

УДК 618.841.332

С.В. Жартовський, к.т.н., с.н.с, Р.В. Уханський, М.І. Копильний, УкрНДЦЗ

ВИКОРИСТАННЯ ВОДНИХ ВОГНЕГАСНИХ РЕЧОВИН КОМПЛЕКСНОЇ ДІЇ ДЛЯ ГАСІННЯ ТВЕРДИХ І РІДКИХ РЕЧОВИН

Досліджено особливості процесів припинення горіння горючих рідин і твердих горючих матеріалів під час їх гасіння водною вогнегасною речовиною на основі полігексаметиленгуанідингідрофосфат карбаміду.

Ключові слова: водна вогнегасна речовина, полігексаметиленгуанідин-гідрофосфат карбаміду.

Постановка проблеми. Аналіз досягнень науки і практики щодо розроблення та застосування водних вогнегасних речовин свідчить, що на сьогодні бракує водних вогнегасних речовин, які мають комплексну дію на процес припинення горіння.

Аналіз останніх досягнень і публікацій. Для розроблення нової комплексної вогнегасної речовини можна, як основу, використати водної вогнебіозахисної речовини ФСГ-2 [2]. В результаті досліджень було з'ясовано, що кількісні показники вогнегасної здатності залежать від молекулярної маси полімеру полігексаметиленгуанідингідрофосфату.

Постановка задачі та її розв'язання. Мета. роботи полягає у застосуванні комплексної хімічної сполуки на основі природних полімерів гуанідинового ряду з отриманням якісних показників фізико-хімічних характеристик водних вогнегасних речовин (ВВР), що здатні забезпечити високу вогнегасну здатність.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується стаття.

Для проведення кількісних та якісних показників вогнегасної здатності досліджуваної вогнегасної речовини необхідно розроблення методик проведення досліджень, а також проведення натурних вогневих випробувань з гасіння модельних вогнищ пожежі класу А.

Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів.

Аналіз статистичних даних свідчить про те, що з 71,4 тис. пожеж в Україні в 2012 році більше 80% припадає на житловий сектор. Основною причиною виникнення пожеж в житловому секторі у 2012 році є необережне поводження з вогнем (63,6 %). Відзначено, що первинні засоби пожежогасіння (вогнегасники) у 2012 році використовувались у 898 випадках або 2,5 % від загальної кількості пожеж. Виявлено, що пожежно-рятувальні підрозділи ДСНС України під час гасіння пожеж в основному використовували воду (96 %). Водні вогнегасні речовини (ВВР) були використані лише в 0,2 %.

Об'єкт дослідження – водні вогнегасні розчини та гелі для гасіння пожеж класів А, В. **Предмет дослідження** – вплив фізико-хімічних і реологічних властивостей водної вогнегасної речовини на основі полігексаметиленгуанідингідрофосфат карбаміду (ПГМГФК) на процеси припинення горіння твердих і рідких речовин пожеж класів А та В.

В роботі для проведення досліджень використали ВВР ФСГ-2Д (молекулярна маса ПГМГФК – від 3000 до 5000 а.о.м.) та ФСГ-2Ф (молекулярна маса ПГМГФК – понад 10000 а.о.м.).

Експериментальні дослідження з виявлення впливу хімічного складу водних вогнегасних речовин на їх вогнегасну ефективність під час гасіння модельних вогнищ класу А проводилися на стенді наведеному на рисунку 1.

