

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ УКРАЇНИ

**Підвищення ефективності гасіння
пожеж у житлових будівлях
шляхом удосконалення
характеристик системи
внутрішнього водопостачання**

Монографія

Харків 2022

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ УКРАЇНИ

**Підвищення ефективності гасіння
пожеж у житлових будівлях
шляхом удосконалення
характеристик системи
внутрішнього водопостачання**

Монографія

Харків 2022

Рекомендовано до друку
вченою радою НУЦЗ України
(протокол від 30.09.2021 № 1)

Рецензенти:

кандидат технічних наук, доцент **О. Б. Васильєв**
кандидат технічних наук, доцент **І. М. Грицина**

УДК 614.84

Підвищення ефективності гасіння пожеж у житлових будівлях шляхом удосконалення характеристик системи внутрішнього водопостачання: монографія / С. М. Щербак, О. А. Петухова, С. А. Горносталь, О. А. Тарасенко. – Х.: НУЦЗУ, 2021. – 84 с.

В роботі проведено аналіз складових та основних конструктивних характеристик пожежного кран-комплекту, що встановлено відповідно до вимог нормативних документів. Констатовано, що нормативи є неповними, оскільки не охоплюють всієї існуючої номенклатури продукції, наявної на ринку. Розроблено пропозиції щодо умов використання пожежного кран-комплекту в житлових будівлях та рекомендації для їх проєктування.

Для наукових та науково-педагогічних працівників, докторантів, аспірантів (ад'юнктів), здобувачів вищої освіти в межах навчальної програми технічного вищого навчального закладу IV рівня акредитації.

УДК 614.84

© Щербак С. М., Петухова О. А.,
Горносталь С. А., Тарасенко О. А., 2022
© НУЦЗУ, 2022

...

ЗМІСТ

Вступ	4
Розділ 1. Аналіз сучасного досвіду використання пожежних кран-комплектів	5
1.1 Аналіз складових та основних конструктивних характеристик ПКК, що вимагаються до встановлення відповідно до вимог нормативних документів.....	5
1.2 Визначення критеріїв ефективності використання ПКК для гасіння пожеж у житлових будівлях.....	9
1.3 Огляд наукових праць, присвячених окремим аспектам гасіння пожеж у висотних житлових будівлях та улаштуванню систем внутрішнього водопостачання.....	15
Розділ 2. Експериментальне визначення впливу параметрів пожежних кран-комплектів на фактичні витрати води	18
2.1 Проведення експериментального дослідження для побудови моделі фактичних витрат води в залежності від основних впливаючих параметрів.....	18
2.2 Побудова і аналіз математичних моделей фактичних витрат води з ПКК	24
Розділ 3. Визначення необхідних вимог для параметрів пожежного кран-комплекту	36
3.1 Побудування математичної моделі необхідної кількості води для успішного гасіння пожежі за допомогою ПКК у житлових будівлях.....	36
3.2 Обґрунтування мінімально допустимої довжини рукава пожежного кран-комплекту	43
Розділ 4. Розробка пропозицій щодо умов використання ПКК житлових будівлях та рекомендацій для проектування ПКК	51
4.1 Дослідження умов ефективного використання ПКК з визначеними характеристиками.....	51
4.2 Розробка схеми побудування ПКК, який забезпечить ефективне гасіння пожежі в заданих умовах його експлуатації	52
4.3 Розробка рекомендацій щодо визначення характеристик ПКК на стадії проектування житлової будівлі.....	59
4.4 Висновки	72
Післямова	73
Список використаних джерел	75

ВСТУП

На сьогодні в Україні експлуатується більше 4000 житлових висотних будівель, більшість з яких знаходяться в незадовільному протипожежному стані, внаслідок чого щорічно в них виникає понад 1000 пожеж. Автодрабини пожежних автомобілів, якими озброєні пожежно-рятувальні підрозділи, не досягають висоти 10-го поверху. Для висотних будівель у разі виникнення пожежі це призводить до необхідності прокладання рукавних ліній уздовж сходових маршів та коридорів відповідних поверхів, і чим вище знаходиться осередок пожежі, тим більше потребує часу певний етап пожежогасіння, що призводить до зростання матеріальних збитків і ризику зростання кількості людських жертв. При цьому нерідко збільшення збитку від пожежі відбувається за рахунок використання води в кількості, що значно перевищує необхідну.

Зменшити термін від моменту виявлення пожежі до моменту початку її гасіння покликані пожежні кран-комплекти (ПКК), які є обов'язковими для встановлення в будівлях будь-якого призначення для певних їх характеристик – типу, об'єму, висоти, ступеня вогнестійкості, категорії виробництва за пожежною та вибухопожежною небезпекою та ін., і які лаштуються на системи внутрішнього водопостачання. ПКК дають можливість ввести вогнегасну речовину в осередок пожежі відразу після його виявлення самими мешканцями осель (для житлових будівель) або працівниками відповідних установ (для офісних та промислових приміщень), а конструкція ПКК дозволяє більш ефективно використовувати воду за рахунок її розпилення та більш прицільного подавання.

Облаштування та використання ПКК регламентується низкою нормативних документів; між тим вони є неповними і в них відсутнє наукове обґрунтування параметрів пожежних кран-комплектів. Для підвищення ефективності використання внутрішнього водопроводу під час гасіння пожежі необхідно визначити характеристики елементів пожежних кран-комплектів, які забезпечать успішне їх використання в конкретних умовах. Зміна характеристик пожежних кран-комплектів призводить до зміни ефективності їх використання для гасіння пожежі у будівлі.

У зв'язку з цим питання удосконалення характеристик ПКК як складової системи внутрішнього водопостачання, з метою підвищення ефективності їх використання, є актуальною науково-практичною задачею.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ СУЧАСНОГО ДОСВІДУ ВИКОРИСТАННЯ ПОЖЕЖНИХ КРАН-КОМПЛЕКТІВ

1.1 Аналіз складових та основних конструктивних характеристик ПКК, що вимагаються до встановлення відповідно до вимог нормативних документів

Системою внутрішнього водопроводу будівель називають [57] сукупність інженерних пристроїв, що забезпечують отримання води з мережі зовнішнього водопроводу та подачу її під необхідним напором до водорозбірних пристроїв всередині будівлі.

За призначенням мережі внутрішнього водопостачання будівель підрозділяються на господарсько-питні, виробничі, протипожежні [57].

Виробничі мережі забезпечують подачу води для технологічних процесів [107].

Протипожежні мережі подають воду для гасіння та запобігання поширенню вогню в разі виникнення пожежі в будівлі.

Найбільш економічно доцільним слід вважати об'єднання всіх видів внутрішнього водопроводу будівлі в одній господарсько-протипожежній системі. Однак недостатність і відносно висока вартість питної води, споживання великої кількості води на виробничі потреби, різниця необхідних напорів і ряд інших чинників у багатьох випадках роблять застосування роздільних систем більш вигідним [10].

У практиці проектування та будівництва внутрішніх водопроводів набули поширення наступні комбінації об'єднання водопровідних мереж: господарсько-питна та протипожежна, господарсько-питна та виробнича, господарсько-питна, виробнича і протипожежна з подачею води питної якості на всі потреби, виробничо-протипожежна [7, 97, 98].

У висотних будівлях під час пожежі на поверхах вище 47 м зовнішнє пожежогасіння є практично неможливим. При висоті будівлі 25–260 м без зовнішнього пожежогасіння залишаються більше 75 % приміщень будівлі. При цьому слід врахувати, що на зовнішнє пожежогасіння нормами передбачається витрата води не менше 100 л/с. І саме зовнішнє пожежогасіння від пожежних машин і гідрантів забезпечує локалізацію та ліквідацію розвинених пожеж у будівлях в умовах міської забудови.

Внутрішнє пожежогасіння є альтернативою зовнішньому. Застосування внутрішніх водопровідних мереж дозволяє подати воду до осередку; при цьому витрати води під час гасіння пожежі зсередини будуть значно меншими.

Необхідність збільшення проектної витрати води на внутрішнє пожежогасіння у висотних будівлях є одним з основних питань при розробці норм проектування таких об'єктів. Забезпечення необхідної кількості

води на верхніх поверхах висотної будівлі є, безумовно, найбільш складним технічним завданням [11].

Питання використання внутрішнього водопроводу під час гасіння пожеж у житлових будівлях на сьогодні регламентуються низкою нормативних документів [14, 15, 20].

Аналіз статистики застосування вогнегасних речовин свідчить, що в Україні для гасіння пожеж вода використовується більш ніж у 90 % випадків [9]. Вода є основною вогнегасною речовиною, найбільш доступною та універсальною [42]. Застосування води для гасіння пожеж не загрожує здоров'ю і життю людей під час проведення евакуації та аварійно-рятувальних робіт. Вищевказаним пояснюється той факт, що найбільш поширеними серед автоматичних систем пожежогасіння є водяні. Ці системи характеризуються:

- надійним і ефективним гасінням пожеж класу А за різних умов їх виникнення;
- низькою імовірністю виникнення хибних спрацьовувань;
- безпекою під час спрацьовування та роботи;
- малим проміжком часу переведення систем до робочого стану (чергового режиму) після гасіння пожеж;
- доступністю проведення перевірок працездатного стану.

Дослідження [18, 19, 46, 47, 70] показали, що у ряді випадків ефективне використання води може бути досягнуто за умов високого ступеня її розпорошення.

Автоматичні системи пожежогасіння забезпечують такий ступінь розпорошення. Вони здійснюють подачу води зразу на всю площу приміщення, що, з одного боку, є перевагою, а з іншого – недоліком, оскільки призводить до високого рівня шкоди матеріальним цінностям та високих трудовитрат під час ліквідації наслідків спрацьовування установок даного типу [43]. В більшості випадків, у разі гасіння водою, більша її частина витрачається марно й не потрапляє до зони горіння.

Тому застосування систем автоматичного пожежогасіння може бути замінено або доповнено системами неавтоматичного пожежогасіння, до яких належить пожежний кран-комплект, застосування якого забезпечує високу прицільність подавання води в осередок пожежі.

Вимогами [20] у шафах пожежних кран-комплектів діаметром 50 мм або 65 мм (рис. 1.1), а також у квартирах житлових будівель високою понад 47 м передбачається улаштування додаткових пожежних кран-комплектів, улаштування яких повинно сприяти локалізації загоряння у квартирі безпосередньо мешканцями та запобігати поширенню вогню до прибуття пожежних підрозділів. Рукава ПКК бувають двох типів – плоскозгорнуті (ПЗР) і напівжорсткі (НЖР) [58, 68].

Необхідною умовою для роботи ПКК є наявність водопровідної мережі з відповідним тиском.



Рис. 1.1 – Пожежні кран-комплекти із плоскозгорнутим та напівжорстким рукавами

За вимогами сучасних нормативних документів [14, 15, 20, 68] до основних характеристик елементів ПКК відносяться довжина, тип і діаметр рукава; діаметр насадка ствола; спосіб отримання розпорошеного або компактного струменя; підключення до господарсько-питного (ГПВ) або внутрішнього протипожежного водопроводу (ВПВ). Кількісні значення вказаних параметрів варіюють у значних межах (табл. 1.1).

Таблиця 1.1 – Вимоги нормативних документів до характеристик основних елементів ПКК

Нормативний документ	Тип водопроводу для підключення	Складові ПКК		Довжина та тип струменя
		рукав	ствол	
ДБН В.2.2-15:2005 (Житлові будівлі)	ГПВ	довжина – 15 м; тип – не вказано; діаметр – 19, 25, 33 мм	розпорошувач	3 м; тип – не вказано
ДБН В.2.2-24:2009 (Проектування висотних житлових та громадських будівель)	ГПВ	довжина – 15 м; тип – не вказано; діаметр – 19, 25, 33 мм	розпорошувач	3 м; тип – не вказано
	ВПВ	довжина – 15 м; тип – НЖР; діаметр – 25, 33 мм	посилання на ДСТУ 4401-1:2005	не вказано
ДБН В.2.5-64:2012 (Внутрішній водопровід та каналізація)	ГПВ	посилання на EN 671-1:2017	посилання на EN 671-1:2017	3 м
ДБН В.2.5-64:2012 (Внутрішній водопровід та каналізація)	ГПВ	посилання на EN 671-1:2017	посилання на EN 671-1:2017	3 м
	ВПВ	довжина та тип – посилання на EN 671-1:2017; діаметр – 25 мм	посилання на EN 671-1:2017	не вказано
EN 671-1:2017 (Кран-комплекти пожежні)	не вказано	довжина – до 30 м; тип – НЖР; діаметр – 19, 25, 33 мм	розпорошувач з насадком діаметром 4 – 12 мм	компактний – 10 м; плоскорозпорошений – 6 м; кінцево-розпорошений – 3 м

Крім цього, аналіз ПКК, існуючих на цей час на ринках України, Європи, РФ і Китаю [1, 2, 21, 24, 38, 105], показує, що далеко не всі виробники випускають обладнання, що відповідає вимогам нормативних документів. Тому дослідженню підлягають також і ПКК із характеристиками, що виходять за рамки вимог норм.

Невідповідність характеристик ПКК за такими позиціями, як тип рукава, може мати принципове значення у випадку використання ПКК у житлових висотних будівлях [116] через гідравлічні характеристики системи водопостачання, на якій вони встановлюються. Так, за вимогами [20], тиск в господарсько-питному водопроводі будівлі може бути в межах 2 ÷ 45 м, а у протипожежному – досягати 90 м. Це означає, що факти-

чний напір перед ПКК може змінюватися в десятки разів. При цьому, в найгірших умовах розміщення ПКК (верхні поверхи будівлі за умов нижнього розведення або нижні – за умов верхнього), якщо використовувати обладнання з максимальним опором, може виявитися, що кількість води з ПКК із напівжорстким рукавом або з ПКК із плоскозгорнутим, не може забезпечити відведення такої кількості тепла, яке виділяється під час пожежі [100].

1.2 Визначення критеріїв ефективності використання ПКК для гасіння пожеж у житлових будівлях

Вибір вогнегасної речовини, в залежності від властивостей речовин та матеріалів, що горять, місця виникнення пожежі та умов її розвитку, мають першорядне значення у припиненні горіння. Однак горіння може бути ліквідоване лише в тому випадку, коли для його припинення подається певна кількість вогнегасної речовини.

У практичних розрахунках [1, 2, 32, 82, 103] необхідної кількості вогнегасної речовини для припинення горіння користуються інтенсивністю її подавання.

Під інтенсивністю подавання вогнегасних речовин ($I_{в.р.}$) розуміється кількість вогнегасної речовини, що подається в одиницю часу на одиницю розрахункового параметра пожежі (площі, периметра, фронту або об'єму). Наприклад, на метр (м) периметра площі гасіння або її частини (фронту, флангів і т.п.), на квадратний метр (m^2) площі гасіння, на кубічний метр (m^3) об'єму приміщення, установки, будівлі, дебіту газонафтового фонтана і т.д. Тому на практиці й розрізняють потрібну та фактичну

лінійну – $I_L, \frac{л}{м \cdot с}, \frac{кг}{м \cdot с}$; поверхневу – $I_S, \frac{л}{м^2 \cdot с}, \frac{кг}{м^2 \cdot с}$; та об'ємну –

$I_V, \frac{л}{м^3 \cdot с}, \frac{кг}{м^3 \cdot с}$ інтенсивність подавання вогнегасних засобів. Вони ви-

значаються дослідним шляхом або розрахунком у процесі аналізу пожеж, що сталися.

У випадку визначення інтенсивності подавання вогнегасної речовини за результатами дослідження або гасіння реальної пожежі користуються співвідношенням:

$$I_{в.р.} = \frac{V_{в.р.}}{\Pi_{гас} \cdot \tau_{гас}},$$

де $V_{в.р.}$ – загальна кількість вогнегасної речовини за час проведення дослідження або гасіння пожежі, л; кг; m^3 ; $\Pi_{гас}$ – розрахунковий параметр гасіння пожежі, м; m^2 ; m^3 ; $\tau_{гас}$ – час проведення дослідження або гасіння пожежі, с.

Показник інтенсивності подачі вогнегасної речовини широко використовується [32, 79] при проведенні розрахунків сил та засобів під час складання оперативної документації, дослідження пожеж та в інших необхідних випадках.

Найбільш часто в розрахунках використовується [1, 2, 32] поверхнева інтенсивність подачі (за площею пожежі).

Фактична витрата $Q_{\text{ф}}$ вогнегасної речовини показує, скільки її було витрачено під час подавання стволів (генераторів) на гасіння пожежі. Загальну фактичну витрату визначають [32] з урахуванням стволів, що подаються одночасно на гасіння та захист за формулою:

$$Q_{\text{ф}}^{\text{заг}} = Q_{\text{ф}}^{\text{гас}} + Q_{\text{ф}}^{\text{зах}} = \sum N_{\text{пр}} \cdot Q_{\text{пр}},$$

де $N_{\text{пр}}$ – кількість пристроїв (стволів, генераторів) на гасіння та захист; $Q_{\text{пр}}$ – витрата вогнегасної речовини із пристрою, л/с; м³/с; кг/с.

Тому процес гасіння характеризується саме за фактичною витратою вогнегасної речовини, яка, у порівнянні з подібними за виглядом та класом пожежами, дозволяє оцінити роботу керівника гасіння пожежі (КГП) та пожежних підрозділів. Зниження потрібної витрати служить одним із показників успішності гасіння пожежі.

Причинами втрат вогнегасних речовин можуть бути відсутність видимості зони горіння через задимлення, вплив високої температури як на вогнегасну речовину, призводячи до її руйнування, так і на ствольника, який не може наблизитися до зони горіння на необхідну для ефектної роботи відстань; відхилення струменів вогнегасних речовин газовими потоками або вітром, наявність у зоні горіння прихованих поверхонь горючого матеріалу від впливу вогнегасної речовини і т.п. Крім того, втрати вогнегасних речовин залежать від досвіду роботи ствольника, виду і технічного рівня засобів подачі, оснащеності пожежно-рятувальних підрозділів та ін. [13, 39, 40].

Аналіз гасіння пожеж показує, що фактичні витрати води під час гасіння пожеж у будівлях цивільного і промислового призначення можуть перевищувати нормативні показники.

Гасіння пожежі відбувається грамотно, в оптимальний період часу, з мінімальними витратами вогнегасних речовин, якщо виконуються умови:

$$Q_{\text{ф}}^{\text{заг}} \geq Q_{\text{потр}}^{\text{заг}},$$
$$I_{\text{ф}} \geq I_{\text{потр}}.$$

На основі цих формул визначають інтенсивність подачі вогнегасної речовини, яка широко використовується при проведенні розрахунків сил

та засобів під час складання оперативної документації, дослідження пожеж та в інших необхідних випадках:

$$I_{в.р} = \frac{Q_{в.р}}{\tau_{гас}}$$

Інтенсивність подачі вогнегасних речовин перебуває у функціональній залежності від часу гасіння пожежі. Чим менше інтенсивність подачі вогнегасних речовин, тим більше потрібний час для гасіння пожежі [101]. За умов подавання вогнегасної речовини з максимально можливою інтенсивністю час гасіння наближається до нуля. Типова залежність між інтенсивністю подавання вогнегасної речовини та часом гасіння пожежі має вигляд гіперболи (рис. 1.2) із двома асимптотами, що відповідають мінімальній інтенсивності та мініимальному часу подавання вогнегасної речовини [3, 26].

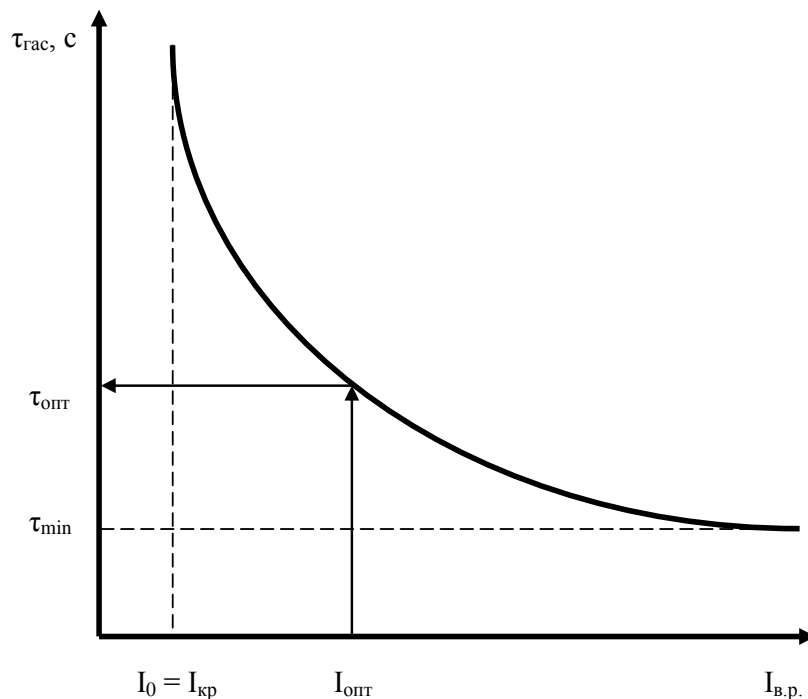


Рис. 1.2 – Загальна залежність часу гасіння деревини від інтенсивності подавання води

Для різних видів вогнегасних засобів характер зміни зберігає подібну залежність. Область інтенсивності подачі від нижньої до верхньої межі називається областю гасіння. Всі значення інтенсивності, що лежать у цій області, можуть застосовуватися для гасіння. Це дає можливість КГП широко маневрувати наявними в його розпорядженні силами і засобами пожежогасіння. У довідковій літературі [32, 79, 82] необхідна інтенсивність подачі вогнегасних речовин відповідає її оптимальним значенням для тих чи інших горючих речовин та матеріалів і називається нормативною або розрахунковою.

Необхідна інтенсивність подачі вогнегасної речовини навіть для одного й того ж виду пожежного навантаження змінюється в широких межах і залежить від коефіцієнта поверхні горіння, щільності самого пожежного навантаження та ін.

КГП повинен враховувати і той факт, що на інтенсивність подачі вогнегасних речовин впливає розташування пожежного навантаження по площі приміщення і по його висоті.

У практиці пожежогасіння доцільно використовувати такі інтенсивності подачі вогнегасних речовин, які можуть бути реалізовані існуючими технічними засобами подачі та забезпечують ефективність гасіння з мінімальними витратами вогнегасних речовин і за оптимальний час [82].

Дослідним шляхом було встановлено [18, 19, 26, 44, 45], що зменшення розмірів крапель до 100 мкм суттєво впливає на підвищення ефективності гасіння вогню та зменшення витрат води. Раніше проводились розробки [49, 70, 71] над розпилювачами з вихідними соплами спеціальної конструкції, які подрібнювали вогнегасну рідину на виході. Проте такий спосіб реалізації способу тонкого розпилу не завжди дає бажаний ефект, і зазначений напрям не набув розвитку. На зміну цим розпилювачам прийшли інші, в яких реалізовувався спосіб взаєморозбивання потоків рідин [50], оскільки застосування цього способу потребує набагато нижчих напорів водоживильника; при цьому діаметр крапель на виході став набагато меншим [95]. Також має місце розробка ультразвукових випромінювачів, які дають можливість отримувати краплі діаметром до 1 мкм. Розвитку набувають роботи по створенню пристроїв формування газорідинної суміші, які забезпечують подачу попередньо подрібненої ВГР до розпилювача. Зовсім недавно було запропоновано [51] ще один спосіб попереднього подрібнення, а саме подрібнення за допомогою завихрювального насадка перед сифонною трубкою, яка веде з ємності вогнегасної рідини. Комплексне застосування цих способів дозволило зменшити діаметр краплі, знизити необхідний робочий тиск на пристрої та збільшити ефект гасіння.

