

## ТЕХНІЧНІ НАУКИ

УДК 614.841

DOI: 10.15587/2313-8416.2019.156097

## СПОСІБ ПІДШАРОВОГО ГАСІННЯ СПИРТІВ ВОГНЕГАСНИМ АЕРОЗОЛЕМ

© В. М. Баланюк, Н. М. Козяр, А. В. Кравченко

*Результати отримані в роботі підтвердили можливість використання вогнегасних аерозолів на основі неорганічних солей калію для підшарового гасіння спиртів в резервуарах. У порівнянні з класичними способами, даний спосіб забезпечує ефективне та надійне гасіння полум'я, адже аерозоль подається підшарово з рідини в резервуарі що забезпечує повне проникнення аерозолу в зону горіння, чистоту та високу швидкість гасіння*

**Ключові слова:** вогнегасний аерозоль, інгібітори горіння, аерозольне пожежогасіння, підшарове гасіння

### 1. Вступ

Гасіння горючих рідин в резервуарах представляє собою один з найважливіх ресурсоемних та небезпечних процесів, етапи виконання якого та законності підшарового гасіння резервуарів описано в роботах [1, 2]. Кожен з етапів гасіння потребує попередньої підготовки і відповідно часу. Що стосується спиртів, то в при їх гасінні весь процес ще більш ускладнюється. Пропанол, Етанол, Метанол та інші спирти володіють фізико-хімічними особливостями [3], які ускладнюють як гасіння так і флегматизування їх пароповітряних сумішей. Спирти є особливо пожежонебезпечні так як швидко утворюють вибухонебезпечні пароповітряні суміші, володіють високою температурою горіння, яка становить близько 1000 °С, горять без виділення кіптяви, температура займання більшості з них становить нижче 20 °С, температура спалаху для етанолу становить + 12 °С, а для бензинів з вмістом спирту від -30 °С до -18 °С – E85 (зимовий та літній варіанти) та E95 (бензин з вмістом етанолу від 5 до 30 %) – близько 5 °С. Здатність спиртів розчиняти воду при взаємодії з піною призводять до руйнування піни та обумовлює проблеми при гасінні спиртів [3]. Крім цього, за участю спиртів часто також трапляються вибухи та пожежі, які характеризуються складністю гасіння та значними руйнуваннями. Так, наприклад, в США в м. Балтімор [4], 14 травня на мосту зазнав аварії танкер, який перевозив етанол, в результаті чого стався його вилів та займання. До ліквідації аварії було залучено 4 пожежні автомобілі, які подавали піну, але гасіння ускладнювалось тим, що спирт витікав з цистерни і піна не ефективно покривала його поверхню в вертикальному положенні. 16.11.2001 року вибухнув спирта завод в Благовіщинську – «Амурський кристал» [5].

В результаті 4-поверхова цегляна будівля, побудована в 1904 році, зруйнувалась після чого почалась пожежа. В момент вибуху в цеху знаходилась нічна зміна з 11 людей. Як мінімум, три з них опинились під завалами. Пожежу вдалось ліквідувати через 2 години.

### 2. Літературний огляд

В роботі [6] описано горіння полярних рідин на відкритій поверхні та вказано особливості протікання процесу горіння в резервуарах. Спирти та їх суміші, як правило, горять без потужного інфрачервоного випромінювання, що забезпечує ефективне потрапляння дисперсної вогнегасної речовини в полум'я за рахунок зменшення інтенсивності висхідних потоків [7], але при підшаровому подаванні вогнегасного аерозолу відбувається і значне зменшення інтенсивності інфрачервоного випромінювання завдяки поглинанню частинками вогнегасного аерозолу випромінювання та дозволяє виключити з процесу гасіння етапи підготовки пінної атаки та охолодження, що передбачається при гасінні резервуарів [8]. Таким чином для підшарового гасіння горіння вуглеводневих палив та зокрема спиртів можна використовувати вогнегасні засоби об'ємної вогнегасної дії – вогнегасні аерозолі та їх бінарні суміші з газами – CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> та інші. Підшарове гасіння спиртів є доцільне завдяки їх низькій густині, – а власне від 0,7 до 0,9 г/см<sup>3</sup> [9].

