробляти пожежно-технічні карти, в яких наводять:

- схему виробництва біоетанолу (норми технологічного режиму, пожежонебезпечні ділянки, зони ризику);

- схему розміщення приміщень, основного устаткування, обладнання, матеріалів;

- характеристики пожежної небезпеки, заходів безпеки та пожежонебезпечних властивостей речовин.

**Висновки.** 1. Установлено результати розрахунку значень критеріїв за вибухопожежною та пожежною небезпекою для біоетанолу, який отримують на модернізованих цукрових підприємствах.

2. Розмір зони ( $R_{\text{НКМП}}$ ), яка обмежує область концентрацій, що перевищують нижню концентраційну межу поширення полум'я ( $C_{\text{НКМП}}$ ), складає 7,8 м.

3. Надлишковий тиск вибуху для парів етанолу складає 14,37 кПа.

4. Із метою наочного відображення пожежної небезпеки та проведення пожежопрофілактичної роботи під час виробництва біоетанолу необхідно розробляти пожежно-технічні карти.

5. Приміщення для виробництва біоетанолу повинні бути забезпечені природною і механічною аварійною вентиляцією, максимально механізованими і автоматизованими, обладнані автоматичними засобами пожежогасіння і автоматичною пожежною сигналізацією.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Биозтанол в бензине с 2021 года. URL: <https://ubr.ua/market/industrial/bioetanol-v-benzine-s-2021-hoda-vyrastut-li-tseny-i-pochemu-neftepererabatyvajushchie-kompanii-protiv-3892881> (дата звернення 10.04.2020).
2. Гармаш С. Н. Биоконверсия отходов аграрного сектора экономики с целью получения биоэтанола. *Вісник Дніпропетровського державного аграрно-економічного університету*. 2016. № 1. С. 32–36.
3. Гармаш С. Н., Герасименко В. А., Рунова Г. Г. Экобиотехнология переработки отходов с целью получения биоэтанола. *Строительство, материаловедение, машиностроение*. 2015. Вып. 83. С. 77–83.
4. ГОСТ 12.1.004-91. Межгосударственный стандарт. Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Общие требования. Москва : Стандартинформ, 1991. 50 с.
5. ГОСТ 33872-2016. Межгосударственный стандарт. Биозтанол топливный денатурированный. Технические условия. Москва : Стандартинформ, 2017. 11 с.
6. ДСТУ 7687:2015. Бензини автомобільні Євро. Технічні умови. Вид. офіц. [Чинний від 2015.05.28]. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2015. 16 с. (Державний стандарт України).
7. ДСТУ Б В.1.1-36:2016. Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою. Вид. офіц. [Чинний від 2017.01.01]. Київ : Мінрегіон України, 2016. 17 с. (Державний стандарт України).
8. Марченко В. М., Кіт А. В. Аналіз потенціалу виробництва біоетанолу з цукрових буряків в Україні. *Агросвіт*. 2018. № 22. С. 21–27.
9. Пожароопасные свойства. Биозтанол. URL: <https://helpiks.org/6-53806.html> (дата звернення 10.04.2020).
10. Стратегічні пріоритети відродження спиртової галузі в контексті зміцнення енергетичної самодостатності України. URL: [http://ukrspirt.com/news/novini\\_pidpriemstva/strategichni-prioriteti-vidro-1-ennya-spirovoyi-galuzi-v-konteksti-zmicnennya-energetichnoyi-samodostatnosti-ukrayini.html](http://ukrspirt.com/news/novini_pidpriemstva/strategichni-prioriteti-vidro-1-ennya-spirovoyi-galuzi-v-konteksti-zmicnennya-energetichnoyi-samodostatnosti-ukrayini.html) (дата звернення 10.04.2020).
11. Трипольська Г. С. Використання біопалива громадським дорожнім транспортом як один з інструментів стимулювання попиту на біопаливо в Україні. *Відновлена енергетика*. 2019. № 4. С. 85–91.
12. Amin Md., Tanjin Khan, Faisal Amyotte Paul. A Bibliometric Review of Process Safety and Risk Analysis. *Process Safety and Environmental Protection*. 2019. Vol. 126. Pp. 366–381.
13. Calvo Olivares, Rivera Selva, Núñez McLeod. Database for accidents and incidents in the fuel ethanol industry. *Jorge Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. 2015. Vol. 38. Pp. 276–297.
14. Directive 2009/28/EC of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC. URL: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:140:0016:0062:EN:PDF>. (Дата звернення: 10.04.2020).
15. Wu Hao, Peñarrubia Igor, Cui Lin, Zhao Jinsong. Process of safety management considerations for biofuel production. *Frontiers of Engineering Management*. 2017. Vol. 4, iss. 3. Pp. 357–367.