За способом гасіння пожеж системи водопостачання міста в цілому і будівель окремо поділяються на дві категорії [57]:

- системи низького тиску, в яких вода через гідранти зовнішньої водопровідної мережі подається автонасосами пожежних машин (тиск у зовнішній водопровідній мережі у будь-якого пожежного гідранта повинен бути не менше 10 м над поверхнею землі);
- системи високого тиску повинні забезпечити не тільки подачу збільшених нормативних пожежних витрат води, але і підвищити тиск до значень, достатніх для створення пожежних струменів за умов забору води безпосередньо з гідранта [102].

Системи пожежогасіння постійного високого тиску можуть викликати значні перевитрати електроенергії й тому у водопостачанні застосовуються рідко. Системи пожежогасіння тимчасового високого тиску застосовуються на деяких промислових підприємствах і в житлових та громадських висотних будівлях.

За способом боротьби з пожежами з використанням води виділяють три групи будівель [35, 66, 67, 74, 75, 76]:

- з локалізацією вогню і пожежогасіння, в яких здійснюється подача води безпосередньо з гідрантів зовнішньої водопровідної мережі автономними пожежними командами;

- з локалізацією вогню, в яких здійснюється подача води з пожежних кран-комплектів внутрішнього водопроводу, а пожежогасіння (остаточне) – з гідрантів зовнішньої мережі; для локалізації вогню достатньо витрат 2,5–5,0 л/с;

- будівлі, висотою більше величини напору, що розвивається насосами пожежних автомобілів ($H > 50$ м), тому повне пожежогасіння в них здійснюється із системи внутрішнього водопроводу і витрати води пожежних кран-комплектів повинні бути збільшені до декількох струменів по 5 л/с. Ця система є системою високого тиску.

Витрата води та кількість струменів на внутрішнє пожежогасіння у громадських і виробничих будівлях (незалежно від категорії) висотою понад 50 м і об'ємом до 50 тис. м³ приймаються: 4 струмені по 2,5 л/с кожна; в разі більшого обсягу будівель – 8 струменів по 2,5 л/с кожна [15, 20].

Таким чином, за умов висоти будівлі вище значення максимального напору, який можуть розвинути пожежні автономні насоси, внутрішній водопровід повинен забезпечити такі самі витрати води, як і в зовнішній мережі [7, 8, 29].

У зв'язку із застосуванням нових матеріалів з'явилися вимоги [15, 20] стосовно подачі води в залежності від вогнестійкості будівельних матеріалів:

- в будівлях із спорудах з деревоклеєних конструкцій або незахищених несучих металевих конструкцій витрату води на внутрішнє пожежогасіння слід збільшувати на 5 л/с (один струмінь);

- у випадку застосування огорожувальних конструкцій з полімерними утеплювачами [97] – на 10 л/с (два струмені по 5 л/с кожна); крім того, в цих будівлях збільшуються витрати на 5 л/с в разі зростання об'єму будівлі на кожні повні або неповні 100 тис. м³ [96].

Для частин житлових висотних будівель або приміщень іншого призначення необхідність влаштування внутрішнього протипожежного водопроводу визначається [15, 20] для кожної частини окремо в залежності від поділу будівлі протипожежними стінами. Розрахункові витрати у водопровідній системі приймаються за найбільшою нормою частини

будівлі, а якщо приміщення не відокремлені – за загальним об'ємом будівлі й більш небезпечною категорією за пожежною безпекою.

Пожежа поширюється, як правило, по горизонталі в межах поверху і по вертикалі з поверху на поверх, тому водопровідна мережа повинна охоплювати приміщення, розташовані вище і нижче поверху, а поряд із залами різного призначення – на 2–3 поверхи [109].

ПКК як елемент системи внутрішнього пожежогасіння повинен відповідати нормативним вимогам.

Влаштування ПКК повинно сприяти локалізації загоряння у квартирі безпосередньо мешканцями та запобігти поширенню вогню до прибуття пожежного розрахунку. Необхідною умовою для роботи такої системи є наявність водопровідної мережі з відповідним тиском. Місце розташування пристрою визначають виходячи з довжини рукава. Її має вистачити на те, щоб дотягнути розпорошувач до найвіддаленішого кута квартири із врахуванням 3 м на довжину струменя за умов проектного тиску. В [15, 20, 68] викладені основні вимоги до облаштування ПКК. Відповідно до цих вимог ПКК комплектуються рукавом (довжина рукава – до 30 м; діаметр рукава – 19 мм, 25 мм або 33 мм, тип рукава – напівжорсткий), розпорошувачем (діаметр випускного отвору розпорошувача – 4–12 мм).

До переваг ПКК відносять невеликі габарити – пристрій досить компактно складається, майже непомітний в інтер'єрі й не порушує дизайну приміщення, а також простоту в експлуатації – навчання застосуванню ПКК під час пожежі мешканцями оселі не є складним. Оснащення ПКК спеціальними насадками розпорошувачів дозволяє створювати дрібнодисперсний струмінь води, який мінімально пошкоджує предмети інтер'єру та побуту, а отже і зменшує збитки від пожежі. На відміну від автоматичних систем пожежогасіння, струмінь води спрямовується безпосередньо в осередок, що не призводить до перевитрати води. Гнучкий рукав комплекту дозволяє обійти всі предмети меблювання, що зустрічаються на шляху. Установка запірною пристрою дозволяє перервати роботу в будь-який момент і відновити її за необхідності. Вартість вогнегасної речовини – води, – як і самої установки, є невеликою.

Вимоги до вибору характеристик обладнання ПКК діаметром 50 мм (або 65 мм) викладені у відповідних пунктах [20]. При виборі параметрів враховують тип приміщення, його конструктивні характеристики (висоту, ширину, довжину та об'ємно-планувальні особливості), пожежну безпеку будівлі (ступінь вогнестійкості, категорію за вибухопожежною та пожежною безпекою) [99]. Для цього наведено відповідні вказівки, таблиці. Для ПКК діаметром 19 мм, 25 мм та 33 мм таких характеристик та чітких вимог до їх вибору немає. Це викликає у проектувальників проблеми в разі прийняття рішення про комплектацію ПКК [94], задачею якого є забезпечити успішне гасіння пожежі в найкоротший термін.

1.3 Огляд наукових праць, присвячених окремим аспектам гасіння пожеж у висотних житлових будівлях та улаштуванню систем внутрішнього водопостачання

Шляхи підвищення ефективності використання внутрішнього водопроводу під час гасіння пожеж, які розглядаються в дисертаційних дослідженнях [24, 24, 28, 41, 46, 76, 80], спрямовані на вирішення питань зменшення часу подачі пожежно-технічного обладнання на верхні поверхи будівель [24, 25], вдосконалення тактики гасіння з використанням конструктивних особливостей будівель [21, 30, 31, 76], тобто – на гасіння пожеж у будівлях із використанням насосно-рукавних систем. Однак такий підхід дає ряд обмежень у реалізації напрямів мінімізації часу початку гасіння пожежі.

Велика увага в літературі приділяється реновації внутрішньої водопровідної мережі [110–115, 117], оскільки надійність систем пожежо-гасіння в значній мірі залежить від пропускної спроможності водопроводів.

У роботах [9, 81] на основі результатів статистичного аналізу характеристики пожеж у будівлях підвищеної поверховості розроблено вимоги до технічних засобів, методики аналізу їх якості та визначено шляхи їх подальшого вдосконалення. Проведені дослідження спрямовані на вирішення існуючих проблем пожежної безпеки будівель підвищеної поверховості.

Розроблено методику аналізу та синтезу мереж внутрішнього протипожежного водопроводу з урахуванням перепаду висот подачі стволів на гасіння пожежі. Методика підтверджена натурним експериментом і дозволяє для існуючої системи протипожежного водопостачання оцінити її відповідність нормативним вимогам за різних термінів експлуатації та роботи в аварійних умовах і приймати обґрунтовані рішення про необхідність модернізації [7, 8].

Інший напрям досліджень полягає у створенні пристроїв із можливістю отримання дрібнодисперсної води, яка має підвищену вогнегасну здатність [18, 19]. Для реалізації цього напрямку автори нових технічних рішень пропонують:

- змінити конструкцію пожежного ствола для отримання розпиленого струменя [49];
- зменшувати розмір крапель водяного струменя з пожежного ствола за рахунок використання ультразвуку [51];
- створювати додаткове завихрення водяного потоку [50] та ін.

Однак в умовах внутрішнього водопроводу, під час гасіння пожежі, завдяки обмеженості гідравлічних характеристик системи, не всі пропозиції можливі для реалізації.

Забезпечення ефективного гасіння і захист об'єктів пожежогасіння з використанням мінімальної кількості вогнегасних речовин (ВР) проведено у працях [53, 63]; було отримано аналітичні вирази, що дозволяють будувати траєкторії руху струменів вогнегасної речовини [106].

У роботі [18] отримано формули для розрахунків граничної дальності подавання дрібнодисперсних рідких вогнегасних речовин, які випаровуються у процесі доставки до місця горіння.

У працях [1, 9] наведено результати загального аналізу факторів, що негативно впливають на експлуатацію системи внутрішнього протипожежного водопостачання в будівлях з умовною висотою вище 73,5 м. Розглянуто вітчизняний та зарубіжний досвід експлуатації систем внутрішнього водопроводу висотних будівель. Обґрунтовано інженерні заходи для зменшення біологічного заростання внутрішнього водопроводу у висотних будівлях.

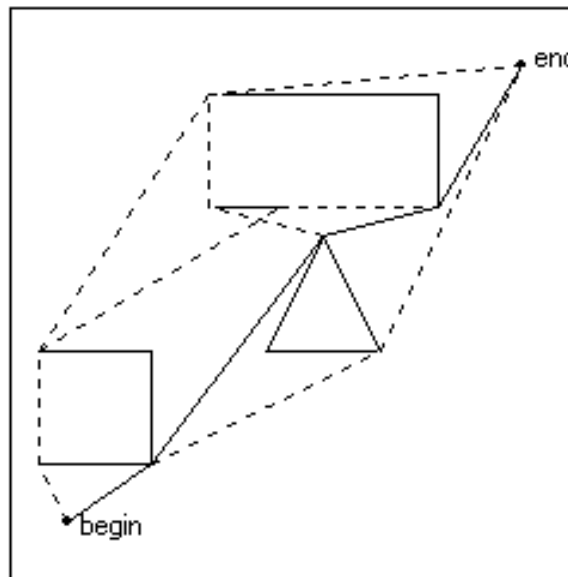
У процесі проектування розміщення ПКК слід зважувати на необхідність такого його розташування (у тому випадку, коли є декілька варіантів), яке забезпечує можливість доставки води в будь-яку точку приміщення за умов найкоротшої довжини рукава.

Зазначена задача може розглядатися як задача оптимального трасування [16, 69] і більш широко – як задача дослідження операцій [78]. Стосовно пожежної безпеки вказані методи застосовувались у роботі [16] у випадку прокладання раціональної траєкторії руху аварійно-рятувальної техніки для однорідної та неоднорідної областей (рис. 1.3). Наведену в ній модель можна використовувати лише для знаходження найкоротшого шляху між будівлями (незв'язних опуклих об'єктів). При цьому рішення може бути знайдене прямим перебором можливих варіантів.

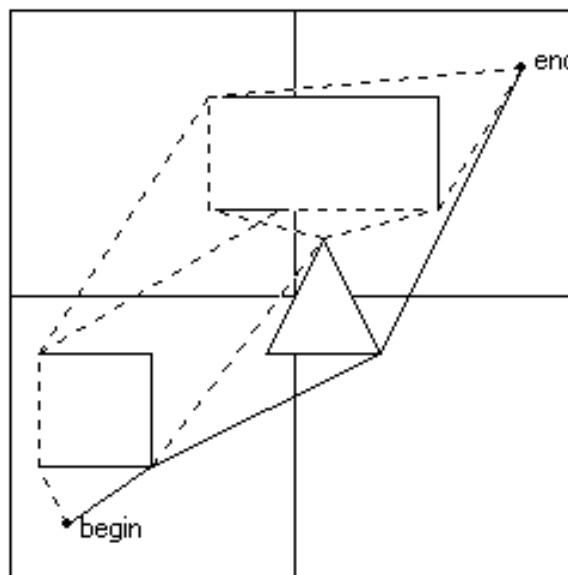
В роботі [36] та інших роботах вказаних авторів побудовано модель парето-оптимальної множини допустимих місцерозташувань пожежних гідрантів. Модель стосується не внутрішнього, а зовнішнього протипожежного водопостачання. Окрім того, вона є розв'язком оберненої задачі – для заданої довжини рукавної лінії шукається місцерозташування точки підключення, на відміну від необхідності розв'язку задачі відшукування мінімально допустимої довжини рукава, в разі відомого місцерозташування точки підключення.

Крім того, запропонований підхід [36] до визначення надійності систем протипожежного водопостачання дозволить зменшити шкоду від можливих пожеж за рахунок вибору оптимальних, з точки зору надійно-

сті, параметрів систем протипожежного водопостачання у процесі проектування або оновлення районів міст.



a)



б)

Рис. 1.3 – Приклад результату розв'язання задачі визначення раціональної траєкторії руху аварійно-рятувальної техніки для однорідної та неоднорідної областей згідно [16]

В той же час у літературі відсутні дослідження, що стосувались би знаходження мінімально допустимої довжини рукава пожежного кран-комплекту всередині приміщення довільного планування.

РОЗДІЛ 2

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ ПАРАМЕТРІВ ПОЖЕЖНИХ КРАН-КОМПЛЕКТІВ НА ФАКТИЧНІ ВИТРАТИ ВОДИ

2.1 Проведення експериментального дослідження для побудови моделі фактичних витрат води в залежності від основних впливаючих параметрів

Кількість води, яку фактично можна одержати з ПКК, залежить від декількох характеристик водопровідної мережі, до якої ПКК приєднаний, а також від характеристик складових самого ПКК. Комплектування ПКК відбувається за вимогами [68], а саме: довжина рукава – до 30 м, діаметр рукава – 19 мм, 25 мм або 33 мм, тип рукава – напівжорсткий, діаметр випускного отвору розпорошувача – $4 \div 12$ мм. Але виробники найчастіше комплектують ПКК плоскозгорнутими рукавами довжиною близько 15 м [104] з розпорошувачем, оснащеним пристроєм плавної зміни діаметра випускного отвору, які мають інші значення опору та відповідно впливають на втрати напору у складових ПКК та фактичну кількість води, що з нього можна одержати.

Для прийняття обґрунтованого рішення щодо характеристик складових ПКК, в залежності від умов їх використання на стадії проектування та експлуатації, доцільно експериментально (з використанням теорії планування експерименту) визначити фактичну кількість води з ПКК при всіх можливих варіантах його підключення та оснащення.

Вибір факторів, які впливають на фактичні витрати води з ПКК, та інтервали їх варіювання, здійснено виходячи з варіантів характеристик ПКК та водопровідної мережі [55, 59, 62, 63, 64]. Досліджувався вплив чотирьох параметрів – тиску в мережі P (м), ступеня розгортання рукава s (%), діаметра d (мм) випускного отвору розпорошувача (насадка) та довжини рукава l (м) на витрати води q (л/с) за допомогою установки, схему якої наведено на рис. 2.1. У процесі проведення експерименту рукав приєднувався до трубопроводу водопровідної мережі, в якому тиск змінюється в межах $0,018 \div 0,854$ МПа [93]. Для забезпечення можливості зміни тиску в мережі до схеми включається насос 3. Для виміру витрат води використовується лічильник води 4.

Дослідження (рис. 2.2) склалися з двох серій експериментів для двох типів рукавів – напівжорстких (НЖР) та плоскозгорнутих (ПЗР). Для кожної серії під час проведення експерименту було використано стандартну план-матрицю для центрального композиційного рототабельного уніформ-плану, на основі якого було отримано поліноміальні залежності другого порядку в безрозмірному (для кодovаних параметрів), а потім – у розмірному (для натуральних параметрів) вигляді. Для визначення коефіцієнтів при квадратичних членах було використано план-матрицю пов-

ного факторного експерименту та проведено додаткові експерименти у зоряних точках для всіх чотирьох факторів. При цьому зоряне плече $\alpha=1,41$ у дворівневому експерименті для кожного з чотирьох факторів [17, 23, 27, 34, 77].

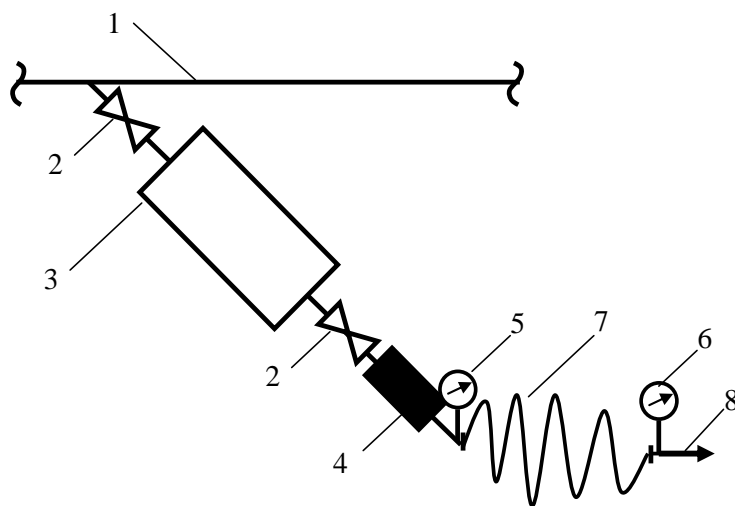


Рис. 2.1 – Схема установки для експериментального дослідження фактичних витрат води з ПКК:

1 – водопровідна мережа; 2 – засувка; 3 – насос; 4 – лічильник води; 5, 6 – манометри; 7 – рукав; 8 – розпорощувач

Необхідна кількість дослідів склала $N=25$, за кількості факторів $k=4$ та кількості дослідів у центрі плану $n_0=1$.







В таблиці 2.1 наведено відомості про рівні варіювання факторів під час проведення експерименту для двох варіантів підключення ПКК (перший варіант – встановлення ПКК у квартирі та підключення його до господарсько-питного водопроводу (ГПВ); другий варіант – встановлення ПКК у шафі та його підключення до внутрішнього протипожежного водопроводу (ВПВ)); при цьому границі змін факторів приймалися виходячи з вимог нормативних документів, пропозицій виробників відповідного обладнання, умов реального використання ПКК у квартирах висотних житлових будівель та умов лабораторії.

Вимірювання витрат води з ПКК відповідно стандартної план-матриці експерименту (табл. 2.2) проводяться при всіх можливих комбінаціях рівнів факторів (тиск у мережі, ступінь розгортання ПЗР або прямолінійність прокладання для НЖР, діаметр насадка розпорошувача, довжина рукава для рукавів діаметром 19 мм, 25 мм та 33 мм). При цьому для кожного дослідження фіксувалися показання манометрів 5 та 6 (рис. 2.1) та показання лічильника води 4, що дозволило визначити за різницею показань манометрів втрати напору в рукаві, а за лічильником – відповідні їм витрати води, що можливо фактично одержати для гасіння пожежі з ПКК.

Таблиця 2.1 – Рівні варіювання факторів

Інтервал варіювання та рівень факторів	Тиск Р у мережі, м, у разі приєднання до:		Ступінь розгортання рукава, %	Діаметр насадка розпорошувача, мм	Довжина І рукава, м
	ГПВ	ВПВ			
Нульовий рівень $x_i = 0$	23	50	60	9	21
Інтервал варіювання	15	25	28	3	6
Нижній рівень $x_i = -1$	8	25	32	6	15
Верхній рівень $x_i = +1$	38	75	88	12	27
Зоряні точки $x_i = -1,41421$ $x_i = 1,41421$	1,8	14,6	20,4	4,8	12,5
	44,2	85,4	99,6	13,2	29,5
Кодове позначення	x_1		x_2	x_3	x_4

Таблиця 2.2 – План-матриця експерименту визначення фактичних витрат води з ПКК

№ досліджу	x_1	x_2	x_3	x_4
2	+1	+1	+1	-1
3	+1	+1	-1	+1
4	+1	+1	-1	-1
5	+1	-1	+1	+1
6	+1	-1	+1	-1
7	+1	-1	-1	+1
8	+1	-1	-1	-1
9	-1	+1	+1	+1
10	-1	+1	+1	-1
11	-1	+1	-1	+1
12	-1	+1	-1	-1
13	-1	-1	+1	+1
14	-1	-1	+1	-1
15	-1	-1	-1	+1
16	-1	-1	-1	-1
17	0	0	0	0
18	1,41421	0	0	0
19	-1,41421	0	0	0
20	0	1,41421	0	0
21	0	-1,41421	0	0
22	0	0	1,41421	0
23	0	0	-1,41421	0
24	0	0	0	1,41421
25	0	0	0	-1,41421

Обробка результатів вимірювань (табл. 2.3) дозволила визначити коефіцієнти рівняння регресії (для кодованих параметрів), які перевірялися на значущість за критерієм Ст'юдента. Перевірка адекватності моделі здійснюється за критерієм Фішера.

На основі проведених досліджень отримано дані для витрат води, що приведені в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Результати визначення фактичних витрат води

Умови	Діаметр рукава, мм									
	19		25				33			
Мережа	ГПВ		ГПВ		ВПВ		ГПВ		ВПВ	
Рукав	ПЗР	НЖР	ПЗР	НЖР	ПЗР	НЖР	ПЗР	НЖР	ПЗР	НЖР
№	Витрати води, л/с									
1	0,74	0,81	2,3	2	2,95	2,8	3,1	3,4	3,8	3,95
2	0,77	0,83	2,35	2,1	3	2,85	3,3	3,6	3,9	4,1
3	0,6	0,66	0,6	0,3	1,6	1,3	1,5	1,3	2,7	2,75
4	0,68	0,7	0,7	0,4	1,7	1,4	1,7	1,5	2,85	2,9
5	0,64	0,57	2,25	1,8	2,8	2,6	3	3,2	3,5	3,8
6	0,69	0,6	2,3	1,9	2,9	2,7	3,05	3,35	3,6	3,9
7	0,58	0,36	0,6	0,2	1,3	1,2	1,4	1,1	2,5	2,7
8	0,61	0,42	0,7	0,25	1,4	1,25	1,45	1,2	2,55	2,85
9	0,34	0,36	1,0	0,9	1,7	1,5	1,2	1,2	2,2	2,1
10	0,38	0,4	1,0	0,95	1,75	1,6	1,25	1,25	2,3	2,2
11	0,22	0,3	0,3	0,2	0,8	0,6	0,7	0,7	1,3	1,15
12	0,26	0,32	0,32	0,25	0,9	0,65	0,8	0,8	1,7	1,45
13	0,35	0,31	0,5	0,7	1,65	1,3	1,1	0,9	2,05	1,9
14	0,36	0,33	0,6	0,75	1,75	1,4	1,15	0,95	2,2	2,0
15	0,23	0,15	0,25	0,1	0,8	0,5	0,6	0,6	1,1	1,1
16	0,25	0,16	0,3	0,15	0,9	0,55	0,68	0,65	1,25	1,2
17	0,47	0,63	1,15	0,85	2,1	1,5	2,6	2,9	3,1	3,2
18	0,74	0,78	2,3	2,2	3,2	3	2,9	3,2	4,1	4,35
19	0,2	0,3	0,05	0,05	1,4	1,1	0,9	0,9	2,2	2,5
20	0,5	0,7	1,4	1,4	1,6	1,55	2,65	3,0	3,2	3,35
21	0,45	0,6	1,3	1,1	1,5	1,4	2,4	2,6	3	3,15
22	0,58	0,8	1,75	1,7	2,75	2,4	3,0	3,25	3,4	3,45
23	0,44	0,3	0,1	0,06	0,4	0,35	1,15	0,95	2,5	2,6
24	0,47	0,61	1,4	1,3	1,7	1,48	2,5	2,8	3,0	3,1
25	0,49	0,65	1,6	1,5	1,8	1,53	2,7	3	3,15	3,3

2.2 Побудова і аналіз математичних моделей фактичних витрат води з ПКК

Обробка результатів експерименту виконувалась за допомогою програмного продукту «Планування експериментів» (рис. 2.2), розробленого кафедрою інформатики ХНУБА.