Таким чином, аналіз літературних джерел показав, що, незважаючи на значний прогрес систем пожежогасіння, в резервуарах з спиртами продовжують траплятися вибухи та пожежі з значними збитками. Гасіння спиртів на даний час здійснюється класичними способами в основному за допомогою піноутворювачів, які мають такі недоліки як складність,

вартість та значний час гасіння. Тому дослідження нового способу гасіння спиртів, який полягає у підшаровій подачі аерозолу є актуальним, завдяки ефективності, дешевизні, чистоті та швидкості гасіння спиртів даним способом.

### 3. Мета та задачі дослідження

Метою роботи є встановлення можливості та ефективності підшарового гасіння спиртів вогнегасним аерозолем.

Для досягнення мети були поставлені наступні задачі:

1. Визначити можливість подавання аерозолу, та час гасіння аерозолем через шар рідини.
2. Визначити масу заряду аерозолеутворюючої суміші достатньої для ліквідації горіння спирту в резервуарі.
3. Визначити час ліквідації горіння спирту при подачі аерозолу з придонного та середнього рівня.

### 4. Методика досліджень та експериментальна установка

Експериментальна установка (рис. 1) представляє собою циліндричну ємність з висотою 600 мм та діаметром 250 мм, в якій на відстанях від дна в 100 мм та 300 мм встановлено вихідні патрубки діаметром 30 мм, для подавання вогнегасного аерозолу. Патрубки на кінцях обладнані круглими металевими пластинами діаметром 60 мм для рівномірного розподілення аерозолу в середині ємності. Утворення вогнегасного аерозолу відбувалось у генераторі вогнегасного аерозолу, який розташований за металевою пластиною, та з'єднаний з резервуаром трубопроводом, який містить вентиль та вихідні патрубки на кінці.

Аналіз процесу гасіння горючих рідин показав, що необхідно дослідити ряд параметрів, які в су-

купності забезпечують ефективне гасіння полярних рідин, а власне:

- можливість подавання аерозолу через шар рідини;
- визначення швидкості проходження аерозолу через шар рідини;
- визначення часу гасіння та концентрації аерозолу над поверхнею рідини.

З урахуванням вищевказаних параметрів було розроблено установку та методику дослідження вищеназаних параметрів. Для проведення експерименту було підібрано матеріали, а саме – аерозольотворюючу суміш на базі нітрату калію та ідітолу, маса якої складала від 5 до 75 грамів. Масу аерозольотворюючої суміші підбирали з розрахунку гасіння полум'я в умовно герметичному об'ємі 2,5 м<sup>3</sup>, тобто в більшому об'ємі за об'єм незаповненої частини резервуару. В якості палива було використано бутанол.

Методика з визначення ефективності гасіння вогнегасним аерозолем та його бінарними сумішами полягала у наступному:

1. Аерозольотворювальний заряд з запалом розташовують у генераторі вогнегасного аерозолу, який під'єднують до трубопроводу.
2. В ємність заливали бутанол, підпалювали його та чекали 360 секунд, після чого подавали електричний імпульс на аерозольотворювальний заряд, який підпалювався та утворював аерозоль.
3. Утворений аерозоль потрапляв на необхідний рівень резервуару через трубопровід з перекривними вентилями, якими потік аерозолу направлявся на необхідний рівень – придонний або серединний, та розподілявся по резервуару через вихідні сопла під шар аерозолу.
4. Після початку виходу аерозолу з палаючого спирту фіксували час гасіння або відповідно не гасіння полум'я на поверхні.