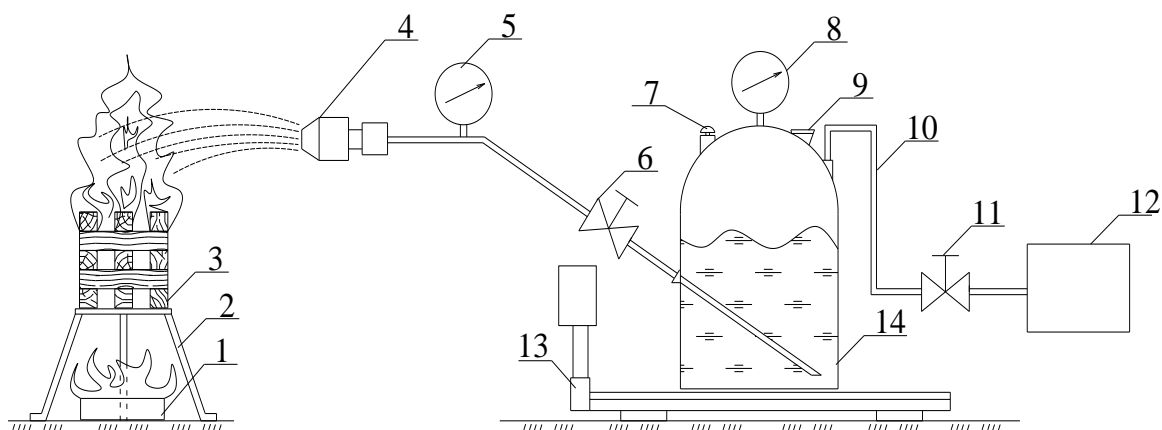


Рисунок 1 – Стенд для експериментальних досліджень з визначення відносної вогнегасної ефективності водних вогнегасних речовин для гасіння пожеж класу А: 1 – металеве деко для горючої рідини; 2 – металевий штатив; 3 – модельне вогнище пожежі класу А; 4 – розпилювачі водної вогнегасної речовини (2 шт.); 5,8 – манометри, 6, 11– запірні крани; 7 – запобіжний клапан; 9 – горловина для заряджання посудин вогнегасною речовиною; 10 – з’єднувальні трубопроводи; 12 – компресор; 13 – ваги; 14 – посудина для вогнегасної речовини.

Сутність метода полягає у визначенні вогнегасної ефективності досліджуваних водних вогнегасних речовин за рахунок визначення їх маси, яку необхідно подати, за однакових умов, на гасіння вогнища пожежі класу А тонкорозпиленими струменями. Відносну вогнегасну ефективність (Z) досліджуваних водних вогнегасних речовин визначали порівняно із вогнегасною ефективністю води.

Масу водної вогнегасної речовини, яку було використано під час гасіння модельного вогнища класу А визначали за формулою:

$$\Delta m = m_1 - m_2, \quad (1)$$

де m_1 – маса посудини із зарядом водної вогнегасної речовини до початку експериментальних досліджень [кг]; m_2 – маса посудини із залишком заряду водної вогнегасної речовини після експериментальних досліджень [кг].

Відносну вогнегасну ефективність Z водних вогнегасних речовин визначали за формулою:

$$Z = \Delta m_{\text{ВВР}} / \Delta m_{\text{в}} \quad (2)$$

де $\Delta m_{\text{ВВР}}$ – маса водної вогнегасної речовини, яку було використано під час гасіння модельного вогнища класу А (кг); $\Delta m_{\text{в}}$ – маса води, яку було використано під час гасіння модельного вогнища класу А (кг).

Результати проведених експериментальних досліджень з визначення відносної вогнегасної здатності ВВР ФСГ-2Ф наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Результати проведених експериментальних досліджень з визначення відносної вогнегасної здатності ВВР ФСГ-2Ф (клас пожежі - А, час вільного горіння 300с, площа горіння - 0,2268 м²).

Вогнегасна речовина	Вміст добавки до води, % мас	Середня маса вогнегасної речовини, витраченої на гасіння (Δm), кг	Відносна вогнегасна здатність вогнегасної речовини, Z
Вода	-	5±	1,00
ВВР ФСГ-2Ф	31,5	1,1±	4,55

За результатами експериментальних досліджень встановлено, що вогнегасна ефективність ВВР ФСГ-2Ф в 4,55 рази вища порівняно з водою за однакових умов їх подавання на гасіння вогнищ пожежі класу А.

Окрім лабораторних досліджень були проведені полігонні випробування вогнегасної здатності ВВР ФСГ-2Ф за удосконаленою методикою визначення показників вогнегасної здатності водних вогнегасних речовин під час гасіння модельних вогнищ пожежі класу А за ГОСТ 27331.

Сутність методу полягає у визначенні маси водної вогнегасної речовини, яку витрачено на одиницю відкритої поверхні горіння модельного вогнища пожежі класу А максимального типорозміру у разі його успішного гасіння.