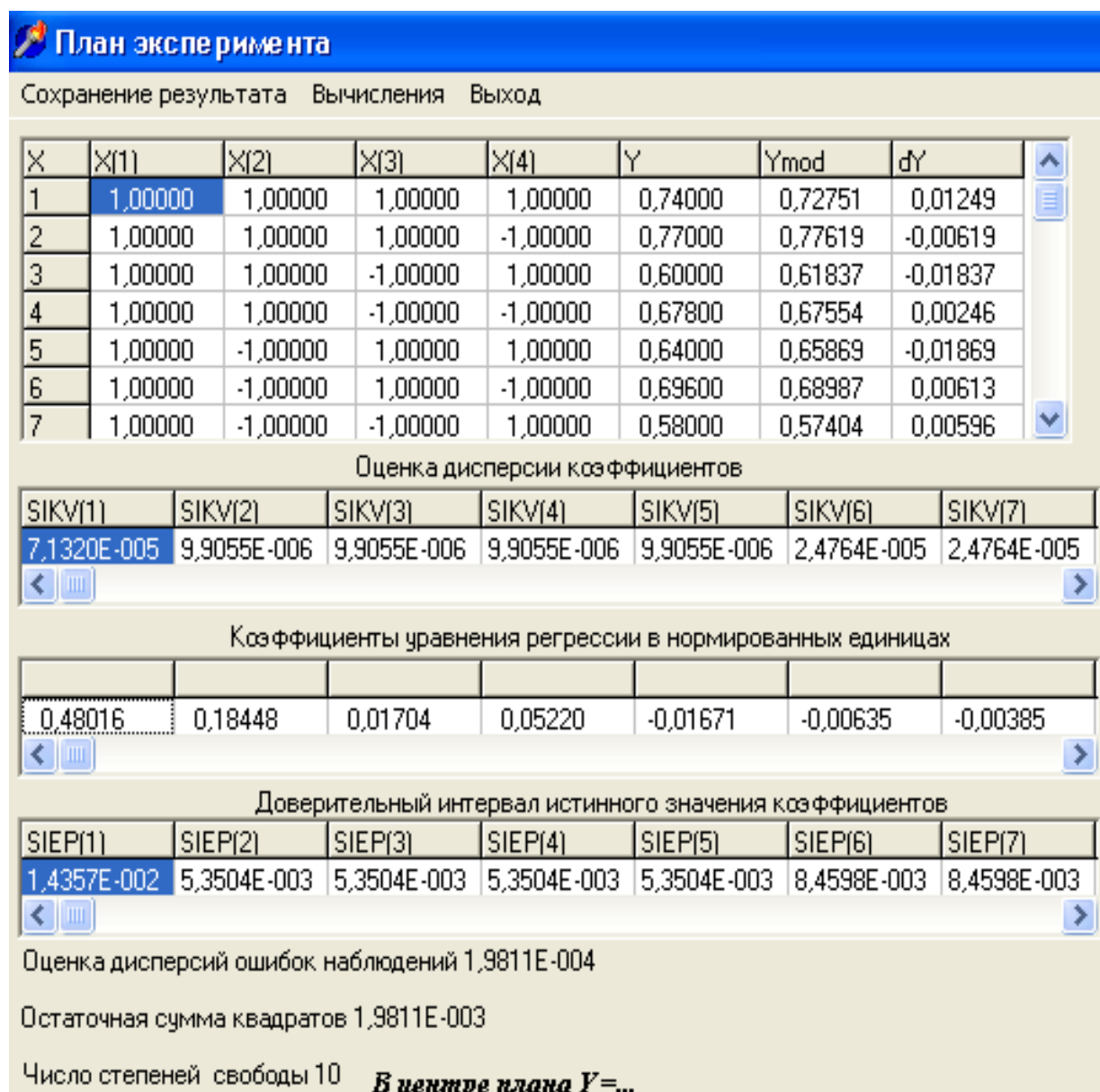


Рис. 2.2 – Вікно програми «Планування експериментів»

В основу цього програмного продукту покладено стандартні залежності [17], за якими як результати розрахунку визначаються коефіцієнти рівняння регресії, довірчий інтервал істинного значення коефіцієнтів; оцінка дисперсії коефіцієнтів; оцінка дисперсії помилок дослідів; остаточної суми квадратів; кількість ступенів свободи. При цьому виявлено, що не всі взаємодії факторів є значущими.

Обробка результатів вимірювань дозволила визначити коефіцієнти (з одночасною перевіркою їх значущості) рівняння регресії та отримати моделі витрат води з ПКК у вигляді (для кодованих параметрів):

- для ПЗР діаметром 19 мм (підключення можливе лише до ГПВ):

$$y_1 = 0,4802 + 0,1845x_1 + 0,017x_2 + 0,0522x_3 - 0,0167x_4 - 0,0063x_1^2 - 0,0039x_2^2 + 0,0137x_3^2 - 0,0014x_4^2 + 0,0156x_1x_2 - 0,0059x_1x_3 - 0,0054x_1x_4 + 0,0061x_2x_3 - 0,0044x_2x_4 + 0,0021x_3x_4; \quad (2.1)$$

- для НЖР діаметром 19 мм (підключення можливе лише до ГПВ):

$$y_2 = 0,694 + 0,1649x_1 + 0,0811x_2 + 0,0924x_3 - 0,0148x_4 - 0,085x_1^2 - 0,03x_2^2 - 0,08x_3^2 - 0,04x_4^2 + 0,0387x_1x_2 + 0,0125x_1x_3 - 0,0037x_1x_4 - 0,0187x_2x_3 + 0,0013x_3x_4; \quad (2.2)$$

- для ПЗР діаметром 25 мм (підключення до ГПВ):

$$y_3 = 1,3552 + 0,5356x_1 + 0,0606x_2 + 0,5432x_3 - 0,0376x_4 - 0,1158x_1^2 - 0,0283x_2^2 - 0,2407x_3^2 + 0,0467x_4^2 - 0,0544x_1x_2 + 0,2919x_1x_3 - 0,0081x_1x_4 + 0,0581x_2x_3 - 0,0081x_2x_4 + 0,0044x_3x_4; \quad (2.3)$$

- для НЖР діаметром 25 мм (підключення до ГПВ):

$$y_4 = 1,2876 + 0,387x_1 + 0,0962x_2 + 0,591x_3 - 0,0291x_4 - 0,136x_1^2 - 0,0735x_2^2 - 0,2585x_3^2 + 0,0015x_4^2 + 0,0187x_1x_2 + 0,2687x_1x_3 + 0,0063x_1x_4 + 0,0063x_2x_3 - 0,0187x_2x_4 - 0,0187x_3x_4; \quad (2.4)$$

- для ПЗР діаметром 25 мм (підключення до ВПВ):

$$\begin{aligned} y_5 = & 1,936 + 0,4973x_1 + 0,0521x_2 + 0,6212x_3 - 0,0421x_4 + 0,2025x_1^2 - \\ & - 0,1725x_2^2 - 0,16x_3^2 - 0,0725x_4^2 + 0,05x_1x_2 + 0,1375x_1x_3 - \\ & - 0,0187x_2x_3 + 0,0063x_2x_4 + 0,0063x_3x_4; \end{aligned} \quad (2.5)$$

- для НЖР діаметром 25 мм (підключення до ВПВ):

$$\begin{aligned} y_6 = & 1,6216 + 0,5343x_1 + 0,0706x_2 + 0,61x_3 - 0,0335x_4 + \\ & + 0,199x_1^2 - 0,0885x_2^2 - 0,1385x_3^2 - 0,0735x_4^2 + \\ & + 0,1437x_1x_3 + 0,0187x_2x_3 - 0,0063x_3x_4; \end{aligned} \quad (2.6)$$

- для ПЗР діаметром 33 мм (підключення до ГПВ):

$$\begin{aligned} y_7 = & 2,8088 + 0,6924x_1 + 0,0737x_2 + 0,5468x_3 - 0,05316x_4 - \\ & - 0,4805x_1^2 - 0,168x_2^2 - 0,393x_3^2 - 0,1305x_4^2 + 0,0175x_1x_2 + \\ & + 0,28x_1x_3 - 0,0138x_1x_4 - 0,0013x_2x_3 - 0,02x_2x_4 + 0,005x_3x_4; \end{aligned} \quad (2.7)$$

- для НЖР діаметром 33 мм (підключення до ГПВ):

$$\begin{aligned} y_8 = & 3,168 + 0,7426x_1 + 0,1183x_2 + 0,6626x_3 - 0,0591x_4 - 0,5925x_1^2 - \\ & - 0,2175x_2^2 - 0,5675x_3^2 - 0,1675x_4^2 + 0,0063x_1x_2 + 0,4313x_1x_3 - \\ & - 0,025x_1x_4 + 0,0187x_2x_3 - 0,0125x_2x_4; \end{aligned} \quad (2.8)$$

- для ПЗР діаметром 33 мм (підключення до ВПВ):

$$\begin{aligned} y_9 = & 3,464 + 0,6994x_1 + 0,1141x_2 + 0,4436x_3 - 0,0706x_4 - 0,2025x_1^2 - \\ & - 0,2275x_2^2 - 0,3025x_3^2 - 0,24x_4^2 + 0,0125x_1x_2 + 0,05x_1x_3 + \\ & + 0,025x_1x_4 - 0,0187x_2x_3 - 0,0187x_2x_4 + 0,0187x_3x_4; \end{aligned} \quad (2.9)$$

– для НЖР діаметром 33 мм (підключення до ВПВ):

$$y_{10} = 3,678 + 0,8233x_1 + 0,0716x_2 + 0,4526x_3 - 0,0716x_4 - 0,1862x_1^2 - 0,2737x_2^2 - 0,3862x_3^2 - 0,2988x_4^2 - 0,0156x_1x_2 + 0,0781x_1x_3 + 0,0031x_1x_4 + 0,0219x_2x_3 - 0,0156x_2x_4 + 0,0156x_3x_4. \quad (2.10)$$

Аналіз коефіцієнтів (2.1)–(2.10) та аналіз рисунків 2.3–2.4 показав, що фактичні витрати води з ПКК в малій мірі залежать від довжини рукава, а набагато сильніше – від тиску в мережі (має місце майже лінійне зростання). У випадку рівня тиску від 2 м до 44 м (для ГПВ) витрати збільшуються майже в десять разів. Ступінь розгортання рукава за малого діаметра насадка має малий вплив, але за більшого діаметра стає дещо суттєвішою.

Також аналіз рис. 2.3–2.4 демонструє, що моделі (2.1)–(2.10) слід визначати на області $[x_i=-1; x_i=1]$, $i=1,2,3,4$. Поширення їх за межі цієї області призводить до некоректних результатів.

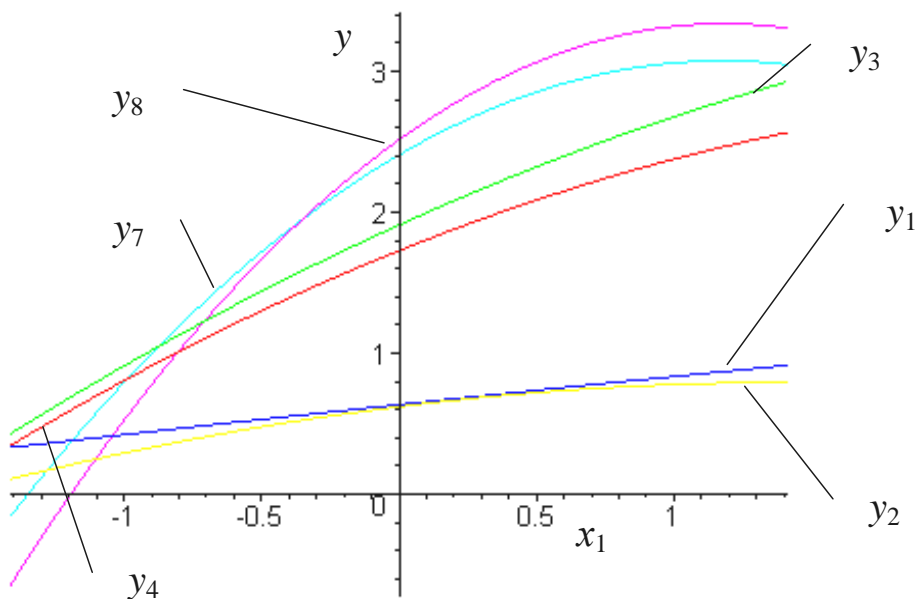


Рис. 2.3 – Залежність фактичних витрат води з ПКК, підключеного до ГПВ водопроводу, від напору в мережі x_1 , за умов ступеня розгортання рукава x_2 та діаметра насадка розпорощувача x_3 на максимальному рівні, а за довжини рукава x_4 – на мінімальному рівні (в зоряних точках)

При переході до натуральних координат і аналізі отриманих графіків (приклад яких наведено на рис. 2.5–2.10) з'ясовано, що за низького тиску (у разі приєднання до ГПВ) і за низького ступеня розгортання ру-

кава (32 %) та діаметра рукава 19 мм витрати води будуть мінімальними (від 0,15 л/с та не більше 0,9 л/с), але напівжорсткий рукав є все ж більш продуктивним, а отже саме його більш доцільно використовувати (впливає з порівняння рис. 2.5,а та 2.5, б).

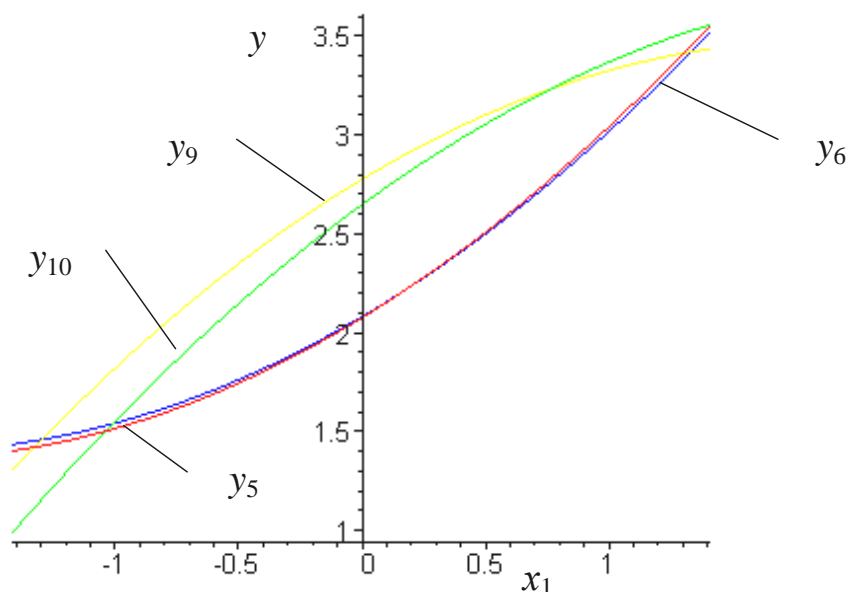
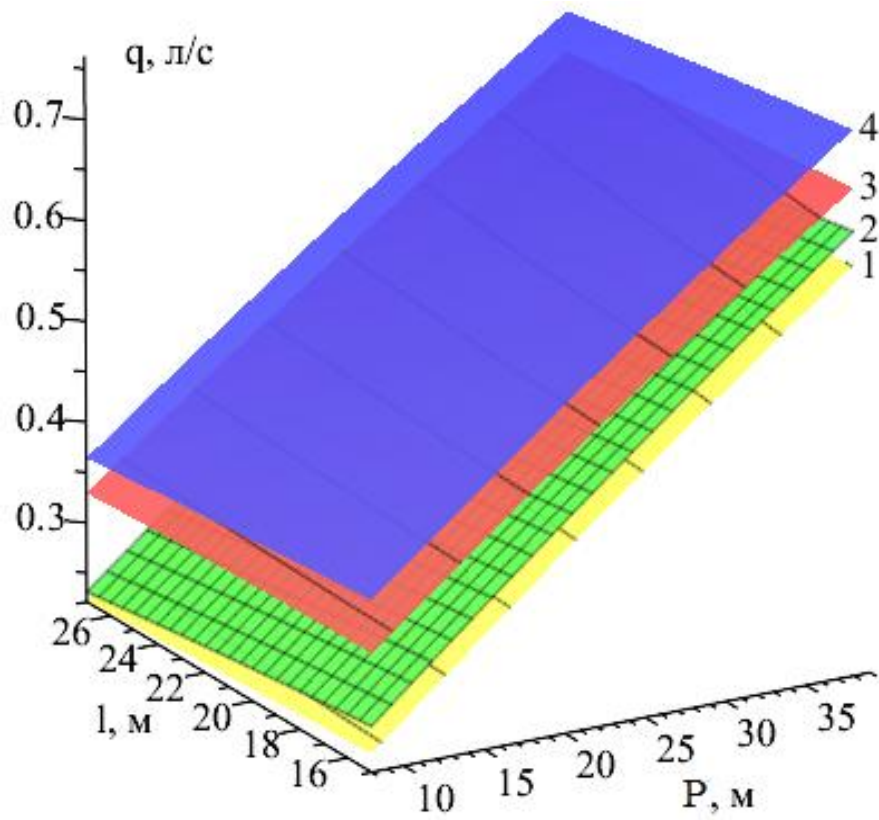


Рис. 2.4 –Залежність фактичних витрат води з ПКК, підключеного до ВПВ, від напору в мережі x_1 , в разі ступеня розгортання рукава x_2 та діаметра насадку розпорощувача x_3 на максимальному рівні, а за довжини рукава x_4 – на мінімальному рівні (в зоряних точках)

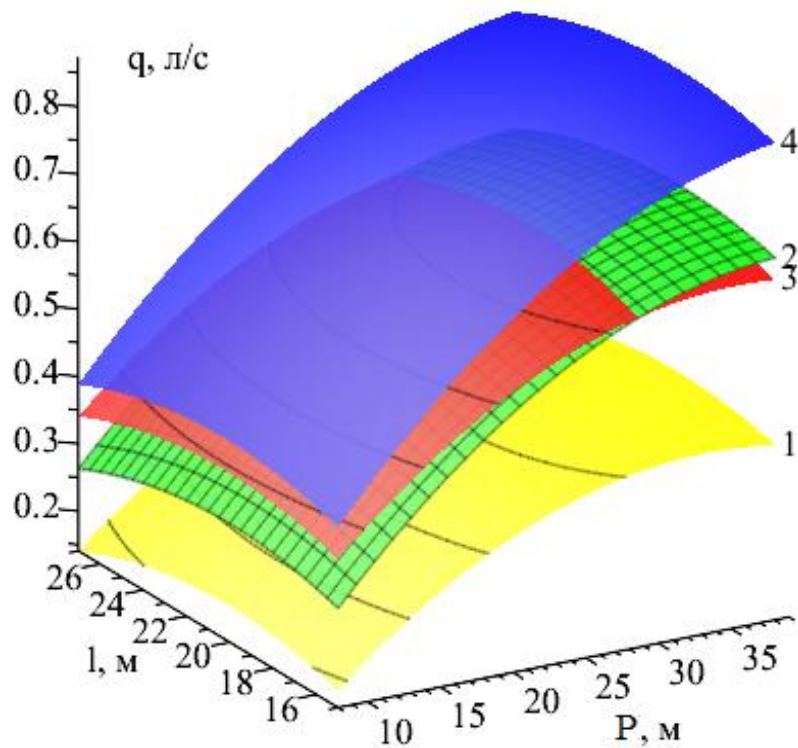
За зростання рівня тиску від 8 м до 75 м різниця у витратах води може зростати більш ніж у 29 разів (мінімальне значення–0,15 л/с (рис. 2.5, б) і максимальне–4,3 л/с (рис. 2.7, б).

За великого тиску (у випадках приєднання до ВПВ), значного ступеня розгортання рукава (88 %) та діаметра рукава 33 мм витрати води будуть максимальними (до 4,3 л/с) і не існує суттєвих відмінностей щодо витрат для рукавів напівжорстких та плоскозгорнутих (впливає з порівняння рисунків 2.7, а та 2.7, б), а отже застосування того чи іншого типу рукава визначається експлуатаційною зручністю.

Також видно, що ступінь розгортання рукава відіграє значно меншу роль у порівнянні з діаметром насадку (порівняння поверхонь 3 і 4 з поверхнями 1 і 2 на рис. 2.6), але зі зростанням діаметра рукава ця відмінність стає не такою суттєвою (рис. 2.7).



а)

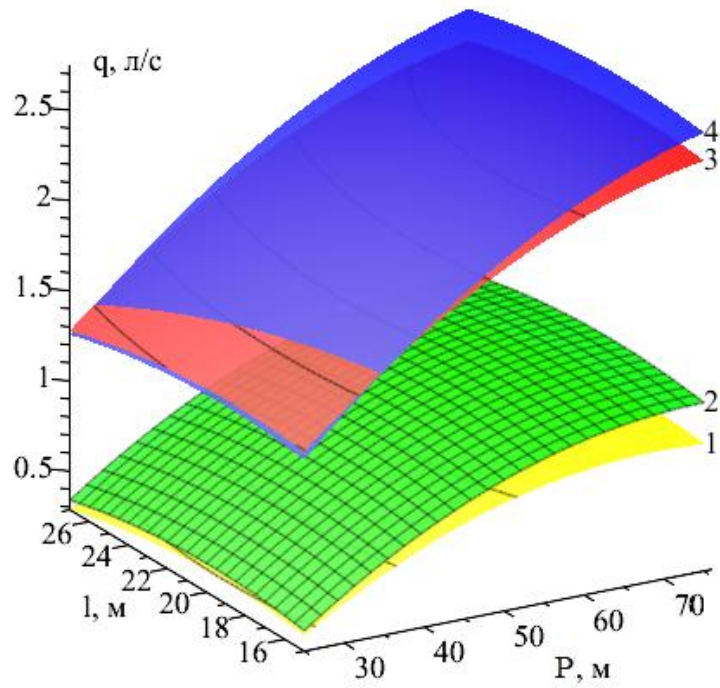


б)

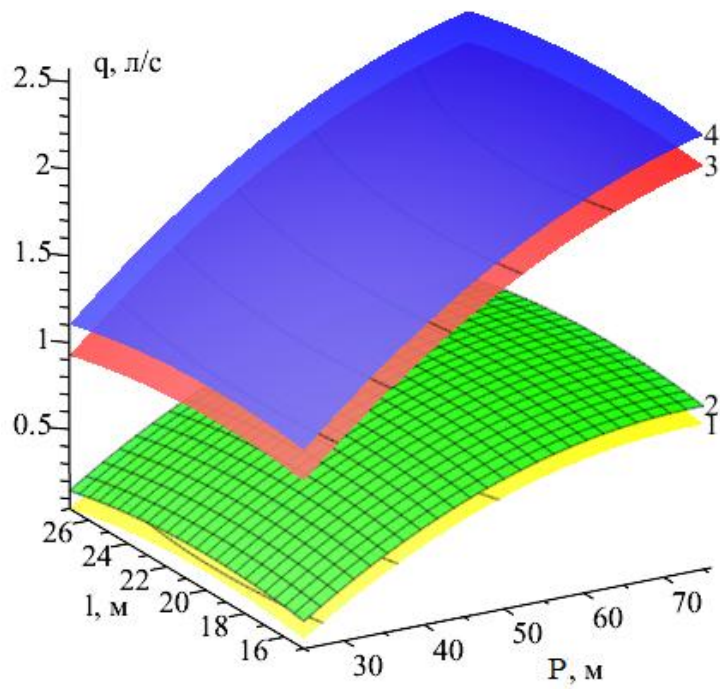
Рис. 2.5 – Залежність витрат води q (л/с) від довжини рукава l (м) та тиску в мережі P (м) у разі підключення до ГПВ рукава діаметром 19 мм:

1 - $s=32\%$, $d=6$ мм; 2 - $s=88\%$, $d=6$ мм; 3 - $s=32\%$, $d=12$ мм; 4 - $s=88\%$, $d=12$ мм.