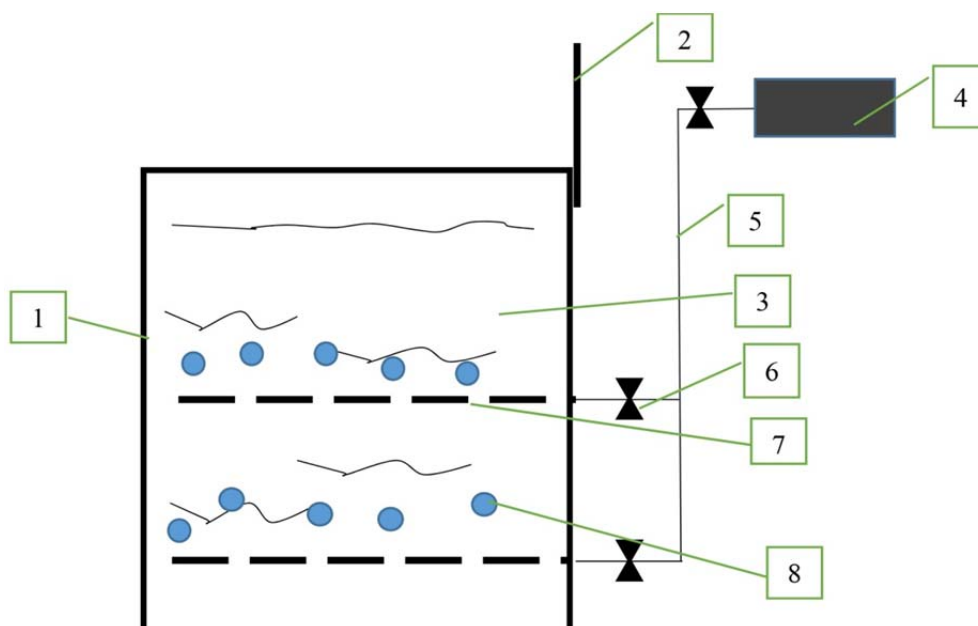


Рис. 1. Експериментальна установка для визначення ефективності параметрів підшарового гасіння: 1 – резервуар; 2 – металічна пластина; 3 – горюча рідина; 4 – генератор вогнегасного аерозолу; 5 – трубопровід; 6 – перекривний вентиль; 7 – вихідні патрубки; 8 – бульбашки аерозолу

Експеримент з визначення вогнегасної ефективності при подаванні аерозолі з різних рівнів резервуару проводили наступним чином. Спирт в ємності підпалювали та давали час на горіння, як було зазначено раніше – 360 с, чого цілком достатньо для відтворення теплових процесів пожежі та досягнення відповідної температури стінок резервуару, прогріву верхнього шару рідини, досягнення лінійної швидкості вигорання, та забезпечення прогрівання шару пального. Після подання електричного струму на ініціатор запуску, спрацював генератор вогнегасного аерозолі після чого вогнегасний аерозоль за рахунок надлишкового тиску (близько 60 атм.) подавався до нижнього кільця виводів. На виході із труби був встановлений клапан та сопло та над ним металічна

пластина, яка сприяла поширенню аерозольних бульбашок по усьому перерізі резервуару. В процесі барботування аерозолі через шар рідини відбувалось додаткове охолодження аерозолі внаслідок контакту аерозолі зі спиртом. Вихід аерозолі на поверхню та час гасіння фіксувався секундоміром.

### 5. Результати досліджень та їх обговорення

Результати експерименту показали, що гасіння було досягнуто у всіх випадках, крім випадків з масою аерозолі 5, 10 грамів (табл. 1). При використанні для гасіння 15 грамів аерозольотворювальної сполуки, гасіння при підшаровому подаванні аерозолі було досягнуто лише при подаванні аерозолі з середнього рівня. В решті випадків гасіння було досягнуто.

Таблиця 1

Вогнегасна ефективність вогнегасного

№	Маса заряду АУС (г).	Час горіння АУС (с)	Час гасіння при придонній подачі с.	Час гасіння при серединній подачі с.	Примітка
1	5	12	–	–	Зменшення розмірів полум'я
2	10	12	–	–	Зменшення розмірів полум'я
3	15	14	–	18	Зменшення розмірів полум'я
4	25	15	19	16	розбрикування
5	50	17	16	14	розбрикування
6	75	18	14	12	розбрикування

При виході аерозолі з придонного та середнього рівня відбувалась спочатку інтенсифікація процесу горіння, після чого зменшення розмірів полум'я, але з подальшого гасіння не спостерігалось. При подаванні аерозолі підшарово з придонного рівня, що утворювався в результаті горіння 25, 50 та 75 грам аерозольотворювальної суміші відбувалась

спочатку інтенсифікація горіння завдяки розбрикуванню рідини через вихід бульбашок та збільшенню площі випаровування.

Відразу після виходу аерозолі на поверхню, температура стінок резервуару починала різко зменшувалась. Результати зміни температури показані на рис. 2.