Показник вогнегасної здатності (Q_A) водної вогнегасної речовини у разі успішного гасіння модельних вогнищ пожежі класу А визначається як відношення маси витраченої вогнегасної речовини до площі поверхні горіння модельного вогнища пожежі:

$$Q_A = \frac{\Delta M}{S} \quad (3),$$

де: ΔM – різниця між масою вогнегасника із зарядом ВВР та масою вогнегасника після гасіння модельного вогнища пожежі класу А, кг;

S - площа поверхні горіння модельного вогнища пожежі класу А, м².

Дослідження вогнегасної здатності водної вогнегасної речовини комплексної дії ФСГ-2Ф при гасінні пожеж класу А проведено на модельних вогнищах пожежі класу А, які виготовлені відповідно до ДСТУ 3675.

Результати досліджень з визначення показника вогнегасної здатності водної вогнегасної речовини комплексної дії ФСГ-2Ф наведено в таблиці 2 та протоколі досліджень.

Таблиця 2 – Результати досліджень вогнегасної здатності ВВР ФСГ-2Ф щодо гасіння модельних вогнищ пожежі класу А переносними сертифікованими вогнегасниками ВВ-9(з) виробництва ПрАТ «Факел» (м. Макіївка, Донецька обл.)

водна вогнегасна речовина	позначення модельного вогнища	площа поверхні горіння модельного вогнища пожежі (S), м ²	маса вогнегасника а		маса витраченої на гасіння ВВР (ΔM), кг	результат гасіння	показник вогнегасної здатності ВВР (Q_A), кг/м ²	примітка
			із зарядом ВВР (M_1), кг	після гасіння (M_2), кг				
0,1% піноутворювача пірокул AR (1%), вода - решта	3А	13,9	13,8	5,1	8,7	не погашено	-	модельне вогнище погашено додатковим об'ємом води
0,1% піноутворювача пірокул AR (1%), 32% вогнегасної речовини ПГМГФК, вода – решта (ФСГ-2Ф)	3А	13,9	13,8	5,8	8,0	погашено	0,57	після припинення горіння спалахів не спостерігалось, на поверхні звуглених брусків візуально спостерігалась наявність плівки. після спроби повторно підпалити вогнище, його займання не відбулось

Після вдалого гасіння модельного вогнища пожежі 3А ВВР ФСГ-2Ф було проведене морфологічне порівняння результатів гасіння модельних вогнищ водою та ВВР ФСГ-2Ф шляхом візуального огляду (рис. 2).

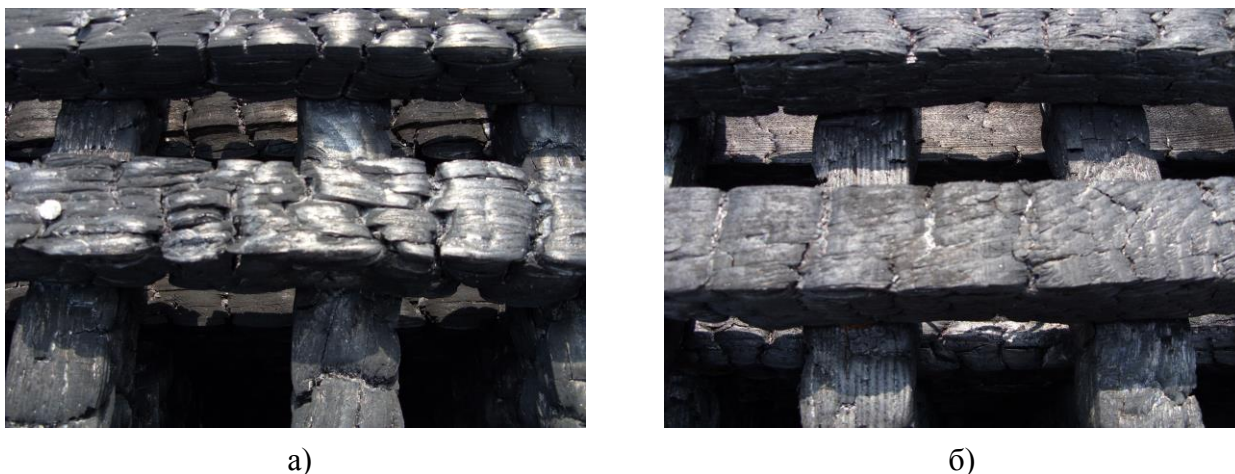


Рисунок 2 – Дерев’яні бруски модельного вогнища пожежі класу А після їх гасіння: а) водою; б) ВВР ФСГ-2Ф.