а) ПЗР; б) НЖР



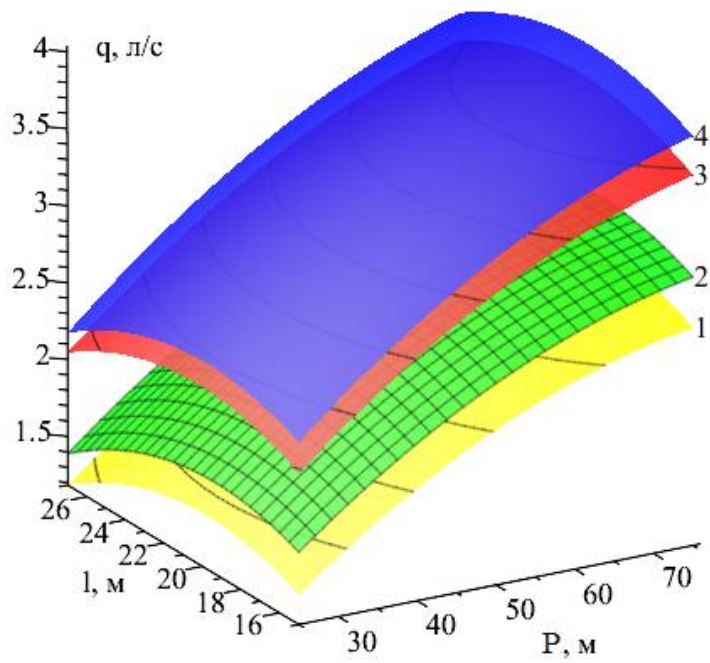
a)



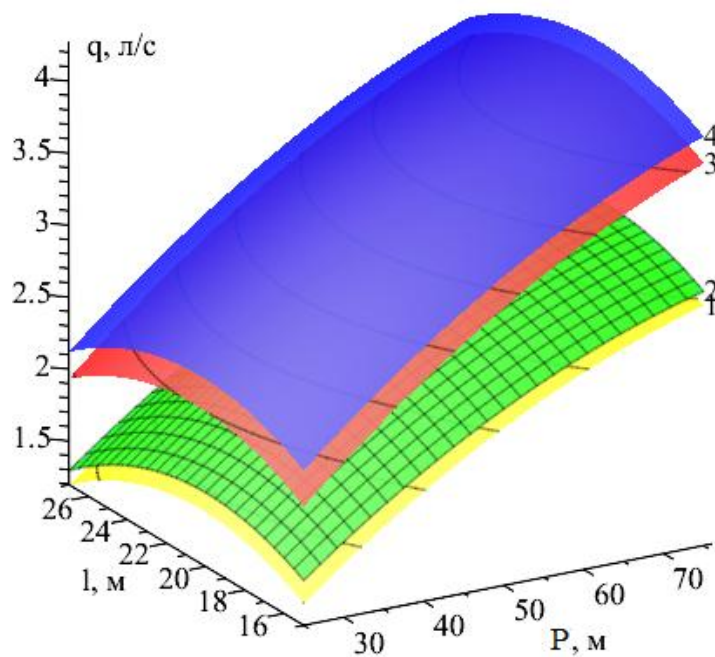
б)

Рис. 2.6 – Залежність витрат води q (л/с) від довжини рукава l (м) та тиску в мережі P (м) у разі підключення до ВПВ рукава діаметром 25 мм:

1 – $s=32\%$, $d=6$ мм; 2 – $s=88\%$, $d=6$ мм; 3 – $s=32\%$, $d=12$ мм; 4 – $s=88\%$, $d=12$ мм. а) ПЗР; б) НЖР



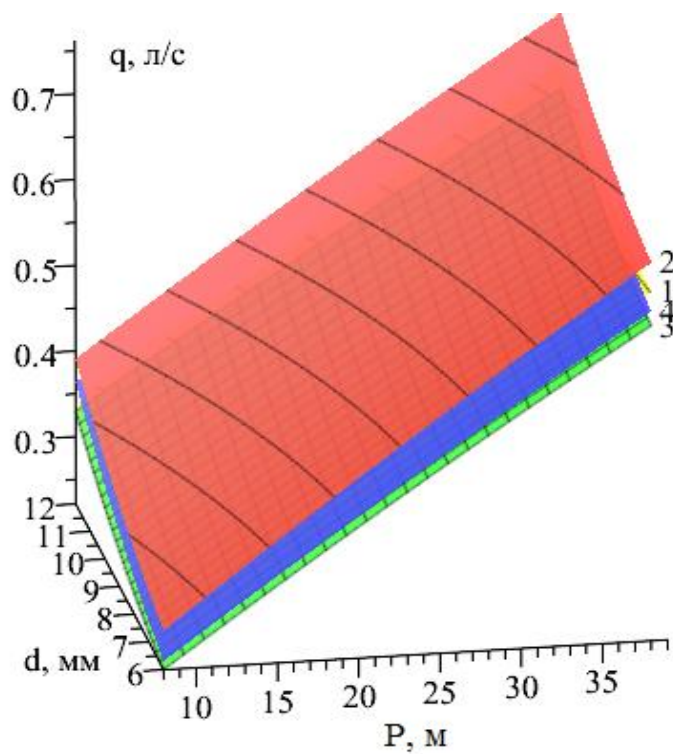
а)



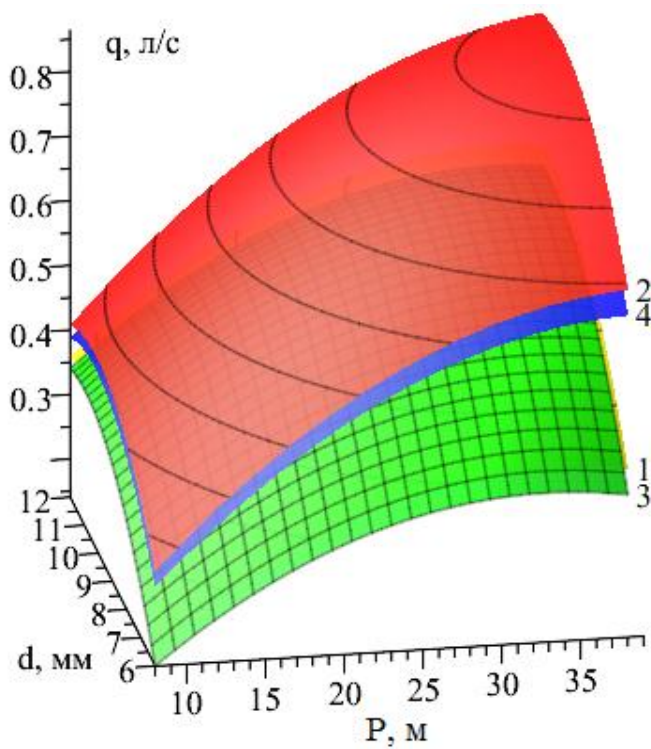
б)

Рис. 2.7 – Залежність витрат води q (л/с) від довжини рукава l (м) та тиску в мережі P (м) у разі підключення до ВПВ рукава діаметром 33 мм:

1 – $s=32\%$, $d=6$ мм; 2 – $s=88\%$, $d=6$ мм; 3 – $s=32\%$, $d=12$ мм; 4 – $s=88\%$, $d=12$ мм. а) ПЗР; б) НЖР



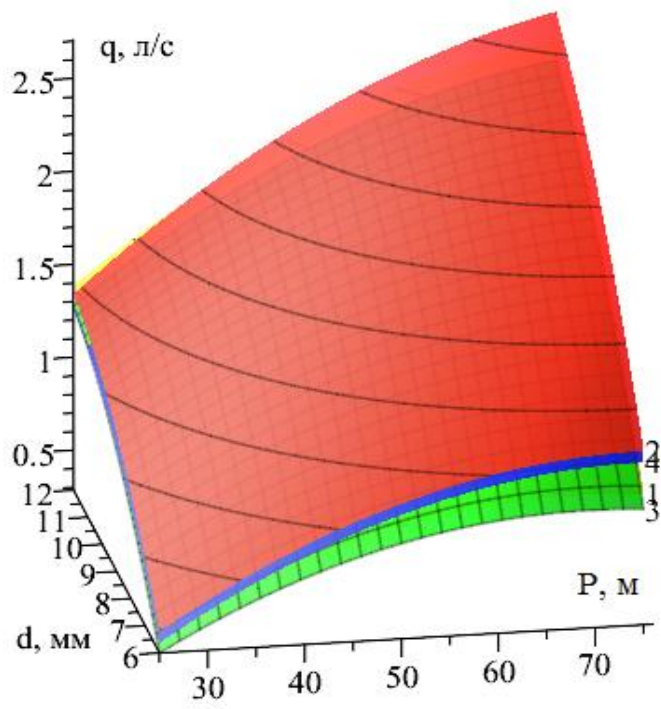
а)



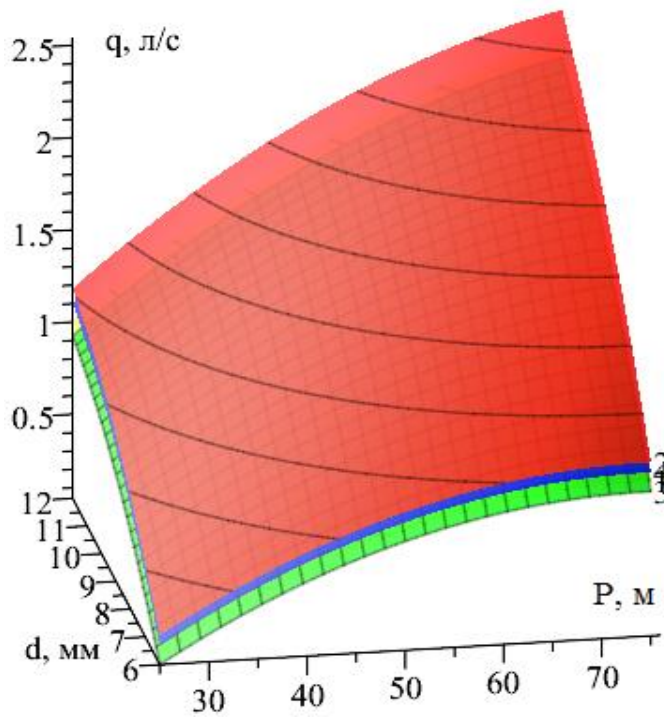
б)

Рис. 2.8 – Залежність витрат води q (л/с) від діаметра насадка d (мм) та тиску в мережі P (м) у випадку підключення до ГПВ рукава діаметром 19 мм:

1 - $l=15$ м, $s=32$ %; 2 - $l=27$ м, $s=32$ %; 3 - $l=15$ м, $s=88$ %; 4 - $l=27$ м, $s=88$ %. а) ПЗР; б) НЖР



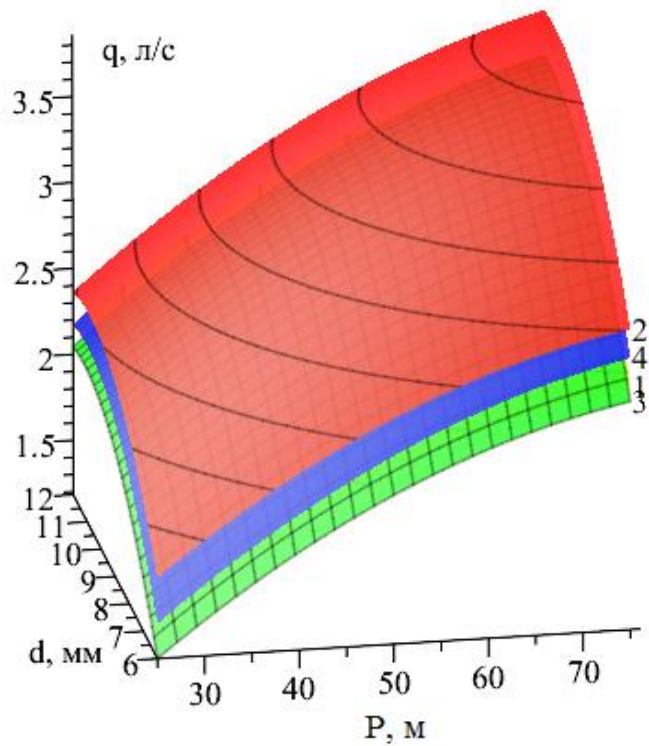
a)



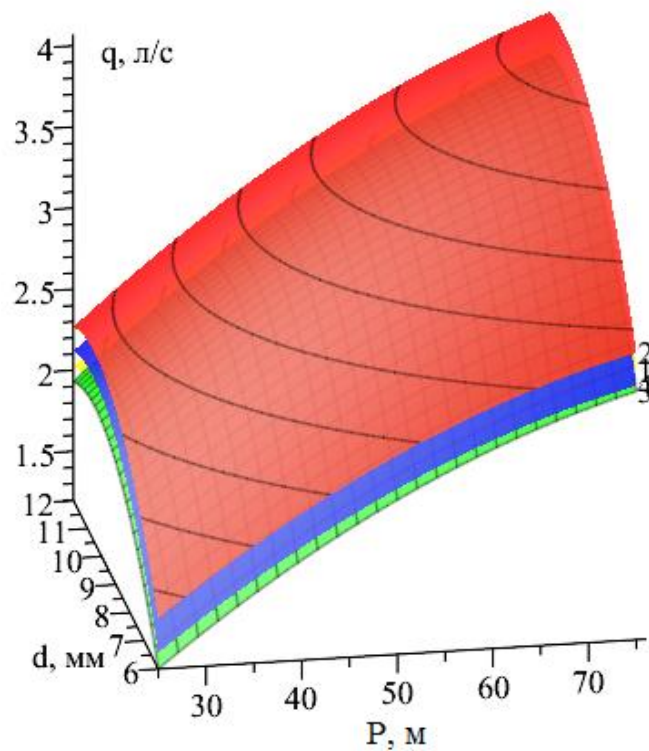
б)

Рис. 2.9 – Залежність витрат води q (л/с) від діаметра насадка d (мм) та тиску в мережі P (м) у випадку підключення до ВПВ рукава діаметром 25 мм:

1 - $l=15$ м, $s=32$ %; 2 - $l=27$ м, $s=32$ %; 3 - $l=15$ м, $s=88$ %; 4 - $l=27$ м, $s=88$ %. а) ПЗР; б) НЖР



а)



б)

Рис. 2.10 – Залежність витрат води q (л/с) від діаметра насадки d (мм) та тиску в мережі P (м) у випадку підключення до ВПВ рукава діаметром 33 мм:

1 - $l=15$ м, $s=32$ %; 2 - $l=27$ м, $s=32$ %; 3 - $l=15$ м, $s=88$ %; 4 - $l=27$ м, $s=88$ %. а) ПЗР; б) НЖР

З'ясовано, що зміна діаметра насадки з 6 мм до 12 мм збільшує витрати води від 1,3 (за тиску 25 м) до 2,1 (за тиску 75 м) рази. Також вияв-

лено майже лінійне зростання витрат води зі зростанням тиску та нелінійне зменшення зі зростанням довжини рукава.

Той факт, що довжина рукава і ступінь його розгортання впливає на витрати води в незначній мірі, можна простежити на прикладі рис. 2.9 та 2.10, де видно, що для кожного з типів рукавів поверхні $q(H,d)$ відрізняються мало (максимальна різниця не перевищує 0,4 л/с) за значного показника витрат, тобто становить 10 %.

РОЗДІЛ 3 ВИЗНАЧЕННЯ НЕОБХІДНИХ ВИМОГ ДЛЯ ПАРАМЕТРІВ ПОЖЕЖНОГО КРАН-КОМПЛЕКТУ

3.1 Побудування математичної моделі необхідної кількості води для успішного гасіння пожежі за допомогою ПКК у житлових будівлях

Для успішного гасіння пожежі в житлових будівлях під час використання пожежних кран-комплектів необхідно, щоб кількість води, яка подається через них від водопровідної мережі, була достатньою для відведення енергії, що виділяється у процесі пожежі в житловій будівлі.

Кількість енергії, яку може відвести вогнегасна речовина, визначається наступною залежністю [1]:

$$Q = c_p^p(t_{\text{кип}} - t_0) + Q_{\text{вип}} + c_p^{\text{пар}}(t_{\text{пол}} - t_{\text{кип}}), \text{кДж/кг}, \quad (3.1)$$

де c_p^p – теплоємність вогнегасної речовини, кДж/кг·К;

$t_{\text{кип}}$ – температура кипіння вогнегасної речовини, К;

t_0 – початкова температура вогнегасної речовини, К;

$Q_{\text{вип}}$ – кількість енергії, що необхідна для випаровування вогнегасної речовини, кДж/кг;

$c_p^{\text{пар}}$ – теплоємність пари, кДж/кг·К;

$t_{\text{пол}}$ – температура полум'я, К.

В якості вогнегасної речовини передбачається використання води. Згідно довідникових даних кількість енергії, яку може відвести вода, складає близько 2000 кДж/кг (або 2000 кДж/л).

Кількість води, яка повністю відведе енергію, що виділяється під час пожежі та забезпечить припинення подальшого горіння, можна визначити наступним чином [1]:

$$p = \frac{Q_{\text{вид}} \cdot \tau_{\text{гас}}}{q}, \text{кг}, \quad (3.2)$$

де $Q_{\text{вид}}$ – кількість енергії, що виділяється з палаючої поверхні за одиницю часу, кДж/с;

$\tau_{\text{гас}}$ – час подачі вогнегасної речовини, с;

q – кількість енергії, що відводиться вогнегасною речовиною, кДж/кг.

Кількість енергії, яка виділяється під час горіння горючого навантаження квартири за секунду, можна визначити так:

$$Q_{\text{вид}} = v_m S_{\text{пож}} Q_n, \text{ кДж/с}, \quad (3.3)$$

де v_m – приведена масова швидкість вигорання, $\text{кг}/(\text{с}\cdot\text{м}^2)$;

$S_{\text{пож}}$ – площа пожежі;

Q_n – нижча теплота згорання горючого навантаження квартири, кДж/кг .

Площа пожежі може змінюватися від мінімальних значень, які відповідають часу виявлення пожежі (з урахуванням одержання мешканцями квартири сигналу про пожежу) та часу введення в дію внутрішнього пожежного кран-комплекту, до максимальних значень, які дорівнюють площі квартири. При цьому необхідно враховувати наявність або відсутність пожежних сповіщувачів та час їх спрацьовування, який складається з часу досягнення продуктами горіння (в необхідній концентрації) пожежного сповіщувача та його інерційності, часу спрацьовування пожежної сигналізації та часу, необхідного мешканцям для приведення в дію пожежного кран-комплекту.

Таким чином, час початку гасіння пожежі визначається:

$$\tau = \tau_c + \tau_L + \tau_{\text{ПС}} + \tau_{\text{ПКК}}, \text{ с}, \quad (3.4)$$

де τ_c – час досягнення продуктами горіння стелі, с;

τ_L – час, за який димовий потік, поширюючись у вздовж стелі, досягне пожежного сповіщувача, с;

$\tau_{\text{ПС}}$ – інерційність пожежного сповіщувача, с;

$\tau_{\text{ПКК}}$ – час введення в дію пожежного кран-комплекту мешканцем квартири, с.

Відповідно до фізико-математичної моделі Ф.І. Шаровара [82], час досягнення продуктами горіння стелі визначається:

$$\tau_c = 0,426 \cdot \sqrt[3]{\frac{H^4 \rho_v T_v c_v}{g v_m S \eta Q_n \alpha_k}}, \text{ с}, \quad (3.5)$$

де H – висота приміщення, м;

ρ_v – густина повітря у приміщенні, $\text{кг}/\text{м}^3$;

T_v – температура повітря у приміщенні, К;

c_v – питома масова теплоємність повітря, $\text{кДж}/\text{кг}\cdot\text{К}$;

g – прискорення вільного падіння, $\text{м}/\text{с}^2$;

S – початкова площа загорання, м^2 ;

η – коефіцієнт хімічного недопалу;

α_k – коефіцієнт, що враховує частку конвективної теплоти.

$$\alpha_x = (1,4 - T_d \cdot 10^{-3}) \cdot \sqrt[3]{T_d - T_{\sigma}} \quad (3.6)$$

де T_d – температура диму, К.

Час, за який димовий потік досягне пожежного сповіщувача, рухаючись по стелі, визначається наступним рівнянням [82]:

$$\tau_L = 1,15 \cdot \sqrt[3]{\frac{L^4 \rho_{\sigma} T_{\sigma} c_{\sigma}}{g(v_M S \eta) Q_H \alpha_x}} \left(\sqrt{\frac{L}{H}} \right)^3, \quad (3.7)$$

де L – відстань від осі вертикальної частини димового потоку до пожежного сповіщувача, м.

Знаючи постійні та довідникові характеристики, можна оцінити вплив висоти приміщення та площі пожежі на час досягнення димом стелі цього приміщення. У сучасних житлових будівлях висота приміщення знаходиться в межах 2,5–4,5 м. Мінімальну межу площі пожежі пропонується взяти від 0,2 м², що відповідає осередку пожежі у вигляді кола діаметром 0,5 м (вважаючи, що меншу площу можна погасити підручними засобами без залучення пожежного кран-комплекту). В цьому випадку час досягнення димом стелі не перевищує 10-20 с (рис. 3.1). При цьому необхідно звернути увагу на те, що значний вплив на цей час має саме площа пожежі, а не висота приміщення.

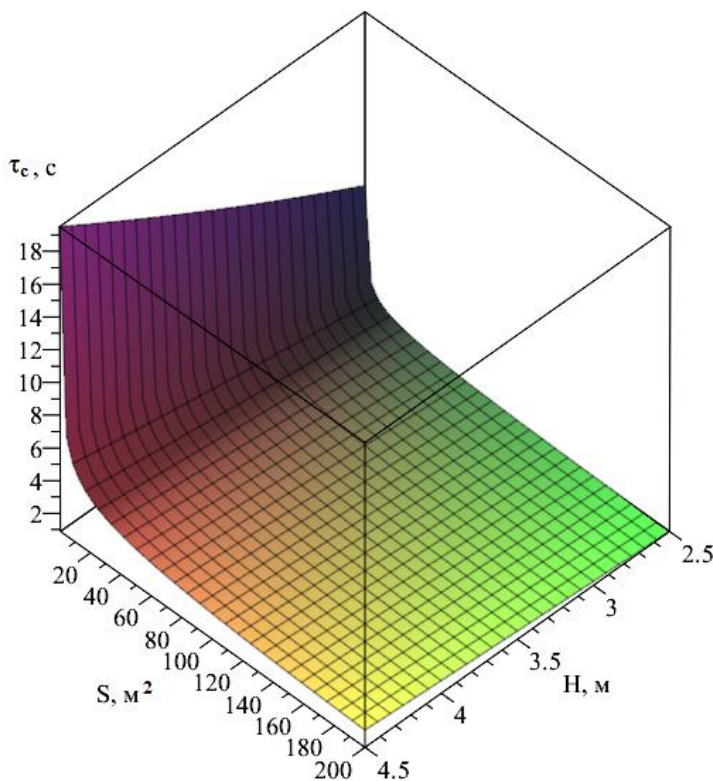


Рис. 3.1 – Залежність часу досягнення димом стелі τ_c від висоти приміщення $H = 2,5 \div 4,5$ м та площі пожежі $S = 0,2 \div 200$ м²

Беручи до уваги особливості розміщення пожежних сповіщувачів у квартирах (а саме – у коридорі), пропонується максимальне значення L взяти 25 м. Тоді час досягнення димом сповіщувача не буде перевищувати 120 с (рис. 3.2).