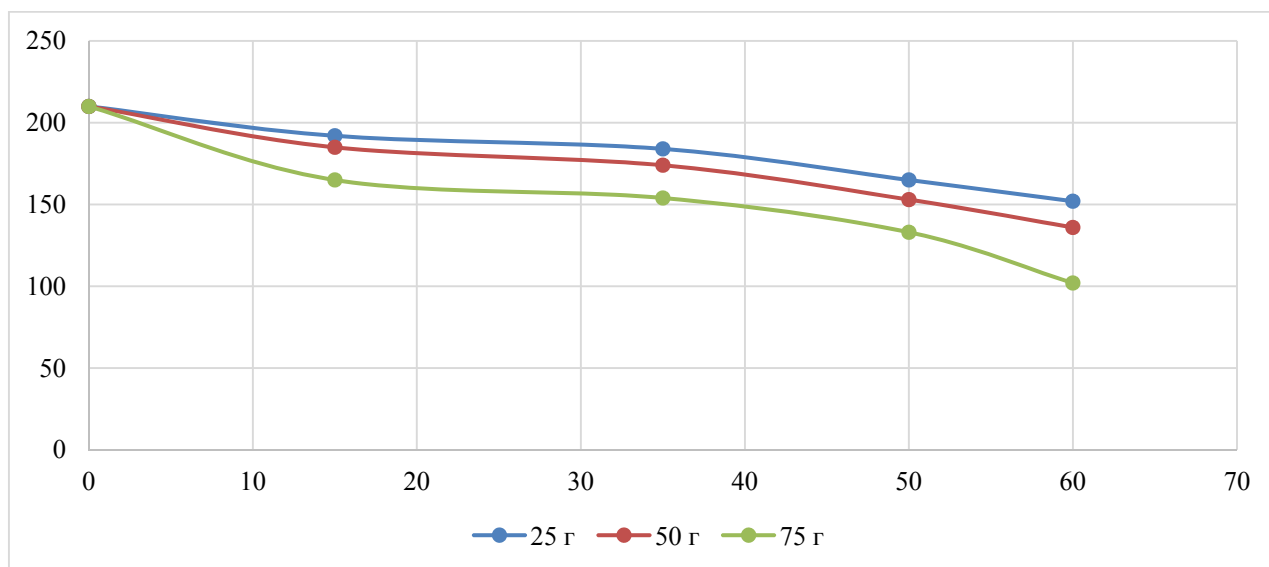


Рис. 2. Графік зменшення температури стінок резервуару при підшаровому гасінні спирту аерозолем

При подаванні аерозолі з придонного та середнього рівня час від початку гасіння до повного припинення горіння становив в середньому 12,0 с (табл. 1). Крім того, аерозоль утримувався над поверхнею горючої рідини до 2 хв. після того як горіння

припинялось, що унеможливило повторне займання горючого. При використанні АУС з масою 25–75 грам час гасіння зменшується, але при цьому відбувається розбрикування палаючої рідини, що приводить до зменшення температури стінок резервуару

за рахунок випаровування спирту на них. Щодо механізму підшарового гасіння, то за умови, коли аерозоль потрапляє в зону парів та газів, а пізніше в зону горіння, разом з горючою парою рідини забезпечує повне проникнення аерозолу в зону горіння, що значно підвищує ефективність гасіння. Підвищення ефективності гасіння відбувається за рахунок того, що дисперсні частинки аерозолу не відносяться від полум'я конвективними потоками, а горюча пара вже попередньо флегматизується аерозолем, що зменшує швидкість горіння та значно збільшує енергію активації, що збігається з результатами робіт [10, 11].

При підшаровому подаванні аерозоль потрапляє спочатку в зону парів та газів, а пізніше в зону горіння разом з горючою парою рідини, що забезпечує стовідсоткове потрапляння аерозолу в зону горіння, що відповідно значно підвищує ефективність гасіння. Це відбувається за рахунок того, що диспер-

сні частинки аерозолу не відносяться від полум'я конвективними потоками, а горюча пара вже попередньо флегматизується аерозолем, що зменшує швидкість горіння та значно збільшує енергію активації.

Отже подавання вогнегасного аерозолу підшарово через рідину приводить до реалізації наступних явищ, що сприяють її гасінню:

– Перемішування палаючої рідини та зменшення температури на поверхні рідини, а відповідно і швидкості пароутворення при цьому.

– Зменшення кількості горючої пари, яка проникає у зону горіння та зменшення розмірів полум'я.

– Охолодження бортів резервуару.

– Екранування теплового потоку з зони горіння на поверхню горючої рідини.