За результатами візуального огляду модельних вогнищ пожежі класу А було зроблено припущення, що ВВР ФСГ-2Ф має комплексну вогнегасну дію, зокрема утворює на поверхні модельного вогнища шар плівки або гелю, який має ізолюючий ефект. З метою перевірки даного припущення був проведений дослід метою якого була спроба повторно підпалити модельне вогнище пожежі класу А після його успішного гасіння з використанням ВВР ФСГ-2Ф. Для підпалювання використовували таку ж кількість бензину А-76. Займання не відбулось.

В результаті цього експерименту було встановлено, що застосування водних вогнегасних речовин з вмістом ФСГ-2Ф у разі гасіння пожеж класів А призводить не тільки до ліквідування горіння, але й до унеможливлення повторного підпалювання модельного вогнища, що може бути пояснено модифікуванням шару коксу антипіренами.

В подальшому зазначене явище досліджували методами термогравіметрії. Для досліджень взяли зразок вугілля з модельного вогнища 2А, яке було погашене зарядом 0,1 % водного розчину піноутворювач Пірокул АR, та зразок вугілля з модельного вогнища 3А, яке було погашене зарядом ВВБЗР ФСГ-2Ф. Дані досліджень представлені на рисунку 3.

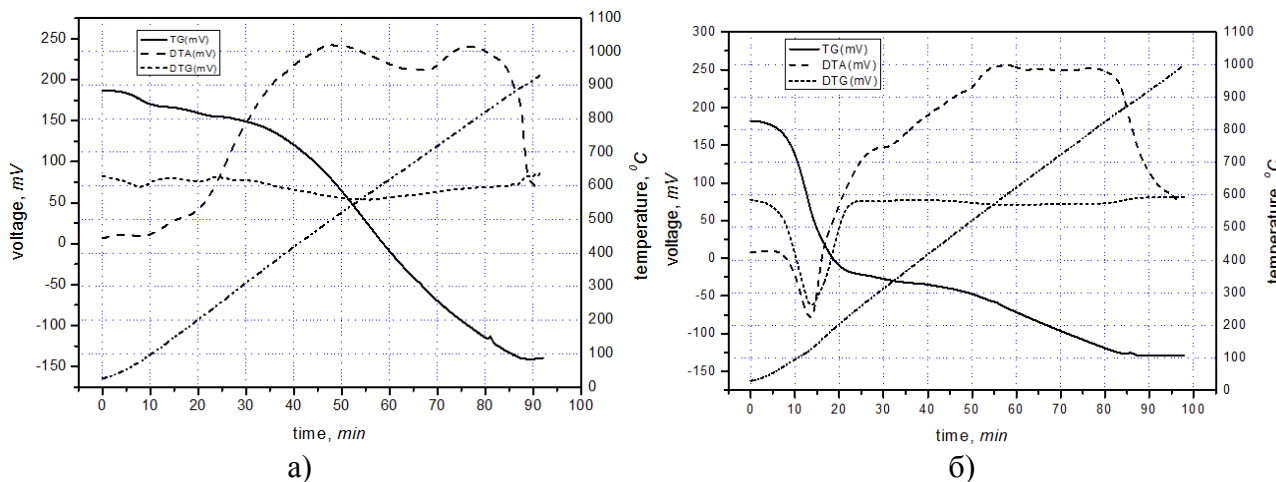


Рисунок 3 – Результати термогравіметричного дослідження звичайного (а) та модифікованого (б) зразків звугленого шару деревини (сосни).

Як видно з рисунку 3, термограми вугілля, модифікованого під дією застосованої ВВР ФСГ-2Ф, свідчать про наявність вираженого ендотермічного ефекту в діапазоні температур від 100 °С до 600 °С. На термограмах зразку, що взято з звугленого шару деревини, яку тушили водою з піноутворювачем, такого ефекту не спостерігається. Таким чином, можна стверджувати, що завдяки зазначеному ендотермічному ефекту на поверхні звугленої деревини (при застосуванні для гасіння ВВР ФСГ-2Ф) не залишається осередків тління (жару), що можуть ставати джерелами повторного займання деревини. Це додатково підтверджується тим, що в результаті термічних досліджень 100 мг вугілля (при його нагріванні від 20 °С до 1000 °С) залишкова маса зразку звичайного вугілля становила 5,5 мг, а модифікованого вугілля - 22,9 мг.