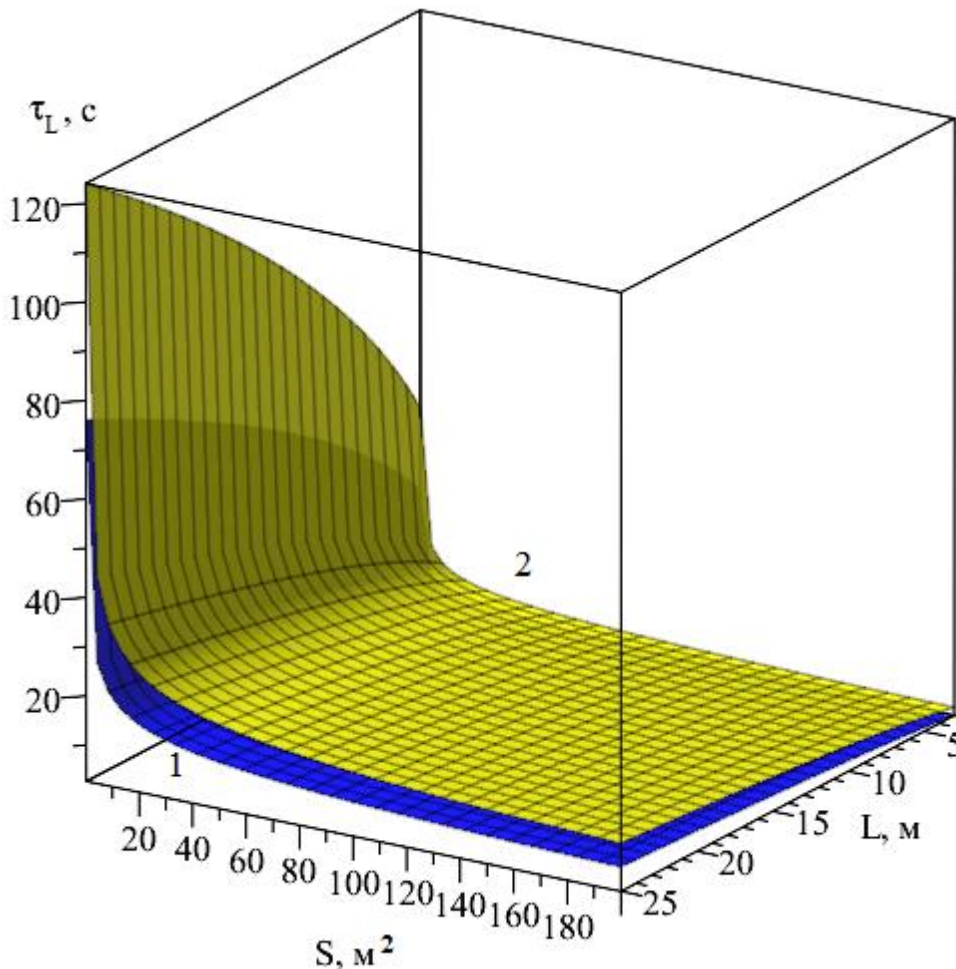


Рис. 3.2 – Залежність часу досягнення димом пожежного сповіщувача τ_L від відстані між віссю вертикальної частини димового потоку до пожежного сповіщувача $L=3\div 25$ м та площі пожежі $S=0,2\div 200$ м² за висоти приміщення: 1 – 2,5 м; 2 – 4,5 м

Таким чином, димовий потік досягне пожежного сповіщувача за час, який складається із суми τ_c та τ_L . В межах взятих параметрів приміщень величина цього часу в більшій мірі залежить від τ_L та не перевищує 100 -140 с (для висоти стелі 2,5–4,5 м).

Інерційність сучасних димових пожежних сповіщувачів, у порівнянні з визначеними τ_c та τ_L , є незначною, тому, з її урахуванням, час виявлення пожежі можна прийняти в межах 150 с.

У процесі проведення експериментальних досліджень паралельно був оцінений час введення в дію пожежного кран-комплекту. Він оцінений як 60÷200 с, в залежності від віддаленості осередку пожежі від місця розташування ПКК.

За результатами розрахунків визначено, що τ змінюється в межах $66 \div 350$ с. Таким чином, мінімальний час початку гасіння пожежі становить 66 с. Площа пожежі на цей час складе $0,32 \text{ м}^2$, за умовою форми у вигляді кола і лінійної швидкості вигорання $0,01 \text{ м/с}$ [32]. Якщо прийняти час гасіння пожежі краном квартирного пожежогасіння в межах $\tau_{\text{гас}} = 1 \div 200$ с, можна визначити, що для гасіння пожежі у квартирі житлової будівлі, в якій встановлено пожежний кран-комплект разом із димовим сповіщувачем, необхідно подати воду в кількості $3,7 \div 4641 \text{ л}$ (рис. 3.3).

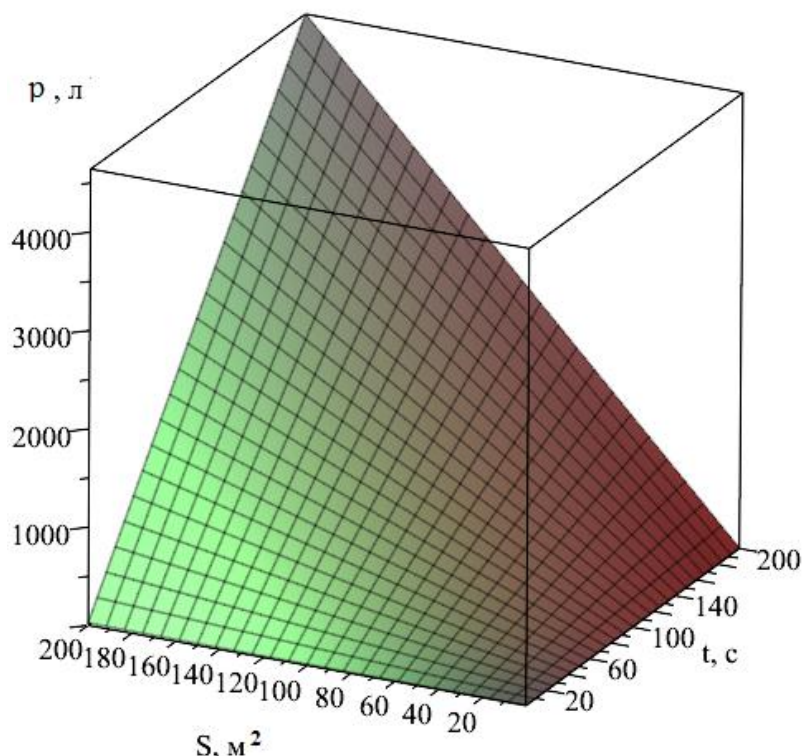


Рис. 3.3 – Залежність необхідної кількості води для гасіння пожежі q від площі пожежі $S = 0,2 \div 200 \text{ м}^2$ та часу її гасіння $\tau_{\text{гас}} = (1 \div 200) \text{ с}$

Для успішного гасіння пожежі в житлових будівлях під час використання пожежних кран-комплектів час початку їх застосування повинен бути таким, щоб подача необхідної кількості води змогла бути забезпечена існуючою водопровідною мережею.

Визначення необхідних витрат води для успішного гасіння пожежі розраховується за формулою (2.1), з урахуванням (2.4) та (2.5), наступним чином [53]:

$$q = \frac{Q_H \times V_M \times \tau_B^3 \times V_L^2 \times \pi}{4 \times Q \times \tau_{\text{гас}}}, \text{л/с} \quad (3.8)$$

де Q_H – нижча теплота згоряння, кДж/кг;

v_M – приведена масова швидкість вигорання, кг/(с·м²);
 τ_B – час вільного розвитку пожежі, с;
 v_L – лінійна швидкість поширення полум'я, м/с;
 $Q_{вод}$ – кількість теплоти, що відводиться водою, кДж/кг;
 $\tau_{гас}$ – час подачі вогнегасної речовини на гасіння пожежі, с.

Для реалізації цього розрахунку необхідно визначити характеристики пожежного навантаження, що фактично буде знаходитися в житловій будівлі, а саме необхідно визначити нижчу теплоту згорання Q_H , приведену масову швидкість вигорання v_M та лінійну швидкість поширення полум'я v_L . Для пожежного навантаження житлових будівель ці величини за довідниковими даними [32, 82] знаходяться в межах: $Q_H = 10000 - 50000$ кДж/кг; $v_M = 0,001 - 0,015$ кг/(с·м²); $v_L \approx 0,01$ м/с.

Для зручності пропонується ввести додатковий параметр X

$$X = \frac{Q_H \cdot v_M \cdot v_L^2 \cdot \pi}{4 \cdot Q} \quad (3.9)$$

який для житлових будівель залежить лише від двох величин, та в межах їх змін може знаходитися в межах $10^{-7} \div 5 \cdot 10^{-5}$ (рис. 3.4).

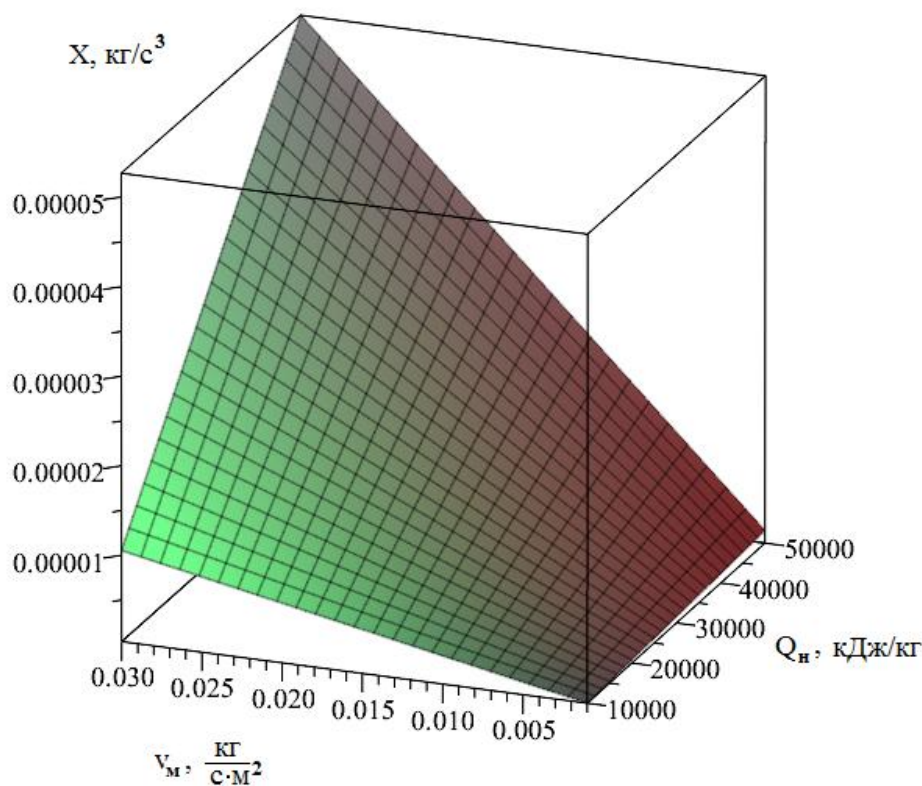


Рис. 3.4 – Залежність додаткового параметра X від приведеної масової швидкості вигорання v_M та нижчої теплоти згорання Q_H

Розрахунок необхідних витрат води для успішного гасіння пожежі за (3.8) можна виконати для декількох значень параметра X , визначеного за (3.9). Аналіз цих розрахунків показав, що необхідні витрати води для гасіння пожежі можуть знаходитися в межах 0,015 – 7,5 л/с (рис. 3.5).

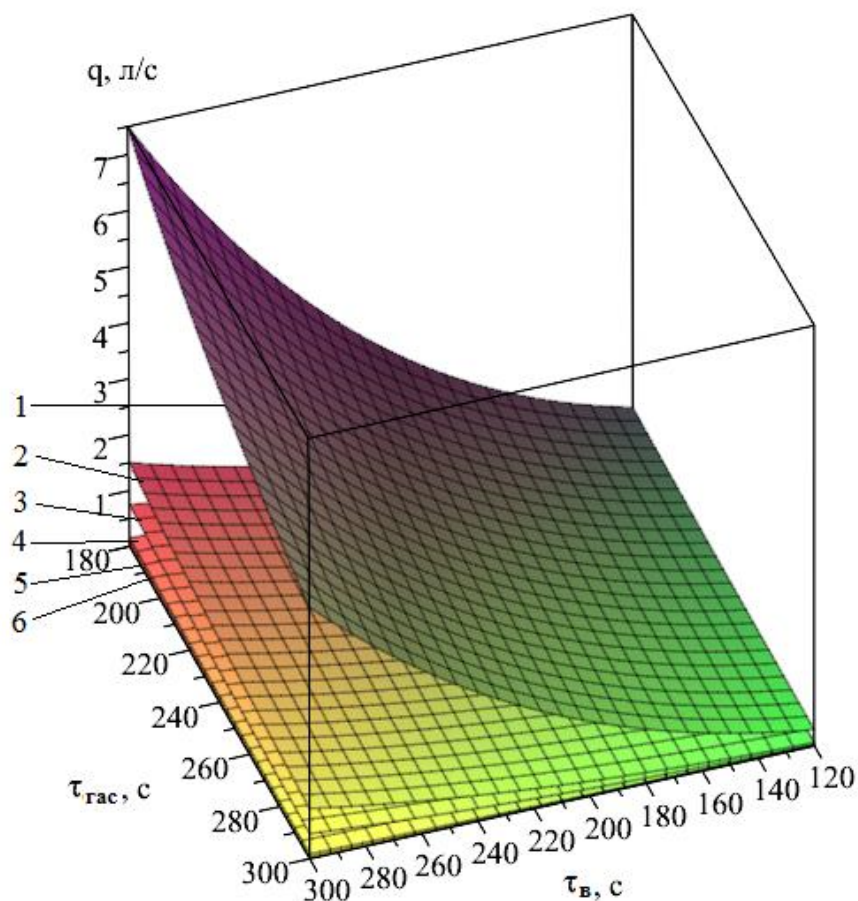


Рис. 3.5 – Залежність необхідних витрат води q для гасіння пожежі в залежності від часу подачі вогнегасної речовини на гасіння $\tau_{\text{гас}}$ та часу вільного розвитку пожежі $\tau_{\text{в}}$ за різних значень додаткового параметра X :
 1 – $5 \cdot 10^{-5}$; 2 – 10^{-5} ; 3 – $5 \cdot 10^{-6}$; 4 – 10^{-6} ; 5 – $5 \cdot 10^{-7}$; 6 – 10^{-7}

Таким чином, необхідні витрати води для успішного гасіння пожежі у випадку застосування ПКК залежать від характеристик пожежного навантаження (нижча теплота згоряння, приведена масова швидкість вигорання, лінійна швидкість поширення полум'я), часу вільного розвитку пожежі та часу подачі вогнегасної речовини на гасіння пожежі, а також кількості теплоти, що відводиться водою.

Для успішного гасіння пожежі в житлових будівлях під час використання пожежних кран-комплектів час початку їх застосування повинен бути мінімальним, тоді для звичайного пожежного навантаження житлових будівель подача необхідної кількості води буде забезпечена існуючою водопровідною мережею.

3.2 Обґрунтування мінімально допустимої довжини рукава пожежного кран-комплекту

Різноманіття варіантів планувальних рішень для великих житлових приміщень (апартаментів) і довільний (за бажанням власника) порядок планування внутрішніх приміщень житлових осель призводять до необхідності впровадження індивідуального підходу при визначенні мінімально допустимої довжини рукава пожежного кран-комплекту. Лише самі габарити приміщення не дозволяють адекватно оцінити необхідну довжину рукава, оскільки внутрішнє планування будівлі може призвести до необхідності значного подовження рукава [108], особливо у випадку великої площі та великої протяжності внутрішніх стін приміщення. Зрозуміло, що недостатня довжина рукава призводить до унеможливлення подачі води безпосередньо в осередок пожежі, а надлишок довжини – до втрат напору, зважаючи на, як правило, малий діаметр рукава та невеликий тиск у протипожежній мережі, особливо в житлових приміщеннях.

Таким чином, існує протиріччя між нормами комплектації ПКК та необхідністю врахування особливостей кожного окремого приміщення.

В [20, 68] викладено основні вимоги до характеристик складових ПКК. Відповідно до цих вимог ПКК комплектуються рукавом (довжина рукава – до 30 м). Зазначена норма базується на припустимій величині втрати напору, але не містить наукового обґрунтування щодо співвідношення довжини рукава і внутрішньої архітектури приміщення.

Відповідно необхідно розв'язати задачу знаходження найменшої можливої довжини L лінії, яка пов'язує між собою точку A підключення ПКК до водопровідної мережі й кожную (зокрема найбільш віддалену) точку B приміщення. Разом з тим лінія AB повинна не перетинати стіни приміщення, тобто цілком належати однозв'язній області Ω його внутрішнього простору. Таким чином, потребує розв'язання оптимізаційна задача

$$L_{AB} = \max_{L \subset \Omega}(\min L), \quad (3.10)$$

Дана задача розв'язана в роботі [84].

Зробимо декілька припущень:

1. Будемо вважати приміщення одноповерховим (у випадку декількох поверхів кожен з них повинен оснащуватися власним ПКК, тобто кожен з поверхів можна вважати окремим приміщенням). Таким чином, маємо задачу у двовимірній постановці.

2. Кожне з приміщень поділяється на відсіки (кімнати), прохід в які є вільним, тобто внутрішнє приміщення є зв'язним.

3. Внутрішній контур плану приміщення можна описати у вигляді ламаних прямих, тобто відсутні криволінійні елементи внутріш-

ньої архітектури (круглі колони, напівкруглі еркери тощо) або їх можна апроксимувати ламаною лінією.

4. Будемо вважати, що елементи інтер'єру житлових будівель або елементи промислового або іншого обладнання нежитлових будівель не впливають на шукану мінімально допустиму довжину L рукава ПКК. В тому випадку, коли вони впливають, то їх необхідно внести до плану.

5. Будемо вважати, що довжина струменя води, що отримується на виході з розпорошувача, дорівнює ℓ (згідно [118] $\ell = 3\text{м}$).

6. Вважаємо розмір осередку таким, що його можна накрити струменем води з одного положення.

Необхідно оцінити мінімально допустиму довжину L рукава ПКК, тобто знайти таку його довжину, щоб можна було доставити воду від протипожежної мережі до кожної точки приміщення, враховуючи при цьому довжину струменя ℓ .

Розглянемо деяке приміщення. Місцерозташування ПКК є фіксованим і визначене проектом будівництва. Опишемо приміщення із внутрішньою частиною Ω контуром неопуклого багатокутника $\bar{\Omega}$.

Задамо зазначений багатокутник набором його вершин у декартовій системі координат. Приклад такого модельного приміщення зображено на рис. 3.6 (навмисно змодельовано приміщення з непрямыми кутами для розгляду більш узагальненого випадку).

Отримаємо параметричне рівняння багатокутника $\bar{\Omega}$. В загальному вигляді, використовуючи в якості параметра поточну довжину p його периметра, яку відміряємо від першої вершини при обході контуру в додатному напрямку, маємо рівняння

$$\begin{aligned} x &= \zeta(p); \\ y &= \tau(p). \end{aligned} \tag{3.11}$$

До даного контуру застосуємо процедуру знаходження еквідистанти [12, 37]

$$\begin{aligned} x &= \zeta(p) \pm \frac{h \cdot \partial\tau(p)/\partial p}{\sqrt{(\partial\zeta(p)/\partial p)^2 + (\partial\tau(p)/\partial p)^2}}; \\ y &= \tau(p) \mp \frac{h \cdot \partial\zeta(p)/\partial p}{\sqrt{(\partial\zeta(p)/\partial p)^2 + (\partial\tau(p)/\partial p)^2}}, \end{aligned} \tag{3.12}$$

де h – еквідистантна відстань. В даному контексті вона являє собою довжину струменя води ℓ . Обрання знаків у виразі (3.12) повинно бути узгоджене для вірного опису внутрішньої чи зовнішньої еквідистанти.

Підставляючи (3.11) в (3.12), отримаємо параметричне рівняння еквідистантної лінії. На рис. 3.7 наведено приклад такої лінії ($\ell = 1$ м).

Слід зауважити, що еквідистантна лінія є такою, що перетинає саму себе і розбиває внутрішню однозв'язну область Ω на декілька незв'язних, що значно ускладнює подальшу роботу. Тому на наступному етапі було вирішено скористатися лише тим фактом розв'язку моделі (3.10)–(3.12), що необхідно шукати відстань не до найбільш віддаленої точки приміщення, а можна зменшити цю відстань на величину ℓ .

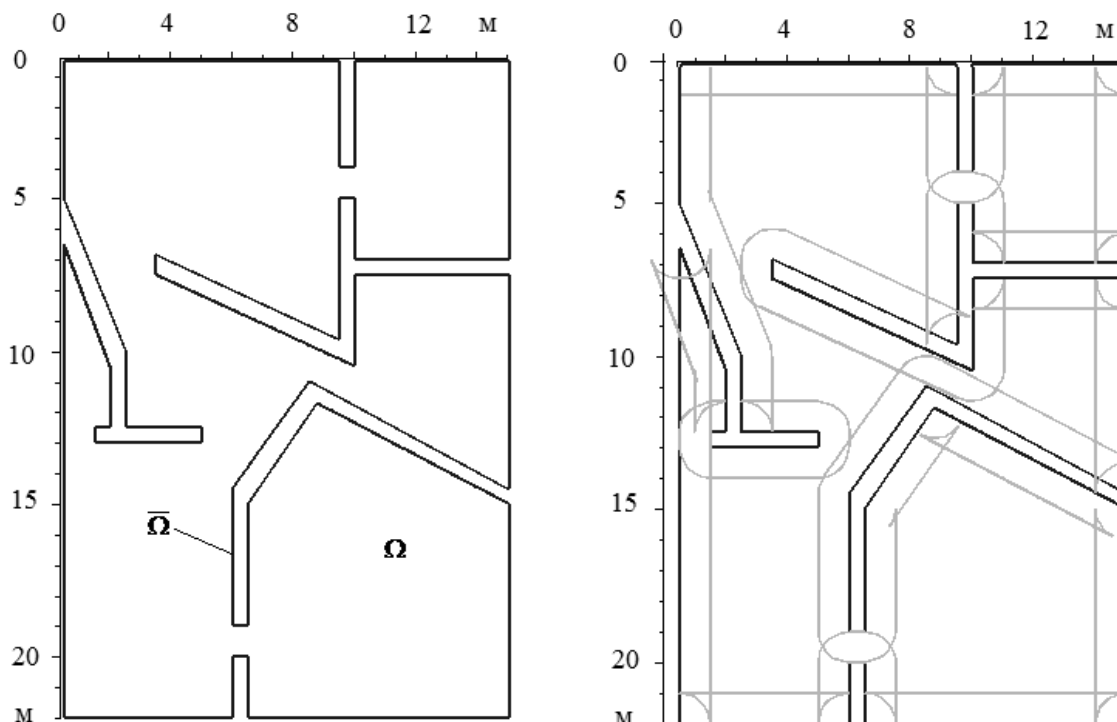


Рис. 3.6 – Приклад плану приміщення Рис. 3.7. Еквідистанта для даного приміщення

В цьому випадку можна отримати розв'язок задачі (3.10) використовуючи теорію мережевих графів [5].