– Збільшення об'єму полум'я та зменшення його теплонапруженності за рахунок введення додаткового об'єму аерозолу в полум'я.

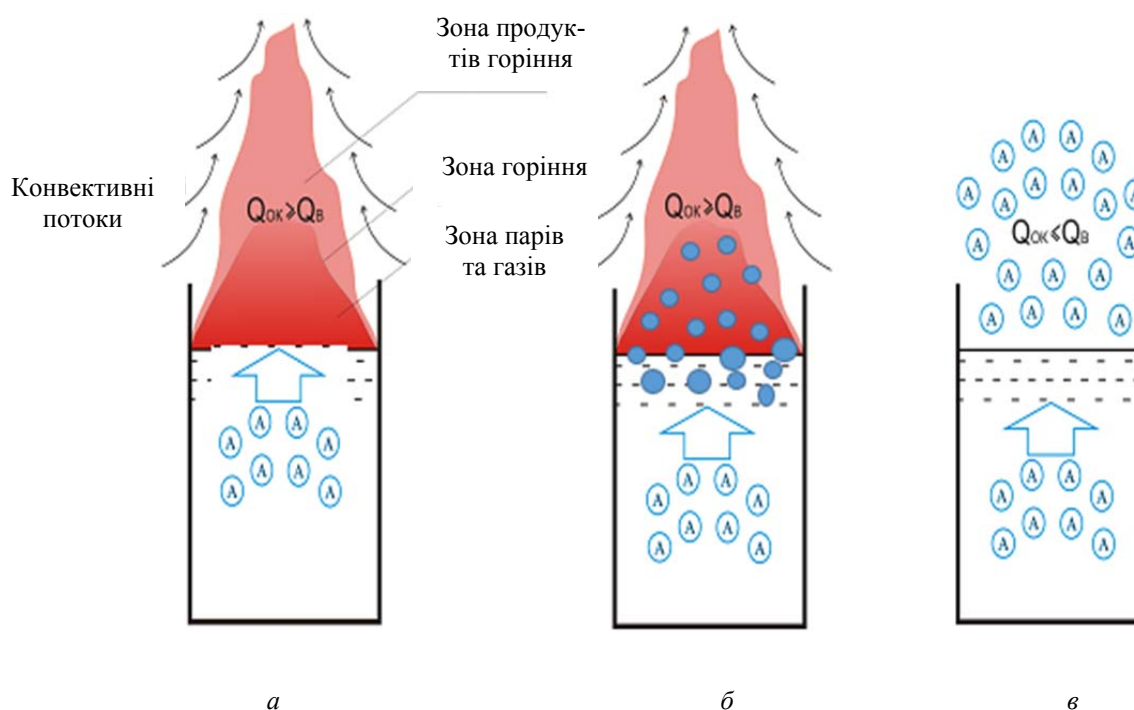


Рис. 3. Етапи підшарового гасіння спирту вогнегасним аерозолем: *а* – аерозоль під шаром рідини; *б* – аерозоль в зоні горіння; *в* – гасіння полум'я аерозолем

Відрив полум'я від поверхні за рахунок швидкості потоку аерозолу, яка є більшою за швидкість поширення полум'я. Відрив полум'я за рахунок зменшення швидкості поширення полум'я внаслідок його інгібування аерозолем. Для більш чіткого розуміння механізму підшарового гасіння аерозолем етапи гасіння показано на рис. 3.

Загалом процес підшарового гасіння аерозолем можна поділити на 3 етапи. На першому етапі (рис. 3, *а*) вогнегасний аерозоль барботує через шар рідини, де відбувається його перемішування та вирівнювання температури в об'ємі рідини – охолодження поверхні та незначного нагрівання об'єму спирту що приведе до зменшення інтенсивності пароутворення.

На другому етапі (рис. 3, *б*) відбувається вихід аерозолу з шару рідини та подальше потрапляння в зону парів та газів, що приводить до збільшення об'єму полум'я за рахунок введення аерозолу.

На третьому етапі (рис. 3, *в*) киснево-відновлювальна реакція припинялася, за рахунок виконання умови  $Q_{ок} \leq Q_{в}$ . Завдяки термічному розкладанню твердих частинок аерозолу відбувалося часткове охолодження полум'я, паралельно його інгібування, що приводить до припинення реакція горіння.