Необхідно відзначити важливість ефекту відсутності повторного займання модельного вогнища класу А після його гасіння зарядом ФСГ-2Ф. Практика пожежогасіння вказує на те, що дуже важливо на початковій стадії розвитку пожежі застосувати ефективну вогнегасну речовину, яка виключає можливість повторного займання. Адже відомо, що після гасіння таких пожеж водними вогнегасниками часто-густо відбувається повторне займання пожежної навантаги.

Дослідження вогнегасної здатності зазначених речовин під час гасіння вогнищ класу В проводили за методикою визначення показника відносної вогнегасної ефективності тонко розпилених водних речовин для гасіння вогнищ класу В, яка розроблена в УкрНДІЦЗ.

Сутність методу полягає у визначенні критичної інтенсивності подавання тонкорозпиленних струменів ВВР у разі гасіння вогнища пожежі класу В все більшого діаметру за однакової витрати вогнегасної речовини.

Для визначення критичної інтенсивності подавання зразків водних вогнегасних речовин для гасіння вогнищ класу В її тонко розпиленними струменями використовують установку (рис. 4), до комплексу якої входять:

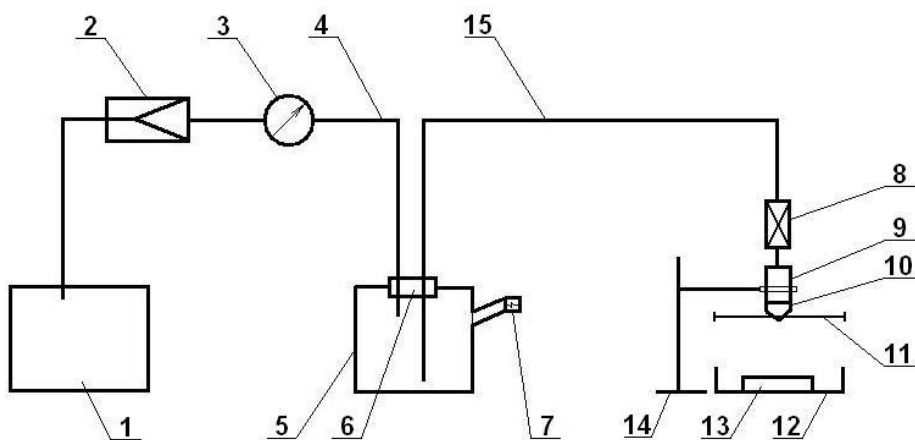


Рисунок 4 – Схема установки визначення критичної маси подавання зразків водних вогнегасних речовин: 1 – компресор; 2 – редуктор тиску; 3 – манометр; 4 – шланг подавання робочого газу; 5 – випробувальний пристрій; 6 – вихідна горловина; 7 – клапан випуску; 8 – вентиль; 9 – переходник; 10 – розпилювач; 11 – захисний екран; 12 – піддон; 13 – деко; 14 – штатив; 15 – шланг для подавання ВВР.

Попередні випробування проводять на дистильованій воді. При цьому підбирають умови подавання: мінімальний робочий тиск і висоту подавання розпиленої води, коли досягається гасіння дека визначеного діаметру.

Подальші випробування досліджуваних водних вогнегасних речовин проводять за цими параметрами, дотримуючись однакових умов гасіння.

Витрату вогнегасної речовини (води, ВВР) за одиницю часу R (см³/с), визначають за формулою:

$$R = \frac{m_1 - m_0}{\tau \rho}; \quad (4)$$

де m_0 – маса посудини для збирання розпиленої вогнегасної речовини, г;
 m_1 – маса посудини для збирання розпиленої вогнегасної речовини зі зібраною речовиною, г;
 τ – час збирання вогнегасної речовини, с;
 ρ – густина досліджуваної вогнегасної речовини, г/см³.