Будемо вважати, що кожна з n вершин неопуклого багатокутника $\bar{\Omega}$ є вершиною графа. Місцезрештування підключення ПКК до водопровідної мережі будемо вважати додатковою вершиною. Побудуємо ребра графа у три етапи.

На першому етапі з'єднаємо кожен вершину з кожною, уникаючи повторів. Всього отримаємо $n(n-1)$ неорієнтованих ребер. Для наведеного прикладу таких буде більш ніж 1800, тому немає сенсу зображати настільки щільну мережу.

На другому етапі перевіримо, які з ребер перетинають контур багатокутника (тобто проходять крізь стіни). Перевірку на перетин відрізків зробимо за допомогою методів обчислювальної геометрії [6].

Припустимо, що дано чотири точки $P_1(x_1; y_1)$, $P_2(x_2; y_2)$, $P_3(x_3; y_3)$, $P_4(x_4; y_4)$. Відрізки P_1P_2 і P_3P_4 перетинаються тоді й тільки тоді, коли одночасно виконуються умови:

$$\left\{ \begin{array}{l} X_2^u \geq X_3^d; \quad X_4^u \geq X_1^d; \quad Y_2^u \geq Y_3^d; \quad Y_4^u \geq Y_1^d; \\ [(x_3 - x_1)(y_2 - y_1) - (x_2 - x_1)(y_3 - y_1)] \times \\ \times [(x_4 - x_1)(y_2 - y_1) - (x_2 - x_1)(y_4 - y_1)] \leq 0; \\ [(x_1 - x_3)(y_4 - y_3) - (x_4 - x_3)(y_1 - y_3)] \times \\ \times [(x_2 - x_3)(y_4 - y_3) - (x_4 - x_3)(y_2 - y_3)] \leq 0, \end{array} \right. \quad (3.13)$$

де

$$\begin{aligned} X_1^d &= \min(x_1; x_2), \quad Y_1^d = \min(y_1; y_2), \quad X_2^u = \max(x_1; x_2), \\ Y_2^u &= \max(y_1; y_2), \quad X_3^d = \min(x_3; x_4), \quad Y_3^d = \min(y_3; y_4), \\ X_4^u &= \max(x_3; x_4), \quad Y_4^u = \max(y_3; y_4). \end{aligned}$$

Проведемо наведену процедуру для кожного з ребер графа, вилучимо такі, що перетинають сторони багатокутника $\bar{\Omega}$, внаслідок чого отримаємо граф, що зображено на рис. 3.8.

На третьому етапі перевіримо, які з ребер знаходяться всередині стін. Для цього знайдемо координати $(x_c; y_c)$ середин кожного з ребер P_1P_2

$$x_c = \frac{x_1 + x_2}{2}; \quad y_c = \frac{y_1 + y_2}{2} \quad (3.14)$$

і перевіримо, чи належать отримані точки $(x_c; y_c)$ неопуклому зв'язному багатокутнику $\bar{\Omega}$, що описує контур стін приміщення.

Приналежність точки багатокутнику з'ясуємо за допомогою процедури, яку наведено в [6].

Для внутрішньої області неопуклого багатокутника $\bar{\Omega}$ скористаємося положенням, що довільний промінь перетинає границю багатокутника парну кількість разів, якщо його початок лежить зовні багатокутника, та непарну – якщо всередині (рис. 3.9).

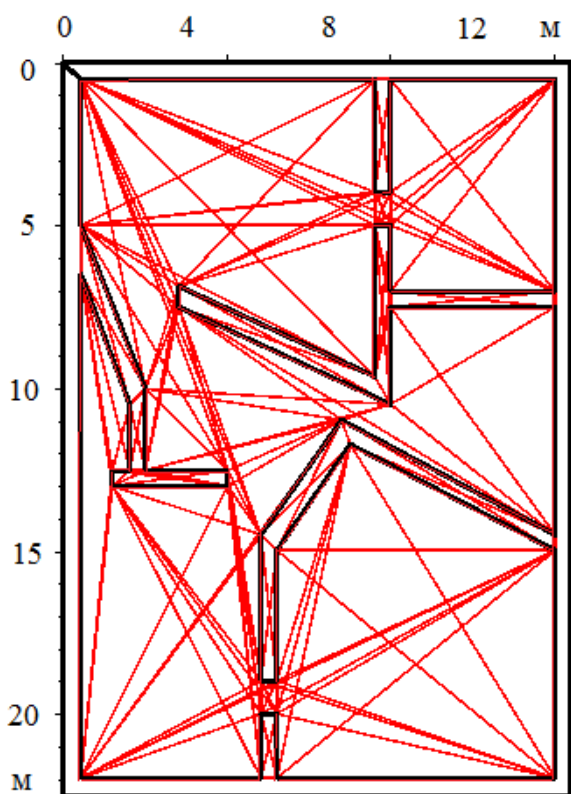


Рис. 3.8 – Другий етап побудови графа

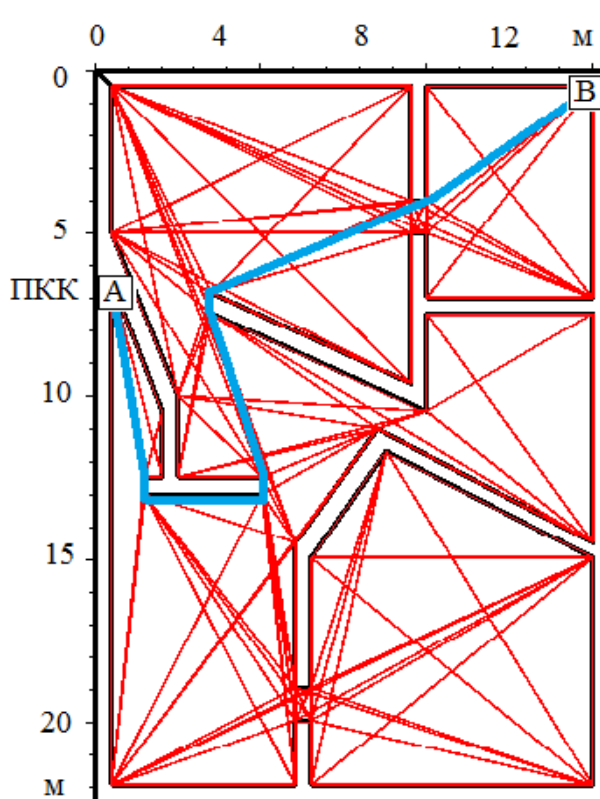


Рис.3.9 – Третій і четвертий етапи побудови графа

Оберемо для визначеності горизонтальний промінь із початком у точці $(x_0; y_0) \in \Omega$ (рис. 3.9). Рівняння j -ї сторони багатокутника $\bar{\Omega}$, яка поєднує вершини $(x_j; y_j)$ та $(x_{j+1}; y_{j+1})$ ($j=1..J$), задамо рівнянням у вигляді неявного нормального орієнтованого рівняння прямої [69]

$$f_j(x, y) \equiv \frac{1}{\sqrt{(x_{j+1} - x_j)^2 + (y_{j+1} - y_j)^2}} \begin{vmatrix} x & y & 1 \\ x_j & y_j & 1 \\ x_{j+1} & y_{j+1} & 1 \end{vmatrix} = 0. \quad (3.15)$$

Точка перетину променя та цієї сторони має координати $(x = f_j(x, y_0); y = y_0)$.

Перетин може мати місце у випадку виконання необхідної умови

$$E = \begin{cases} \min(x_j, x_{j+1}) < x \leq \max(x_j, x_{j+1}); \\ x < x_0; \\ \min(y_j, y_{j+1}) < y_0 \leq \max(y_j, y_{j+1}). \end{cases} \quad (3.16)$$

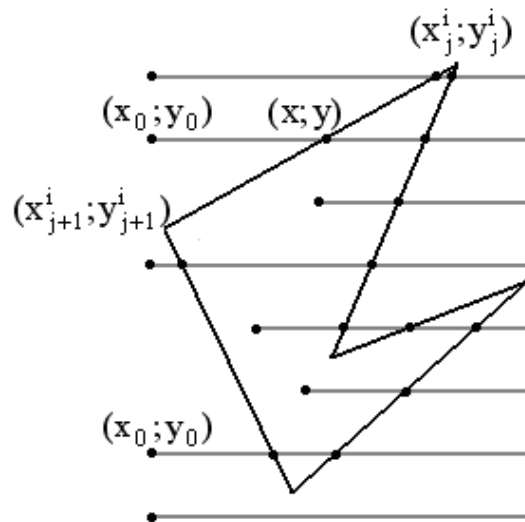


Рис. 3.10 – Взаємне розташування променя і багатокутника

Введемо індикатор перетину у вигляді

$$m_j(x_0; y_0) = \begin{cases} 1 & \text{if } E = \text{true}; \\ 0 & \text{if } E = \text{false}. \end{cases} \quad (3.17)$$

Тоді величина

$$M(x_0; y_0) = \sum_{j=1}^{J-1} m_j(x_0; y_0) \quad (3.18)$$

визначає кількість перетинів променя із початком у точці $(x_0; y_0)$ всіх сторін багатокутника.

Вилучивши ребра, які лежать всередині стіні, отримаємо граф, що зображено на рис. 3.10.

Таким чином, внаслідок застосування процедури (3.13)–(3.18) отримуємо мережевий граф, який зв'язує між собою всі вершини контуру приміщення ребрами, уздовж яких фізично може проходити рукав ПКК.

Оскільки координати вершин контуру приміщення відомі, то можна знайти і відстані між ними

$$|PP_2| = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}. \quad (3.19)$$

Тому на четвертому етапі можна застосувати алгоритм Дейкстра [78] пошуку найкоротшої відстані між точкою А та кожною з вершин ко-

нтуру приміщення. Серед обраних відстаней обираємо найбільшу – це і є шукана найменша допустима довжина рукава ПКК. На рис. 3.10 жирною лінією наведена дана конфігурація.

Наведена процедура була запрограмована в комп'ютерному середовищі Maple [4], що дозволило розглянути декілька варіантів відшукування мінімально допустимої довжини рукава ПКК як для модельних, так і для реальних приміщень.

Запропонована процедура відшукування мінімально допустимої довжини рукава пожежного кран-комплекту є універсальною для одноповерхових приміщень зі стінами, які можуть бути описані ламаною лінією. Вхідними даними для наведеної моделі є лише координати вершин контуру приміщень та місцезрештування точки підключення до водопровідної мережі самого ПКК.

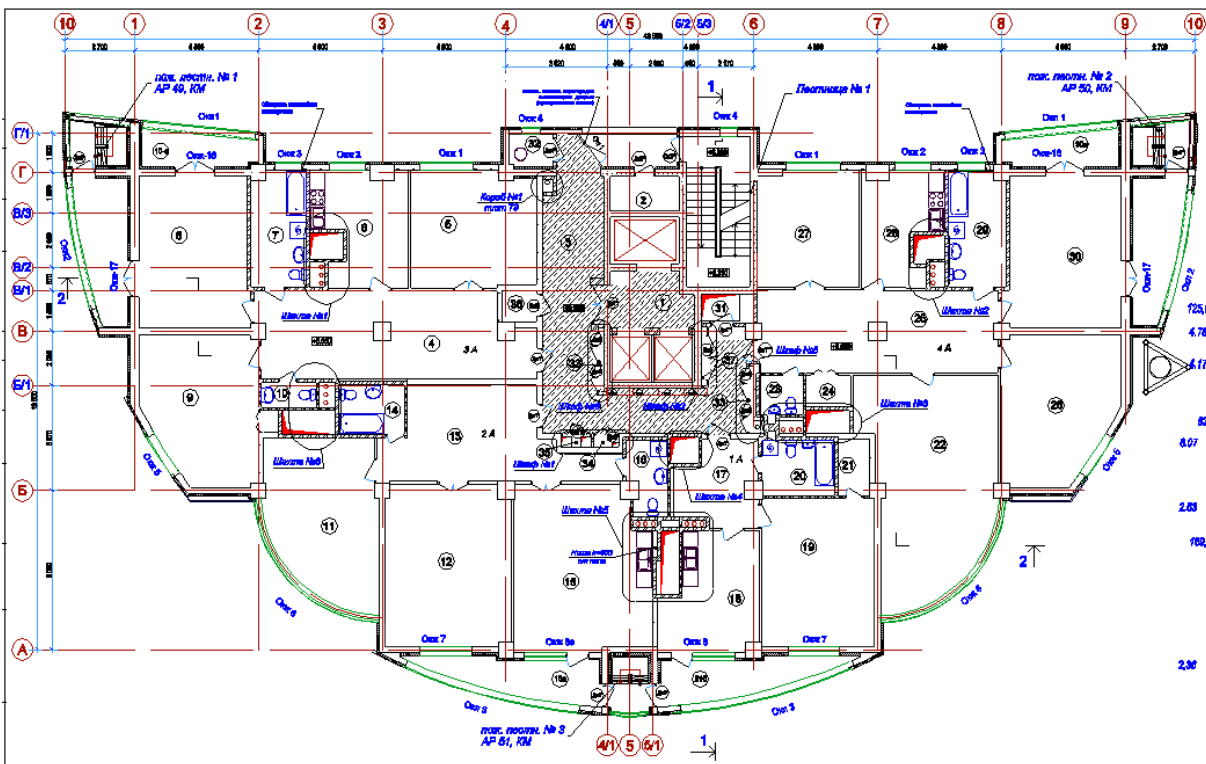


Рис. 3.11 – План поверху житлової будівлі

Результати проведених досліджень модельних приміщень різних габаритів, але різного внутрішнього планування у деяких випадках показали різницю в необхідній довжині рукава ПКК більш ніж у 1,4 рази. В окремих випадках 20-метрова довжина рукава не забезпечувала доставки води в найбільш віддалені точки приміщень із габаритами 25x15 метрів (за фіксованого місцезрештування точки підключення ПКК). В такому випадку необхідно або збільшувати довжину рукава, що призводить до втрати напору, або змінювати місцезрештування точки підключення ПКК, що потребує внесення коректив у планування внутрішньої

водопровідної мережі й вирішення оптимізаційної задачі розміщення даної точки.

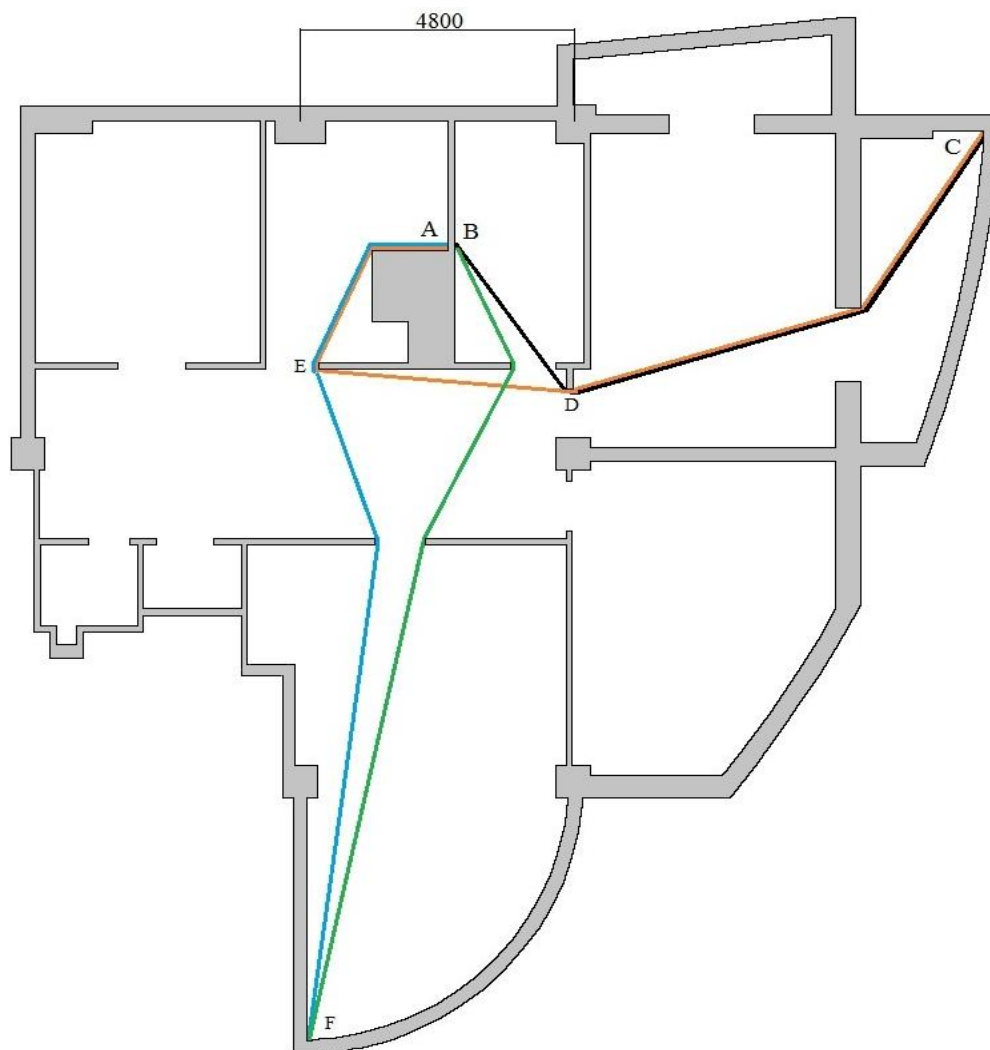


Рис. 3.12 – Приклад розрахунку мінімально допустимої довжини рукава для житлового приміщення

Для вже реального, а не модельного приміщення (рис. 3.12) (одна з квартир будинку №20 В по вул. Культури, м. Харків), було проведено розрахунок мінімально допустимої довжини рукава пожежного кран-комплекту. Показано, що у випадку підключення ПКК до господарсько-питного водопроводу для варіантів А (на кухні) і В (в санвузлі) різниця в допустимій довжині рукава може складати 1,7 м ($AC/BC=15,9$ м/ $11,5$ м; $AF/BF=15,2$ м/ $14,2$ м) навіть за 100 % ступеня розгортання рукава.

Слід зауважити, що знайдена довжина рукава, з одного боку, не враховує довжини струменя води (3 м), а з іншого боку, не враховує необхідності оминання рукавом меблів та інших предметів інтер'єру.

РОЗДІЛ 4

РОЗРОБКА ПРОПОЗИЦІЙ ЩОДО УМОВ ВИКОРИСТАННЯ ПКК ЖИТЛОВИХ БУДІВЛЯХ ТА РЕКОМЕНДАЦІЙ ДЛЯ ПРОЄКТУВАННЯ ПКК

4.1 Дослідження умов ефективного використання ПКК з визначеними характеристиками

На підставі виконаних досліджень необхідних та фактичних витрат води з ПКК пропонується алгоритм вибору обладнання пожежних кран-комплектів [54, 65, 92] для конкретних умов його використання, який складається з трьох блоків (рис. 4.1).

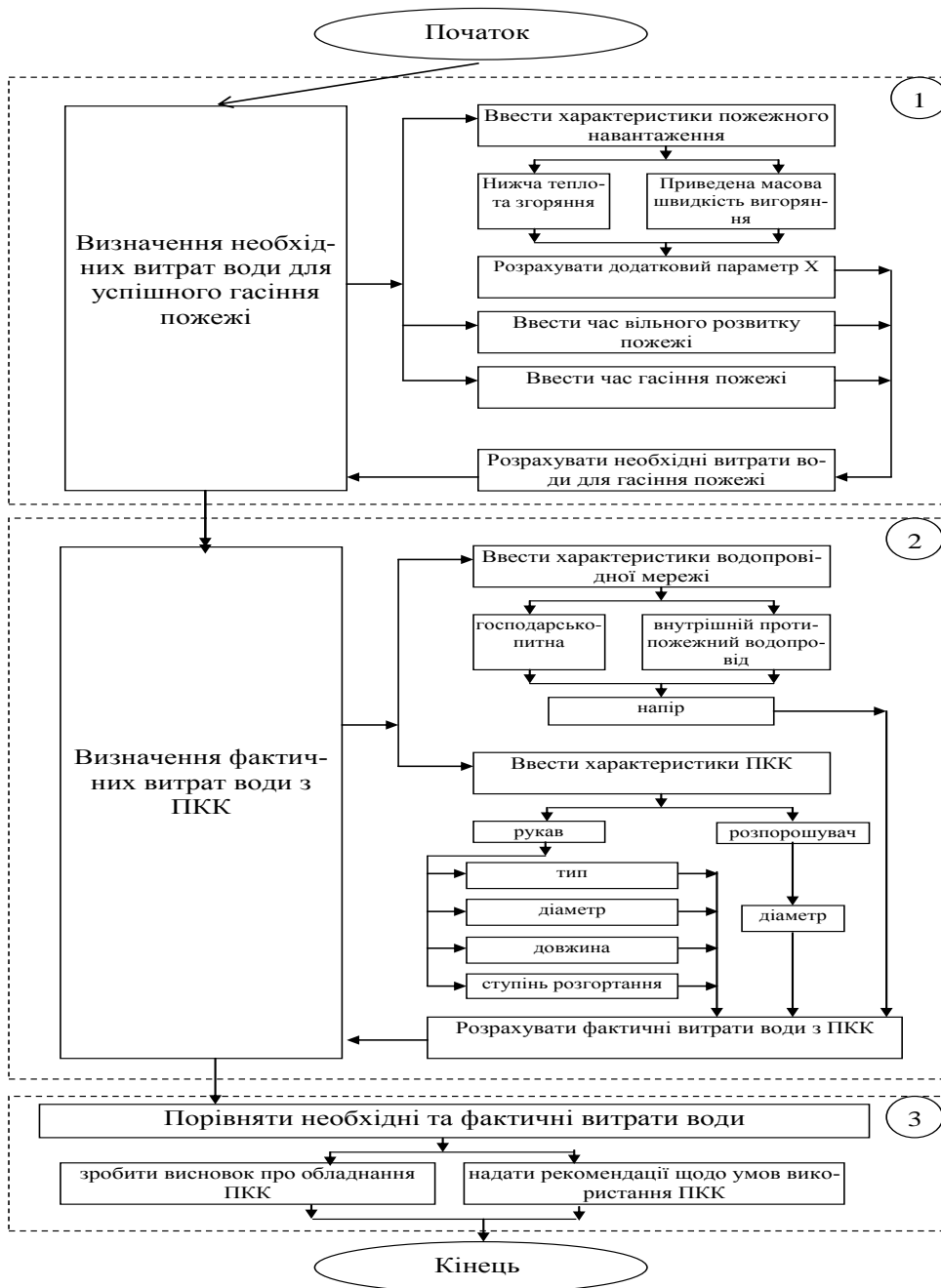


Рис. 4.1 – Блок-схема алгоритму вибору обладнання пожежних кран-комплектів

Визначення необхідних витрат води для успішного гасіння пожежі (блок 1) розраховується за формулою (3.8) з урахуванням (3.9).

Для успішної ліквідації пожежі від ПКК необхідно подати воду в достатній для цього кількості, тобто у блоці 2 запропонованого алгоритму (рис. 4.1) визначаються фактичні витрати води з ПКК за формулами (2.1)–(2.10) для різних характеристик ПКК, водопровідної мережі та конфігурації будівлі.

Реалізація блоку 3 здійснюється порівнянням результатів розрахунку блоків 1 та 2, а також прийняттям рішення щодо обладнання ПКК. За умовою, що ПКК у заданих умовах експлуатації не зможе забезпечити подачу необхідної кількості води на пожежогасіння, надаються пропозиції зі зниження пожежної небезпеки об'єкта (наприклад, підвищення тиску в мережі у випадку виникнення пожежі не менш розрахованого значення; використання пожежобезпечних матеріалів, обладнання в будівлі, оснащення будівлі додатковими засобами гасіння пожежі або виявлення та оповіщення про пожежу та ін.).