### REFERENCES

1. *Bioetanol v benzine s 2021 goda* [Bioethanol in gasoline since 2021]. (Accessed: 10 April 2020). (in Russian).
2. Garmash S.N. *Biokonversiya othodov agrarnogo sektora ekonomiki s cel'yu polucheniya bioetanol* [Bioconversion of waste from the agricultural sector to produce bioethanol]. *Visnik Dnipropetrovs'kogo derzhavnogo*

*agrarno-ekonomichnogo universitetu* [Bulletin of the Dnipropetrovsk State Agrarian-Economic University]. 2016, no. 1, pp. 32–36. (in Russian).

3. Garmash S.N., Gerasimenko V.A. and Runova G.G. *Ekobiotekhnologiya pererabotki othodov s cel'yu polucheniya bioetanola* [Ecobiotechnology of waste processing in order to obtain bioethanol]. *Stroitel'stvo, materialovedenie, mashinostroenie*. [Construction, Materials Science, Mechanical Engineering]. 2015, vol. 83, pp. 77–83. (in Russian).

4. *GOST 12.1.004-91. Mezhgosudarstvennyj standart. Sistema standartov bezopasnosti truda. Pozharnaya bezopasnost'. Obshchie trebovaniya* [Interstate standard. Occupational safety standards system. Fire safety. General requirements]. Moscow : Standartinform Publ., 1991, 50 p. (in Russian).

5. *GOST 33872-2016. Mezhgosudarstvennyj standart bioetanol toplivnyj denaturirovannyj. Tekhnicheskie usloviya* [Interstate standard bioethanol fuel denatured. Technical conditions]. Moscow : Standartinform Publ., 2017, 11 p. (in Russian).

6. *DSTU 7687:2015. Benzini avtomobil'ni Euro. Tekhnichni umovi* [DSSTU 7687:2015. Gasoline Automotive Euro. Technological mind]. Official edition. Effective from 05.28.2015. Kyiv : DP “UkrNDNC” Publ., 2015, 16 p. (in Ukrainian).

7. *DSTU B V.1.1-36:2016. Viznachennya kategorij primishchen', budinkiv ta zovnishnih ustanovok za vibuhopozhezhnoyu ta pozhezhnoyunebezpekoyu* [Determining the categories of premises, buildings and outdoor installations by explosion and fire hazard]. Official edition. Effective from 01.01.2017. Kuiv : Minregion of Ukraine, 2016, 17 p. (in Ukrainian).

8. Marchenko V.M. and Kit A.V. *Analiz potencialu virobnictva bioetanolu z cukrovih buryakiv v Ukraïni* [Analysis of the potential of bioethanol production from sugar beets in Ukraine]. *Agrosvit* [Agrarian world]. 2018, no. 22, pp. 21–27. (in Ukrainian).

9. *Pozharoopasnye svoystva. Bioetanol* [Fire hazardous properties. Bioethanol]. Accessed: 10 April 2020. (in Russian).

10. *Strategichni prioriteti vidrodzhennya spirtovoï galuzi v konteksti zmichennya energetichnoï samodostatnosti Ukraïni* [Strategic priorities for alcohol distillery in the context of energy self-sufficiency in Ukraine]. Accessed: 10 April 2020. (in Ukrainian).

11. Tripol's'ka G.S. *Vikoristannya biopaliva gromads'kim dorozhnim transportom yak odin z instrumentiv stimulyuvannya popitu na biopalivo v Ukraïni* [The use of biofuels by public road transport as one of the tools to stimulate demand for biofuels in Ukraine]. *Vidnovlyuvana energetika* [Renewable energy]. 2019, no. 4, pp. 85–91. (in Ukrainian).

12. Amin Md. and Tanjin Khan Faisal Amyotte and Paul. A Bibliometric Review of Process Safety and Risk Analysis. *Process Safety and Environmental Protection*. 2019, vol. 126, pp. 366–381.

13. Calvo Olivares, Rivera Selva and Núñez McLeod. Database for accidents and incidents in the fuel ethanol industry. *Jorge Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. 2015, vol. 38, pp. 276–297.

14. Directive 2009/28/EC of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC. Accessed: 10 April 2020.

15. Wu Hao, Peñarrubia Igor; Cui Lin and Zhao Jinsong. Process safety management considerations for biofuel production. *Frontiers of Engineering Management*. 2017, vol. 4, iss. 3, pp. 357–367.

Надійшла до редакції: 25.06.2020.