Розраховують критичну інтенсивність подавання ВВР, при якій досягається гасіння:

$$I_{кр} = \frac{R}{S}, \text{ см}^3\text{с}^{-1}\text{м}^{-2}, \quad (5)$$

де S – площа дека.

Показник відносної вогнегасної ефективності вогнегасної речовини визначають за формулою:

$$K = \frac{I_{крH_2O}}{I_{крВВР}}, \quad (6)$$

де $I_{крH_2O}$ – критична інтенсивність подавання води, см³с⁻¹м⁻²;

$I_{крВВР}$ – критична інтенсивність подавання водної вогнегасної речовини, см³с⁻¹м⁻².

За такою методикою досліджували ВВР ФСГ-2Д (молекулярна маса ПГМГФК 3000 – 5000 а.о.м.), ФСГ-2Ф (молекулярна маса ПГМГФК >10000 а.о.м.). Результати досліджень представлені на рисунку 5.

Залежності, представлені на рисунку 5, вказують на те, що для гасіння вогнищ класу В потрібна значно менша критична інтенсивність подавання ВВР ФСГ-2Ф порівняно з ФСГ-2Д (на хід кривих впливає молекулярна маса ПГМГФК). Про це ж свідчать і розрахований показник відносної вогнегасної ефективності, який для ВВР ФСГ-2Ф становить 2,55, а для ВВР ФСГ-2Д – 1,52. Отже для цілей пожежогасіння краще застосовувати модифікацію ВВР ФСГ-2Ф, ніж модифікацію ФСГ-2Д.

Дослідження з визначення показника корозійної активності ФСГ-2Ф проводили за методикою визначення показника корозійної активності водних та водопінних вогнегасних речовин, а також водних розчинів, в тому числі і вогнезахисних речовин, яка розроблена в УкрНДЦЗ.

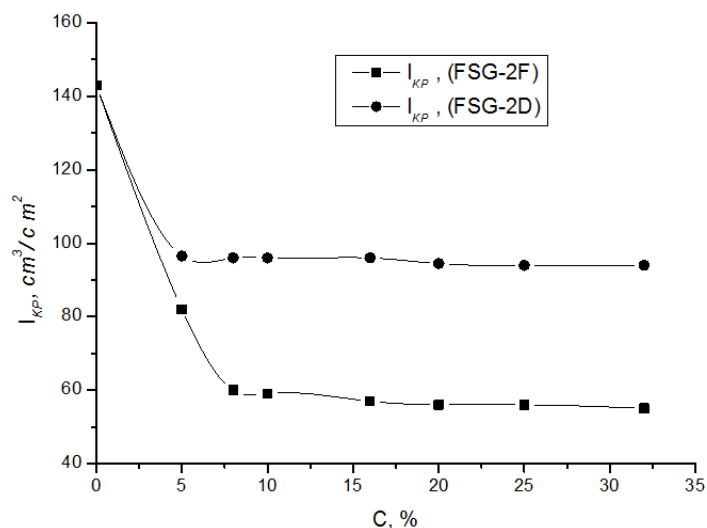


Рисунок 5 – Залежність критичної інтенсивності подавання ВВР ФСГ-2Ф (ФСГ-2Д) на гасіння вогнища класу В від концентрації ПГМГФК у складі ВВР.

Сутність методу полягає у визначенні середньої швидкості втрати маси з одиниці площі металевих пластин під час їх експонування у досліджуваному водному розчині.

Середню питому швидкість втрати маси пластини (V_{II} , кг/(м²·с)) розраховують за формулою:

$$V_{II} = \frac{P}{S \cdot t}, \quad (7)$$

де P - втрата маси пластини, кг;

S - площа поверхні контакту пластини з розчином вогнегасної речовини, м²;

t - тривалість експозиції пластини в розчині вогнегасної речовини, с;

$t = 2592000$ с (30 діб)

Результати досліджень з визначення показника корозійної активності водної вогнегасної речовини комплексної дії ФСГ-2Ф наведено в таблиці 3.