4.2 Розробка схеми побудування ПКК, який забезпечить ефективне гасіння пожежі в заданих умовах його експлуатації

Програмний комплекс «ПКК» реалізований за допомогою пакета прикладних програм Maple, що складається з трьох частин:

- перша частина – «Алгоритм» – реалізує алгоритм визначення обладнання ПКК для конкретних умов його використання;

- друга частина – «Алгоритм – кількість води» – реалізує блоки алгоритму (рис. 4.1) та дозволяє виконати дослідження достатності кількості води з ПКК із заданими характеристиками в порівнянні з необхідною кількістю води для конкретних умов використання цього ПКК при змінах часу гасіння пожежі (часу подачі води);

- третя частина – «Алгоритм – напір» – реалізує блоки алгоритму (рис. 4.1) та дозволяє виконати порівняльний аналіз фактичних витрат води з ПКК із заданими (різними) характеристиками, з необхідною кількістю води для конкретних умов використання цього ПКК, в залежності від гарантованого напору в мережі внутрішнього водопостачання.

Вихідними даними для пакета «ПКК» є характеристики будівлі, пожежного навантаження та водопровідної мережі. Для частин 2 та 3-ї додатково можуть задаватися характеристики складових ПКК, якщо їх вибір здійснюється не за запропонованими рекомендаціями або метою роботи із програмою є визначення можливості забезпечення успішного гасіння пожежі із заданими характеристиками ПКК (рис. 4.2).

Перша частина «Алгоритм» включає в себе наступні кроки:

>restart;

характеристики пожежного навантаження:

$> Q_n :=; v_m :=; v_l :=; Q_{vod} :=;$

характеристики водопровідної мережі та обладнання ПКК:

$> P :=; s :=; d :=; l :=;$

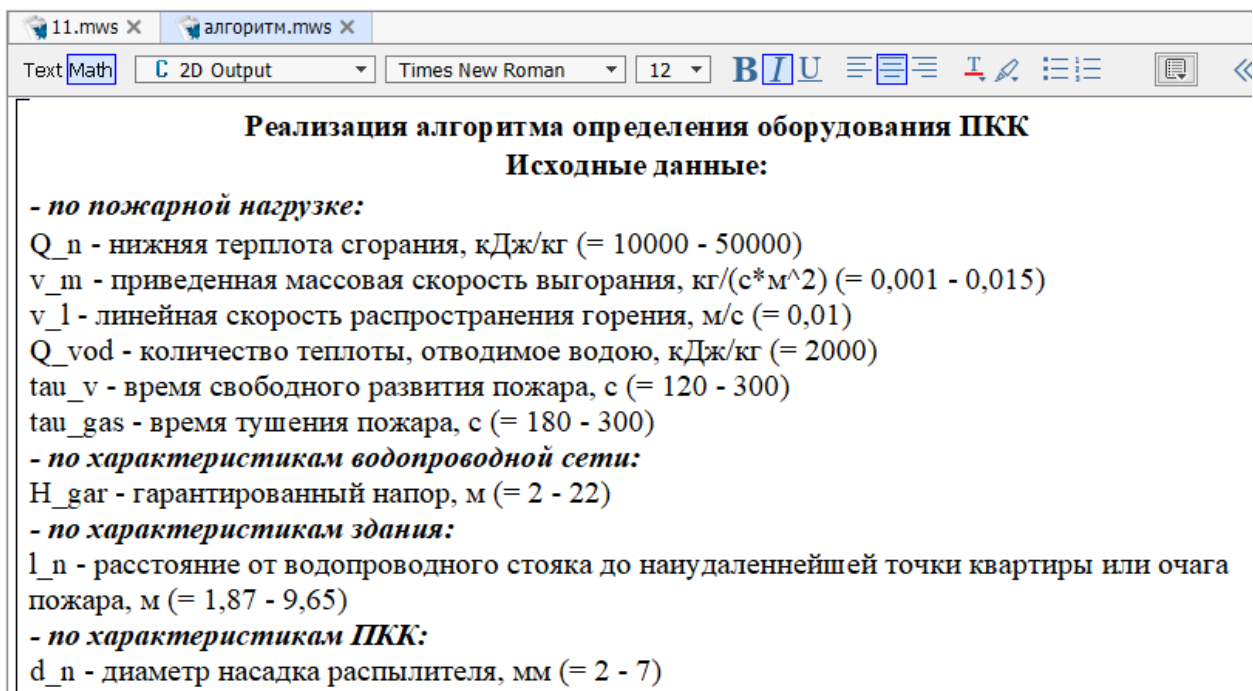


Рис. 4.2 – Вихідні дані для роботи програмного комплексу «ПКК»

3) задається фактичний напір у водопровідній мережі та перераховується в кодову величину:

- для підключення ПКК до господарсько-питної мережі:

$> x_1 := (P - 23) / 15;$

- для підключення ПКК до внутрішнього протипожежного водопроводу:

$> x_{11} := (P - 50) / 25;$

4) задається ступінь розгортання рукава та перераховується в кодову величину:

$> x_2 := (s - 60) / 28;$

5) задається діаметр випускного отвору розпорошувача та перераховується в кодову величину:

$> x_3 := (d - 9) / 3;$

6) задається довжина рукава та перераховується в кодову величину

$> x_4 := (l - 21) / 6;$

7) визначаються фактичні витрати води за формулами (2.1)–(2.10).

8) будується графік необхідних витрат води в залежності від часу вільного розвитку пожежі та часу гасіння пожежі та виконується порів-

няння одержаних величин із фактичними витратами з ПКК із різними характеристиками

```
> plot3d(q, taugas = 60...600, tauv = 60...300, color = black).
```

Реалізація першої частини «Алгоритм» програмного комплексу «ПКК» дозволяє:

- визначити необхідні витрати води для гасіння пожежі в залежності від характеристик будівлі та пожежного навантаження;

- змінювати характеристики пожежного навантаження та досліджувати вплив цих змін на необхідні витрати води;

- визначити фактичні витрати води для різних характеристик ПКК, місць його використання та фактичного тиску у водопровідній мережі;

- змінювати значення величин, що впливають на фактичні витрати води з ПКК, та досліджувати вплив цих змін на фактичні витрати води з ПКК;

- порівняти фактичні витрати води з необхідними та прийняти рішення про характеристики ПКК, які забезпечать успішне гасіння пожежі в заданій будівлі (рис. 4.3) або запропонувати ряд заходів та рекомендацій щодо використання ПКК і додаткового захисту людей та майна в цій будівлі.

Друга частина «Алгоритм – кількість води» включає в себе наступні кроки:

```
>restart;
```

характеристики пожежного навантаження:

```
> Qn :=; vm :=; v1 :=; Qvod :=; > tauv :=;
```

характеристики водопровідної мережі та обладнання ПКК:

```
> P :=; s :=; d :=; l :=;
```

1) розрахунок параметра X :

```
> X := (Qn vm ((v1)2 3.14) / (4Qvod))
```

2) розрахунок необхідної кількості води q:

```
> q := (X((tauv)3))
```

3) повторюються кроки 3)–6) попереднього алгоритму;

4) визначаються фактичні витрати води шляхом множення відповідного виразу (2.1)–(2.10) на час гасіння;

5) будуються графіки необхідної кількості води та фактичної кількості води для різних характеристик ПКК в залежності від часу гасіння

```
> plot({q, y1, y2, y3, y4, y7, y8}, taugas = 0...60)
```

```
> plot({q, y5, y6, y7, y8, y9, y10}, taugas = 0...60)
```

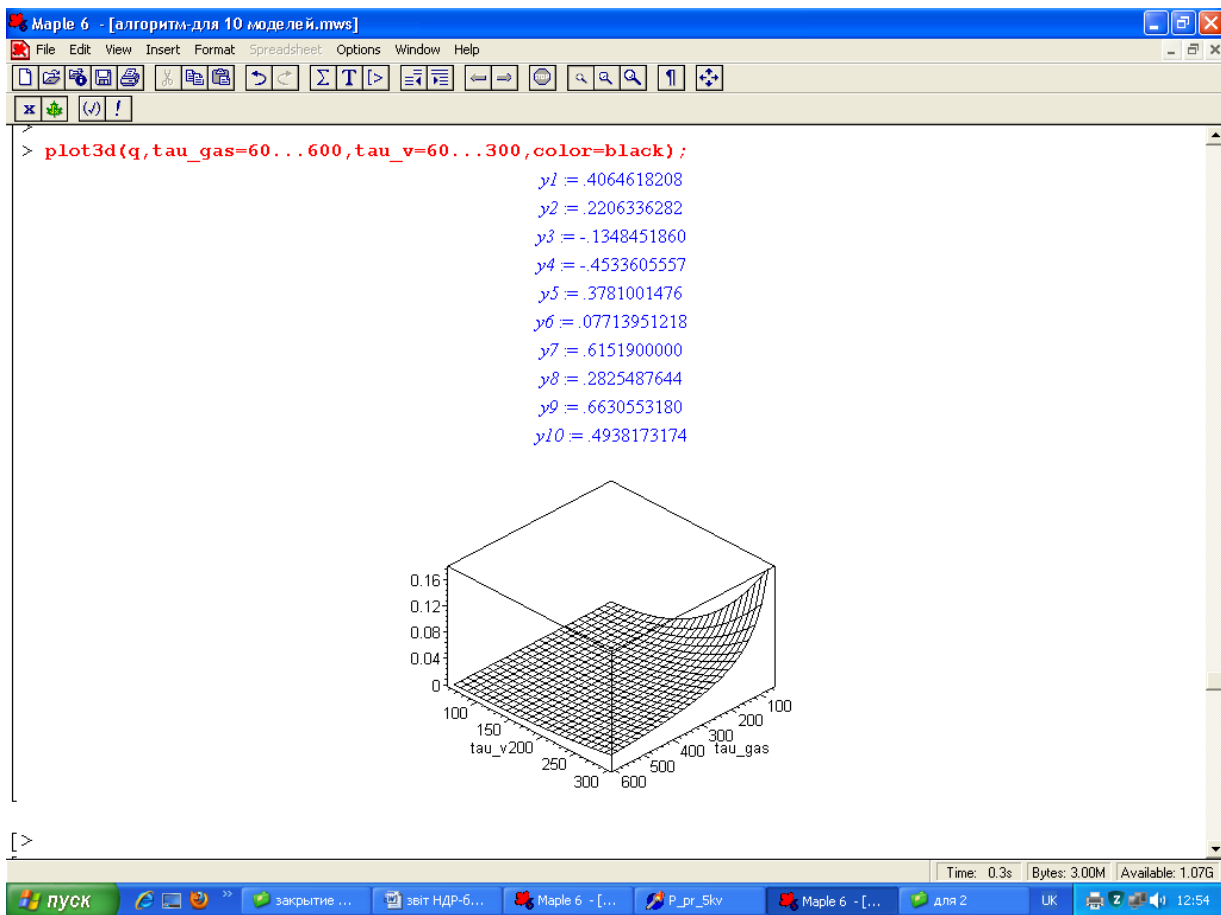


Рис. 4.3 – Приклад графічної реалізації програмного комплексу «ПКК» першої частини «Алгоритм»

Реалізація другої частини «Алгоритм – кількість води» програмного комплексу «ПКК» дозволяє:

- визначити необхідні витрати води для гасіння пожежі в залежності від характеристик будівлі, пожежного навантаження та часу вільного розвитку пожежі;
- змінювати характеристики будівлі, пожежного навантаження та часу вільного розвитку пожежі й досліджувати вплив цих змін на необхідні витрати води;
- визначити фактичні витрати води для різних характеристик ПКК, місць його використання та фактичного тиску й водопровідній мережі в залежності від часу гасіння пожежі;
- змінювати значення величин, що впливають на фактичні витрати води з ПКК, та досліджувати вплив цих змін на фактичні витрати води з ПКК у заданому інтервалі значень часу гасіння пожежі;
- графічно дослідити фактичні витрати води з ПКК із різними характеристиками в залежності від часу гасіння пожежі та порівняти їх з необхідними витратами для заданих умов експлуатації ПКК (рис. 4.4), а та-

кож прийняти обґрунтоване рішення про характеристики ПКК, які забезпечать успішне гасіння пожежі в заданій будівлі або запропонувати ряд заходів та рекомендацій щодо використання ПКК та додаткового захисту людей та майна в цій будівлі.

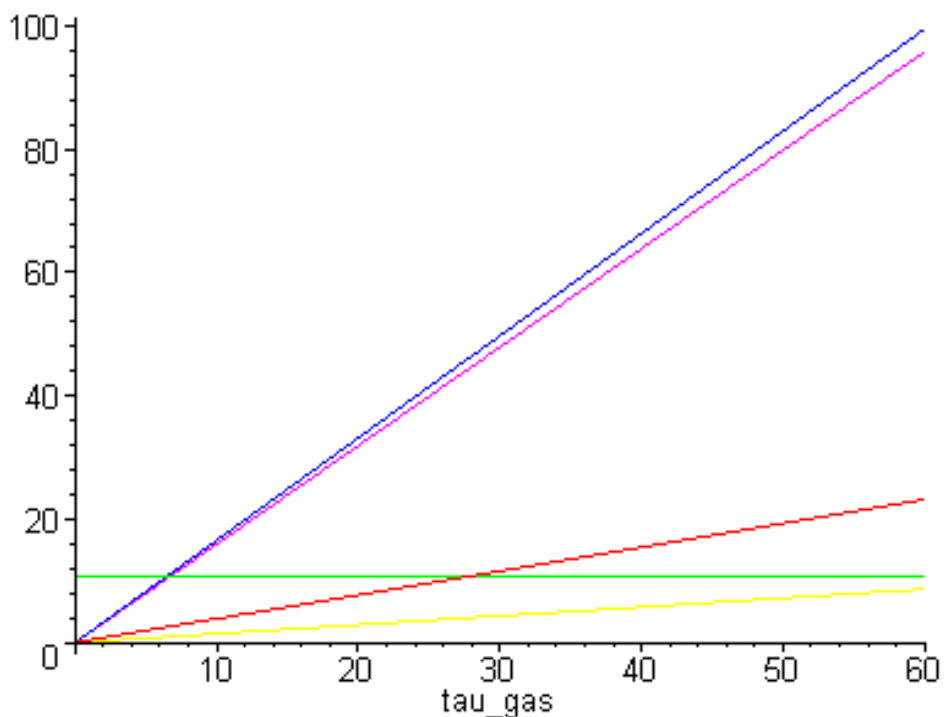


Рис. 4.4 – Приклад графічної реалізації програмного комплексу «ПКК» другої частини «Алгоритм – кількість води»

Третя частина – «Алгоритм – напір» включає в себе наступні кроки:

>restart;

характеристики пожежного навантаження:

> $Q_n :=$; $v_m :=$; $v_1 :=$; $Q_{vod} :=$; $\tau_v :=$; $\tau_{gas} :=$;

характеристики водопровідної мережі та обладнання ПКК:

> $s :=$; $d :=$; $l :=$;

1) розрахунок параметра X:

> $X := (Q_n v_m ((v_1)^2 3.14) / (4Q_{vod}))$

2) розрахунок необхідної кількості води q:

> $q := (X((\tau_v)^3)) / \tau_{gas}$

3) фактичний напір у водопровідній мережі перераховується в кодову величину:

– для підключення ПКК до господарсько-питної мережі:

> $x_1 := (P - 23) / 15$;

– для підключення ПКК до внутрішнього протипожежного водопроводу:

$$> x_{11} := (P - 50) / 25;$$

4) задається ступінь розгортання рукава та перераховується в кодову величину

$$> x_2 := (s - 60) / 28;$$

5) задається діаметр випускного отвору розпорошувача та перераховується в кодову величину:

$$> x_3 := (d - 9) / 3;$$

6) задається довжина рукава та перераховується в кодову величину:

$$> x_4 := (l - 21) / 6;$$

7) визначаються фактичні витрати води за виразами (2.1)–(2.10);

8) будуються графіки необхідної кількості води та фактичної кількості води для різних характеристик ПКК у залежності від гарантованого напору в мережі:

$$> \text{plot}(\{q, y_1, y_2, y_3, y_4, y_7, y_8\}, H_{\text{gar}} = 2 \dots 44)$$

$$> \text{plot}(\{q, y_5, y_6, y_7, y_8, y_9, y_{10}\}, H_{\text{gar}} = 15 \dots 85)$$

Реалізація третьої частини «Алгоритм – напір» програмного комплексу «ПКК» дозволяє:

– визначити необхідні витрати води для гасіння пожежі в залежності від характеристик будівлі, пожежного навантаження, за заданих значень часу вільного розвитку та гасіння пожежі;

– змінювати характеристики будівлі, пожежного навантаження, часу вільного розвитку та гасіння пожежі й досліджувати вплив цих змін на необхідні витрати води;

– визначити фактичні витрати води для різних характеристик ПКК, місць його використання в залежності від гарантованого тиску у водопровідній мережі;

– змінювати значення величин, що впливають на фактичні витрати води з ПКК, та досліджувати вплив цих змін на фактичні витрати води з ПКК у заданому інтервалі значень гарантованого тиску в мережі;

– графічно дослідити фактичні витрати води з ПКК із різними характеристиками в залежності від гарантованого тиску у водопровідній мережі та порівняти їх з необхідними витратами для заданих умов експлуатації ПКК (рис. 4.5), а також прийняти обґрунтоване рішення про характеристики ПКК, які забезпечать успішне гасіння пожежі в заданій будівлі або запропонувати ряд заходів та рекомендацій щодо використання ПКК та додаткового захисту людей та майна в цій будівлі.

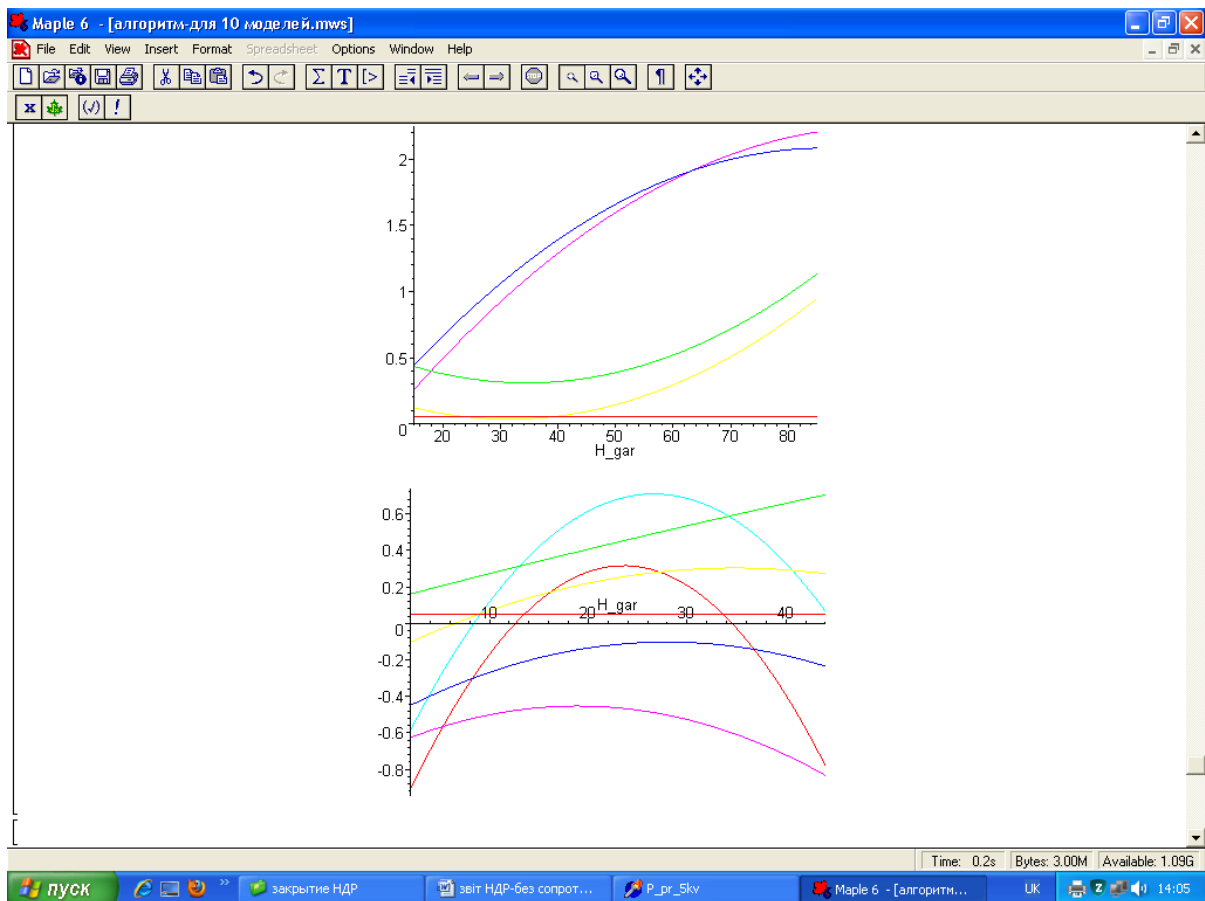


Рис. 4.5 – Приклад графічної реалізації програмного комплексу «ПКК» третьої частини «Алгоритм – напір»

Всі частини запропонованого програмного комплексу «ПКК» можуть використовуватися окремо або сумісно. Перевагами роботи з програмним комплексом є доступність, зручність його використання, відкритість його у виборі меж вихідних даних та можливість корегування при виникненні необхідності (випуск нових ПКК із характеристиками, що відрізняються від тих, що закладені в комплексі). Комплекс дає можливість визначити або перевірити прийняті характеристики складових ПКК за конкретних умов їх використання та провести дослідження щодо можливості ПКК забезпечити успішне гасіння пожежі за прийнятих умов (характеристик будівлі, пожежного навантаження або (та) водопровідної мережі). В результаті роботи із програмним комплексом можна робити висновки про доцільність використання ПКК для гасіння пожежі або про умови, за яких ПКК не зможуть забезпечити успішне гасіння пожежі та відповідно, користувачам необхідно здійснювати додаткові заходи із захисту будівлі або забезпечувати евакуацію людей та заходи з рятування матеріальних цінностей.

4.3 Розробка рекомендацій щодо визначення характеристик ПКК на стадії проектування житлової будівлі

Пожежний кран-комплект, виконаний відповідно до [68], складається з рукава, розпорошувача з перекиривним пристроєм та встановлюється:

– у квартирах житлових будівель з умовною висотою понад 47 м, приєднується до мережі господарсько-питного водопроводу будівлі та складається з пожежного рукава довжиною 15 м, діаметром 19 мм (або 25, 33 мм) на катушці та розпорошувача, забезпечує можливість подачі води в будь-яку точку квартири з урахуванням отримання струменя води довжиною 3 м (ДБН В.2.5-64:2012 «Внутрішній водопровід та каналізація» п. 8.3, ДБН В.2.2-15:2005 «Житлові будівлі» п. 4.27, ДБН В.2.2-24:2009 «Проектування висотних житлових та громадських будівель» п. 9.108);

– в шафах пожежних кран-комплектів разом з пожежним кран-комплексом діаметром 50 мм або 65 мм, складається з напівжорсткого рукава діаметром 25 мм на катушці, приєднується до пожежного стояка через вхідний запірний вентиль (ДБН В.2.2-24-2009 «Проектування висотних житлових та громадських будівель» п. 9.106, ДБН В.2.5-64:2012 «Внутрішній водопровід та каналізація» п. 8.13).