Отож, отримані результати підтвердили ефективність використання вогнегасних аерозолів на основі неорганічних солей калію для гасіння горючих рідин в резервуарах. У порівнянні з попередніми способами гасіння, даний спосіб забезпечує ефективніше

та надійніше гасіння полум'я, адже аерозоль подається з глибини резервуару. Тобто гасіння буде відбуватися відразу після виходу аерозолу що забезпечує реалізацію основних параметрів – ефективність, швидкість та чистота гасіння. Подальше підвищення підшарового гасіння можна досягнути завдяки комбінованому застосування відомого способу гасіння ударними хвилями, а зазначений спосіб потребує подальшого дослідження.

## 6. Висновки

1. В роботі проведено аналіз та вказано недоліки підшарового гасіння спиртів піноутворювачем, експериментально визначено можливість подання

вогнегасного аерозолу через шар рідини. Встановлено що час гасіння вогнегасним аерозолем через шар рідини становив від 12 до 18 секунд.

2. Експериментально визначено масу заряду аерозолеутворюючої суміші достатньої для ліквідації горіння спирту в резервуарі яка становить від 25 до 75 грамів.

3. Визначено, що різниця в часі ліквідації горіння спирту при подачі аерозолу з придонного та середнього рівня становить в середньому 2 секунди.

Загалом в роботі експериментально виявлено та теоретично обґрунтовано, що підшарове аерозольне гасіння спиртів забезпечує чистоту, швидкість, дешевизну та високу ефективність гасіння.

## Література

1. Закономерности тушения нефтепродуктов в условиях интенсивного движения жидкости при подаче пены в слой горючего: сб. науч. тр. / Молчанов В. П. и др. // Научно-техническое обеспечение деятельности государственной пожарной службы. Москва: ВНИИПО, 1996. С. 129–137.
2. Nash P., Whittle J. Fighting fires in oil storage tanks using base injection of foam – Part I // Fire Technology. 1978. Vol. 14, Issue 1. P. 15–27. doi: <http://doi.org/10.1007/bf01997258>
3. Ethanol Tank Fire Fighting Background and previous research. URL: <https://www.sp.se/en/Sidor/default.aspx>
4. Pressreader. URL: <https://www.pressreader.com/usa/baltimore-sun/20070514/281496451851985>
5. Спирт взлетел на воздух. Пожежа на спиртозаводі. URL: <https://www.kommersant.ru/doc/292815>
6. Рекомендации по тушению полярных жидкостей в резервуарах. Москва: ФГУ ВНИИПО, 2007. 58 с.
7. Баланык В. М. Определение эффективности тушения огнетушащими аэрозолями горючих жидкостей на открытом пространстве // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2015. Т. 5, № 10 (77). С. 4–11. doi: <http://doi.org/10.15587/1729-4061.2015.51399>
8. Басманов А. Е., Михайлюк А. А. Локализация пожаров в резервуарах с нефтепродуктами. Харьков: НУГЗУ, 2011. 108 с.
9. Химические свойства спиртов. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki>
10. Balanyuk V. M. Specific Nature of Phlegmatizing Air-Heptan Mixture using aerosol and Nitrogen Binary Mixture // ВіТР. 2016. Vol. 44, Issue 4. P. 139–149.
11. Balanyuk V. M. Extinguishment of n-heptane diffusion flames with the shock wave. ВіТР. 2016. Vol. 42, Issue 2. P. 103–111.

*Рекомендовано до публікації д-р техн. наук., професор Ковалишин В. В.  
Дата надходження рукопису 05.02.2019*

**Баланык Володимир Мірчович**, кандидат технічних наук, доцент, кафедра процесів горіння та загальної хімії, Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, вул. Клепарівська, 35, м. Львів, Україна, 79007  
E-mail: [bagr33@ukr.net](mailto:bagr33@ukr.net), [bagr9111@gmail.com](mailto:bagr9111@gmail.com)

**Назарій Михайлович Козяр**, кандидат технічних наук, Головне управління ДСНС України у м. Києві, вул. Володимирська, 13, м. Київ, Україна, 01601  
E-mail: [Kozyar777@ukr.net](mailto:Kozyar777@ukr.net)

**Краченко Антон Вікторович**, Головне Управління ДСНС України у м. Львові, вул. Підвальна, 6, м. Львів, Україна, 79008  
E-mail: [anton.kravchenko101@gmail.com](mailto:anton.kravchenko101@gmail.com)