Таблиця 3 – Результати досліджень з визначення показника корозійної активності водної вогнегасної речовини комплексної дії ФСГ-2Ф

Маса пластини до випробувань m_1 , г	Маса пластини після випробувань m_2 , г	Втрата маси пластини $P = (m_1 - m_2)$, кг	Ширина пластини, мм	Довжина пластини, мм	Площа пластини S , м ²	Корозійна дія (швидкість корозії), V_{II} , кг/(м ² ·с)
33,666	33,649	0,000017	30,0	38,7	0,001161	$5,639 \cdot 10^{-9}$
33,6004	33,582	0,0000184	32,4	39,1	0,00126684	$5,611 \cdot 10^{-9}$
Середнє значення						$5,625 \cdot 10^{-9}$

За даними нормативної документації показник корозійної активності ВВР не повинен перевищувати $1 \cdot 10^{-8}$ кг/(м²·с).

Враховуючи проведені аналітичні і експериментальні дослідження фізико-хімічних властивостей води і ВВР ФСГ-2Ф була запропонована феноменологічна модель механізму вогнегасної дії ВВР ФСГ-2Ф під час гасіння вогнищ пожеж класу А. Ця речовина має специфічні реологічні властивості, які дозволяють із звичайних протипожежних пристроїв (вогнегасників, розпилювачів) утворювати розпилений струмінь з меншими краплинами розпилу (порівняно із водою за тих же самих умов). Коли краплі попадають у факел полум'я, відбувається тепло-масовий обмін між ВВР і полум'ям, при цьому випаровується вода і відбувається охолодження визначеного краплею об'єму полум'я. Одночасно з цим відбувається флегматизація цього об'єму водною парою. В подальшому, найменші краплини ВВР, які достатньо позбулися води, перетворюються спочатку у гідрогель, а в подальшому у розплав. Пізніше, за рахунок тепло-масообміну з полум'ям утворюються тверді частинки комплексної хімічної сполуки, які в свою чергу розкладаються на атоми, іони та вступають у взаємодію з активними радикалами полум'я, інгібуючи ланцюгові реакції окислення горючих газів. Більш великі краплини, які перетворились у гідрогель, але не встигли висохнути до твердих частинок, досягають поверхні розжареної деревини, спочатку утворюючи плівку з гідрогелю, яка в подальшому перетворюючись у розплав комплексної хімічної сполуки.

Зазначені плівки гідрогелю і розплаву приймають участь у ряді фізичних і фізико-хімічних процесах. По-перше, завдяки ендотермічним ефектам комплексної хімічної сполуки відбувається охолодження поверхні. Сама плівка при плавленні виділяє інертні гази (N₂, CO₂ та інші), які, по-перше, флегматизують зону окислювальної реакції, а, по-друге, створюють бар'єр для доступу кисню в зону хімічної реакції, та виходу газових продуктів хімічної деструкції макромолекул целюлози. При цьому треба відзначити високу адгезійну здатність гідрогелю ВВР ФСГ-2Ф і його спроможність утримуватися на поверхні нагрітої деревини.

При поступовому перетворенні деревини у вугілля відбувається його модифікація продуктами термічного розкладу ПГМГФК. На поверхні модифікованого коксу не утворюється жар, який міг би стати джерелом запалювання газових продуктів термічного розкладу із глибинних шарів деревини. Отже, сформований шар модифікованого коксу перешкоджає процесу повторного займання деревини.

Феноменологічна модель механізму вогнегасної дії ВВР ФСГ-2Ф під час гасіння вогнищ пожеж класу В можна вважати такою ж як і при гасінні полум'я вогнищ пожеж класу А.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Жартовський С.В., Ніжник В.В., Уханський Р.В. Активная противопожарная защита деревянных конструкций куполов церквей с применением огнетушащих веществ // Пожаровзрывобезопасность, М.: Пожнаука, 4-2013. – с.65-69.
2. Жартовський С.В., Уханський Р.В., Копильний М.І. Застосування водної вогнебіозахисної речовини ФСГ-2 в якості вогнегасної речовини // Збірник тез доповідей XI Міжнародної науково-практичної конференції «Пожежна безпека - 2013», с. 495-497.
3. Антонов А.В., Жартовський С.В., Ніжник В.В., Уханський Р.В., Копильний М.І. Методика визначення вогнегасної ефективності водних вогнегасних речовин під час гасіння модельних вогнищ класу А // Збірник тез доповідей II Міжнародної науково-практичної конференції «Пожежна безпека: теорія і практика», с. 82-85.