Вихідними даними для проектування пожежних кран-комплектів є:

- фактичний напір у водопровідній мережі:

а) $R_{ГПВ}$ – для ПКК, встановлених у квартирах та підключених до господарсько-питного водопроводу, м;

б) $R_{ВПВ}$ – для ПКК, встановлених у шафах ПКК та підключених до внутрішнього протипожежного водопроводу, м;

- відстань від стояків, до яких підключається ПКК (система холодного господарсько-питного водопостачання або протипожежного водопостачання) до найвіддаленої точки квартири;

- пожежне навантаження квартири.

Для забезпечення протипожежного захисту будівлі за рахунок подачі води на потреби пожежогасіння від внутрішнього водопроводу необхідно створити умови, при яких його елементи будуть мати характеристики, здатні виконувати відповідні функції. Задачею цього дослідження є визначення характеристик складових ПКК діаметром 19, 25 або 33 мм. За вимогами нормативних документів [15, 20, 68] ПКК повинні забезпечити подачу води витратою 0,5 л/с. Аналіз пожежного навантаження сучасних будівель, статистичних даних часу розвитку та гасіння пожеж і розрахунки показали, що необхідні витрати води переважно обмежуються значеннями 0,015–2,5 л/с [64]. Фактичні витрати води з ПКК, у залежності від початкових умов, можуть змінюватися в межах 0,15–4,3 л/с [86]. Однак при цьому значний вплив на результат здійснює тиск у мережі, до якої приєднується ПКК. Використовуючи отримані моделі ви-

трат води з ПКК, проведено дослідження діаметра насадка розпорошувача ПКК [56] за фіксованих значень довжини рукава 15 м та середнього значення ступеня розгортання рукава 50 %, для значень витрат води 0,015; 0,5 та 2,5 л/с, при гарантованому тиску в мережі 2; 20 та 40 м (для ПКК, що приєднуються до господарсько-питної мережі) та 20; 40 та 60 м (для ПКК, приєднаних до внутрішнього протипожежного водопроводу (ВПВ)). Дослідження проводились для двох типів рукавів – плоскозгорнутих та напівжорстких. Вибір значень тиску обумовлений фактичними обмеженнями, закладеними в нормативному документі, та його змінами по висоті будівлі в залежності від віддаленості від насосів-підвищувачів. Результати дослідження зведено до табл. 4.1.

Аналізуючи результати, наведені в табл. 4.1, можна дійти наступних висновків:

- комплектування ПКК рукавами 19 мм є практично недоцільним. Лише за умов тиску в мережі 20 м (а це фактично гарантований напір у межах перших чотирьох поверхів будівлі), ПКК із таким обладнанням зможе забезпечити подачу нормативних витрат води. Але, враховуючи характеристики пожежного навантаження сучасних будівель, можна сказати, що після декількох хвилин розвитку пожежі, значення необхідних витрат води перевищують 0,5 л/с;

- плоскозгорнуті рукава діаметром 25 або 33 мм можна використовувати для комплектування ПКК у будівлях із невеликим пожежним навантаженням або низькоінерційною системою виявлення пожежі та оповіщення про неї;

- напівжорсткі рукава зможуть забезпечити нормативну та необхідну подачу води практично при всіх початкових даних на всіх поверхах будівлі. При цьому діаметр насадка розпорошувача повинен бути

(2–9) мм (рис. 4.6, а), що відповідає межах стандартного комплектування (4–12) мм.

Найчастіше ПКК встановлюють у шафах звичайних пожежних кран-комплектів діаметром 50 або 65 мм та приєднують до системи внутрішнього протипожежного водопроводу. Тому за запропонованою методикою проведено дослідження характеристик складових ПКК, який комплектується рукавами 25 або 33 мм та забезпечується тиском до 90 м. Гідрравлічні розрахунки системи ВПВ показали, що в залежності від віддаленості ПКК від насосів-підвищувачів та поверху їх встановлення, тиск у мережі становить 20, 40 або 60 м. Результати дослідження зведено до табл. 4.2.

Таблиця 4.1 – Визначення діаметра насадка розпорошувача ПКК, приєднаного до господарсько-питної мережі будівлі

№	Діаметр рукава, мм	Тип рукава	Діаметр насадка розпорошувача, мм, при витратах води, л/с, та напорах, м								
			0,015 л/с			0,5 л/с			2,5 л/с		
			2 м	20 м	40 м	2 м	20 м	40 м	2 м	20 м	40 м
1	19	ПЗР	–	–	–	–	12	–	–	–	–
2	19	НЖР	5	3	2	–	7	6	–	–	–
3	25	НЖР	6	4	4	–	6	5	–	–	12
4	25	НЖР	6	5	5	9	6	6	–	–	–
5	33	НЖР	5	4	4	7	4	4	–	9	8
6	33	НЖР	6	4	4	7	5	5	–	8	8

Аналізуючи значення з табл. 4.2, можна дійти наступних висновків:

– ПКК, приєднані до ВПВ, забезпечують подачу нормативних витрат води (0,5 л/с) в будь-якій комплектації, але використання розпорошувачів мінімального діаметра насадка є недоцільним;

– в разі встановлення ПКК у будівлях з невеликим пожежним навантаженням (необхідні витрати води – близько 0,015 л/с) можна використовувати плоскозгорнуті та напівжорсткі рукава діаметром 25 або 33 мм та розпорошувачі мінімального типорозміру (рис. 4.6, б), незалежно від гарантованого тиску в мережі та інерційності системи виявлення пожежі й оповіщення про неї;

– для будівель підвищеної пожежної безпеки при визначенні характеристик складових ПКК необхідно враховувати фактичний час виявлення пожежі, використовувати обладнання ПКК із мінімальним опором його складових та особливу увагу приділяти забезпеченню надійності роботи насосного обладнання.

Таблиця 4.2 – Визначення діаметра насадка розпорошувача ПКК, приєднаного до внутрішнього протипожежного водопроводу будівлі

№	Діаметр рукава, мм	Тип рукава	Діаметр насадка розпорошувача, мм, при витратах води, л/с, та напорах, м								
			0,015 л/с			0,5 л/с			2,5 л/с		
			20 м	40 м	60 м	20 м	40 м	60 м	20 м	40 м	60 м
1	25	ПЗР	3	3	3	4	4	4	–	–	12
2	25	НЖР	4	4	3	6	5	5	–	–	14
3	33	ПЗР	3	2	1	4	2	2	–	7	5
4	33	НЖР	3	2	2	4	3	2	–	7	5

Реалізуючи запропонований алгоритм та використовуючи отримані моделі витрат води з ПКК, для ПКК, встановленого в 25-поверховій житловій будівлі, яка знаходиться по вул. Культури, 20 у м. Харкові, виконаний розрахунок витрат води, що можна одержати з ПКК, що є складовим елементом ПКК, встановленого:

- у квартирі типу 3А, загальною площею 139,13 м², із двома санвузлами (ПКК приєднаний до господарсько-питної мережі квартири);
- на сходовій клітці в шафі пожежного кран-комплекту (ПКК приєднаний до внутрішнього протипожежного водопроводу будівлі).

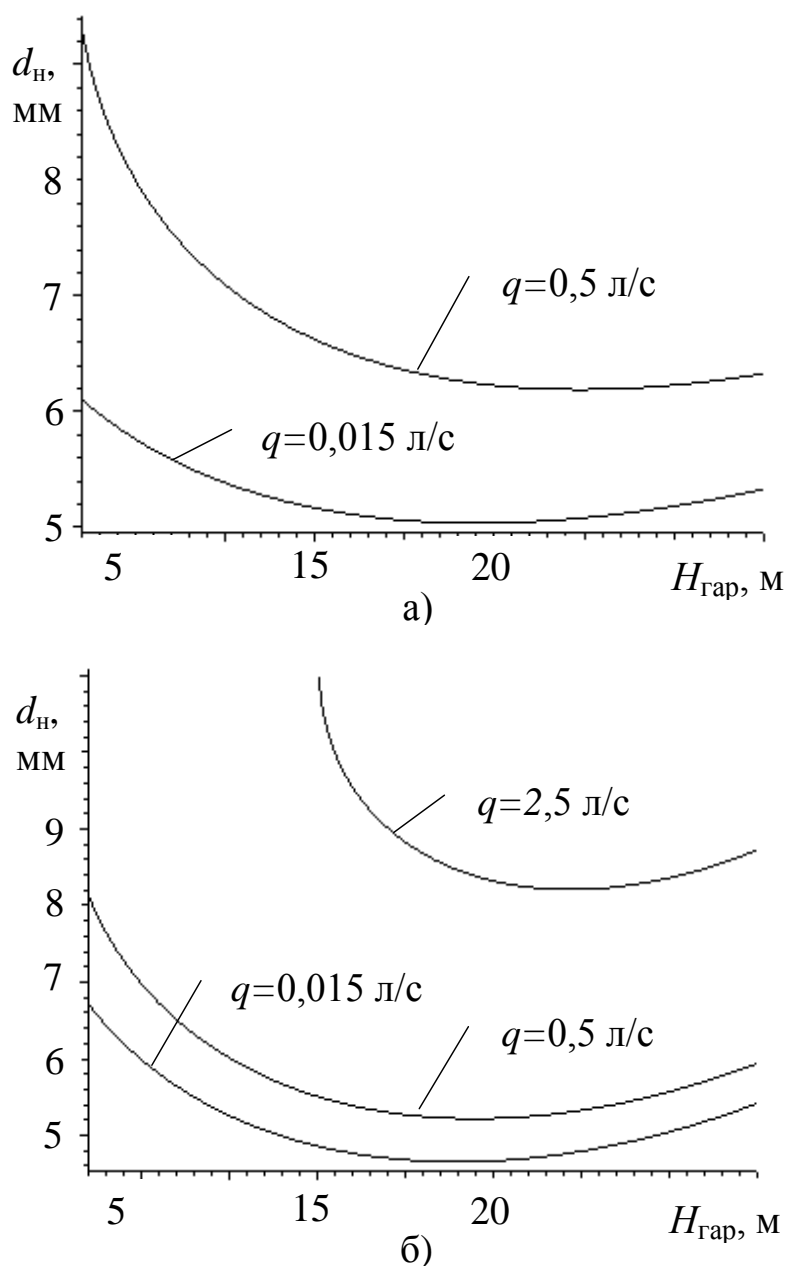


Рис. 4.6 – Залежність діаметра насадка розпорозувача d_n для ПКК, приєднаного до господарсько-питної мережі, від гарантованого напору в мережі $H_{гар}$, укомплектованого напівжорстким рукавом діаметром: а) 25 мм; б) 33 мм

- Вихідними даними для розрахунку виступають:
- фактичний напір у водопровідній мережі:
 - у господарсько-питній – 5 м (напір у точці приєднання ПКК до господарсько-питного стояка на 25-му поверсі);
 - у внутрішньому протипожежному водопроводі – 50 м (напір у точці приєднання ПКК до стояка внутрішнього протипожежного водопроводу на 25-му поверсі);
 - ступінь розгортання рукава приймається 90 %;
 - діаметр насадка розпорошувача приймається 5, 8 та 12 мм;
 - довжина рукава:
 - для квартири – 16 м (відповідає відстані від стояків системи холодного водопостачання до найвіддаленішої точки квартири);
 - для ПКК на сходовій клітці – 29,5 м.
- Розрахунок виконаний для двох типів рукавів – плоскозгорнутих та напівжорстких. Результати розрахунку зведено до табл. 4.3.

Таблиця 4.3 – Визначення витрат води з ПКК при зміні характеристик його складових та умов підключення

№	Діаметр рукава, мм	Тип рукава	Витрати води з ПКК, л/с, при діаметрі насадка розпорошувача, мм, та напорі, м					
			5 мм		8 мм		12 мм	
			5 м	50 м	5 м	50 м	5 м	50 м
1	19	ПЗР	0,19	-	0,24	-	0,33	-
2	19	НЖР	0,14	-	0,33	-	0,33	-
3	25	ПЗР	0,067	0,5	0,57	1,38	0,7	2,05
4	25	НЖР	-0,18*	0,33	0,54	1,18	0,7	1,88
5	33	ПЗР	0,135	1,58	0,99	2,53	0,92	2,86
6	33	НЖР	-0,017	1,36	1,09	2,51	0,81	2,83

Примітка: * – від’ємне значення витрат води свідчить про неможливість використання ПКК із прийнятими характеристиками обладнання.

Аналізуючи результати, наведені в табл. 4.3, можна дійти наступних висновків:

- для забезпечення можливості гасіння пожежі в заданій будівлі доцільно використовувати ПКК із наступними характеристиками:

- для квартир – рукава напівжорсткі та плоскозгорнуті діаметром 19 мм, довжиною 16 м з розпорошувачем діаметром від 5 до 12 мм (можливе використання рукавів діаметром 25 або 33 мм, але при цьому слід комплектувати ПКК насадком діаметром не менше 8 мм);

- для сходових кліток – рукава напівжорсткі та плоскозгорнуті діаметром 25 або 33 мм, довжиною 29,6 м з розпорошувачем діаметром від 5 до 12 мм;

– при використанні ПКК із різними характеристиками можливе забезпечення подачі фактичної витрати води в межах:

– для квартир – (0,135–1,09) л/с;

– для сходових кліток – (0,33–2,53) л/с.

Аналізуючи одержані результати, встановлено, що фактичні витрати води при використанні ПКК із різними характеристиками відрізняються від значення витрат, що рекомендується для успішного гасіння пожежі. В таблиці 4.4 наведено значення фактичних витрат води з ПКК (у відсотках від рекомендованих витрат води 0,5 л/с) для різних характеристик обладнання ПКК та умов його використання, які менші 0,5 л/с.

Аналіз таблиці 4.4 дозволяє дійти висновку, що найменші фактичні витрати води з ПКК при зміні характеристик його елементів складають від 27 до 66 відсотків від рекомендованих для успішного гасіння пожежі 0,5 л/с, що означає, що при використанні обладнання ПКК, розрахованого за запропонованим алгоритмом, можна зменшити кількість води з ПКК на 34–73 %; при цьому умова успішного гасіння пожежі буде виконуватися.

Таблиця 4.4 – Відсоток фактичних витрат води з ПКК від рекомендованих витрат води для успішного гасіння пожежі для різних характеристик складових ПКК та умов підключення

№	Діаметр рукава, мм	Тип рукава	Відсоток фактичних витрат води з ПКК від рекомендованих, %, при діаметрі насадка розпорошувача, мм, та напорі, м					
			5 мм		8 мм		12 мм	
			5 м	50 м	5 м	50 м	5 м	50 м
1	19	ПЗР	38	–	48	–	66	–
2	19	НЖР	28	–	66	–	66	–
3	25	ПЗР	–*	+**	+	+	+	+
4	25	НЖР	–	66	+	+	+	+
5	33	ПЗР	27	+	+	+	+	+
6	33	НЖР	–	+	+	+	+	+

Примітки: * – обладнання із заданими характеристиками не використовується;

** – фактичні витрати води з ПКК із заданими характеристиками перевищують рекомендовані витрати води для успішного гасіння пожежі.

Проведено дослідження діаметра насадка розпорошувача ПКК за фіксованих значень довжини рукава та середнього значення ступеня розгортання рукава для різних значень витрат води, за умов гарантованого тиску в мережі. Отримані результати надали можливість визначити характеристики складових ПКК, якими обладнуються сучасні будівлі та які є елементами системи їх протипожежного захисту. Встановлено, що найбільш доцільним є приєднання ПКК до системи внутрішнього протипо-

жежного водопостачання, яка здатна забезпечити подачу води до ПКК у кількості та з тиском, які створюють умови успішного гасіння пожежі в будівлі на будь-якому поверсі в початковій стадії її розвитку.

Для підвищення ефективності використання ПКК доцільно встановлювати їх разом із низькоінерційною системою виявлення пожежі та оповіщення про неї, або в будівлях із невеликим пожежним навантаженням. Використання ПКК малого діаметра рукава та діаметра розпорощувача, приєднаного до господарсько-питної мережі, є можливим лише в перші секунди розвитку пожежі. Виконання відповідних правил проектування та використання ПКК забезпечить їх ефективну роботу у складі системи протипожежного захисту будівлі.

Порядок проектування пропонується за двома варіантами:

– перший варіант – метою розрахунку є визначення фактичної кількості води з ПКК із прийнятими характеристиками та порівняння цієї величини з необхідними витратами для пожежогасіння або з мінімальними нормативними витратами (0,5 л/с);

– другий варіант – метою розрахунку є визначення необхідної кількості води на пожежогасіння та, виходячи з цього, – визначення характеристик ПКК.

Першою частиною обох варіантів проектування є визначення необхідних витрат води на пожежогасіння.

1. Визначаються необхідні витрати води для успішного гасіння пожежі, для цього:

1.1 визначаються за довідником:

– нижча теплота згоряння – Q_n , кДж/кг;

– приведена масова швидкість вигорання – v_m , кг/(с·м²);

1.2 розраховується параметр X за формулою (3.9):

1.3 визначається час вільного розвитку пожежі τ_v – залежить від інерційності елементів виявлення та сповіщення про пожежу (за відсутності даних час вільного розвитку пожежі прийняти (120 ÷ 300) с);

1.4 приймається час гасіння пожежі $\tau_{гас}$ (рекомендується прийняти (180 ÷ 300) с).

1.5 розраховуються необхідні витрати води для гасіння пожежі за

формулою $q = \frac{X \cdot \tau_v^3}{\tau_{гас}}$, л/с.

Друга частина варіанта 1 – визначення фактичної кількості води із ПКК з прийнятими характеристиками:

2.1 задається фактичний напір у водопровідній мережі ($R_{гпв}$, $R_{впв}$, м) та перераховується в кодову величину:

– для підключення ПКК до господарсько-питної мережі:

$$x_1 = \frac{P_{\text{ГПВ}} - 23}{15};$$

– для підключення ПКК до внутрішнього протипожежного водопроводу:

$$x_{11} = \frac{P_{\text{ВПВ}} - 50}{25};$$

2.2 задається ступінь розгортання рукава (виходячи з місця встановлення ПКК у квартирі або в шафі та його віддаленості від можливого місця виникнення пожежі, або найвіддаленішої точки захисту) та перераховується в кодову величину:

$$x_2 = \frac{s - 60}{28},$$

де s – ступінь розгортання рукава, % (визначається як відсоток відстані від стояків, до яких підключається ПКК (система холодного господарсько-питного водопостачання або протипожежного водопостачання) до найвіддаленішої точки квартири (довжини рукава) у відношенні до віддаленості найімовірнішого місця виникнення пожежі);

2.3 задається діаметр випускного отвору розпорошувача та перераховується в кодову величину:

$$x_3 = \frac{d - 9}{3},$$

де d – діаметр випускного отвору розпорошувача, мм;

2.4 задається довжина рукава та перераховується в кодову величину

$$x_4 = \frac{l - 21}{6},$$

де l – довжина рукава, м;

2.5 визначаються фактичні витрати води для різних умов встановлення ПКК та характеристик його складових:

– для ПКК, який приєднується до господарсько-питного водопроводу та комплектується плоскозгорнутим рукавом діаметром 19 мм, – вираз (2.1);

– для ПКК, який приєднується до господарсько-питного водопроводу та комплектується напівжорстким рукавом діаметром 19 мм, – вираз (2.2);

– для ПКК, який приєднується до господарсько-питного водопроводу та комплектується плоскозгорнутим рукавом діаметром 25 мм, – вираз (2.3);

– для ПКК, який приєднується до господарсько-питного водопроводу та комплектується напівжорстким рукавом діаметром 25 мм, – вираз (2.4);

– для ПКК, який приєднується до внутрішнього протипожежного водопроводу та комплектується плоскозгорнутим рукавом діаметром 25 мм, – вираз (2.5);

– для ПКК, який приєднується до внутрішнього протипожежного водопроводу та комплектується напівжорстким рукавом діаметром 25 мм, – вираз (2.6);

– для ПКК, який приєднується до господарсько-питного водопроводу та комплектується плоскозгорнутим рукавом діаметром 33 мм, – вираз (2.7);

– для ПКК, який приєднується до господарсько-питного водопроводу та комплектується напівжорстким рукавом діаметром 33 мм, – вираз (2.8);

– для ПКК, який приєднується до внутрішнього протипожежного водопроводу та комплектується плоскозгорнутим рукавом діаметром 33 мм, – вираз (2.9);

– для ПКК, який приєднується до внутрішнього протипожежного водопроводу та комплектується напівжорстким рукавом діаметром 33 мм, – вираз (2.10);

2.6 пункти 2.1–2.5 повторити декілька разів (за необхідності) для різних значень характеристик обладнання ПКК.

Третя частина варіанта 1

Порівнюються необхідні витрати води (або мінімальні нормативні витрати – 0,5 л/с) з фактичними для ПКК із різними характеристиками та:

– приймається рішення щодо можливих значень характеристик складових ПКК – можливі значення приймаються за умовою, що фактичні витрати води, що одержуються з ПКК, укомплектованого складовими з визначеними характеристиками, не менші, ніж необхідні витрати води для заданої будівлі, а за умовою, що необхідні витрати води не визначені, не менші за нормативні;

– за умовою, що всі розраховані варіанти комплектування ПКК не забезпечують можливості подачі необхідної кількості води на пожежогашіння (або мінімальні нормативні витрати), приймається рішення щодо комплектування ПКК обладнанням, що забезпечує мінімальні втрати тиску (найбільші діаметри випускного отвору розпорошувача та рукава, найменша довжина рукава) та надаються пропозиції щодо умов викори-

стання ПКК (наприклад: при спрацюванні ПКК включати насоси-підвищувачі та забезпечувати тиск у мережі не менш ніж визначений; якщо час початку використання ПКК перевищує зазначений час, використовувати ПКК, що приєднані до ВПВ, та ін.).

Друга частина варіанта 2 – визначення можливих характеристик ПКК.

2.1 відповідає п.2.1 за першим варіантом розрахунку;

2.2 відповідає п.2.2 за першим варіантом розрахунку;

2.3 фактичні витрати води з ПКК прийняти рівними тим витратам, що необхідні для успішного гасіння пожежі q (визначені в п. 1.5 цих рекомендацій);

2.4 розрахувати діаметр випускного отвору розпорошувача та довжину рукава для різних типів та діаметрів рукавів (за формулами п. 2.5 першого варіанту розрахунку).

Третя частина варіанта 2

Прийняти кінцеве рішення про діаметр і довжину рукава та діаметр випускного отвору розпорошувача, виходячи з економічних показників або наявності обладнання ПКК із визначеними характеристиками.

Таким чином, для визначення характеристик ПКК для конкретної житлової будівлі пропонується алгоритм, який складається з трьох блоків. Основними умовами для реалізації запропонованого алгоритму є наступні твердження:

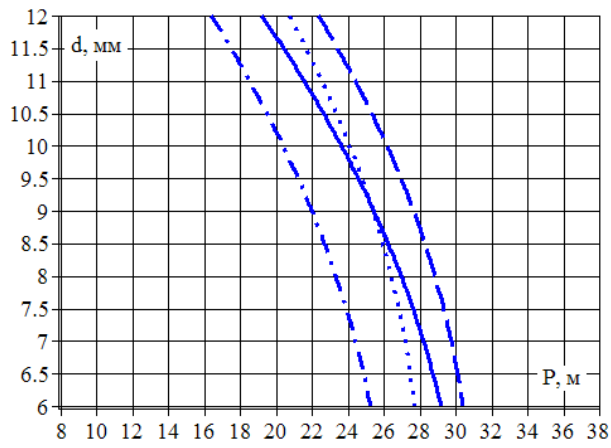
– ПКК зможе забезпечити подачу води в кількості, яка зможе відвести ту кількість енергії, яка виділяється під час пожежі;

– доцільно час вільного розвитку пожежі приймати в межах $120 \div 300$ с, в основному в залежності від інерційності елементів виявлення та сповіщення про пожежу;

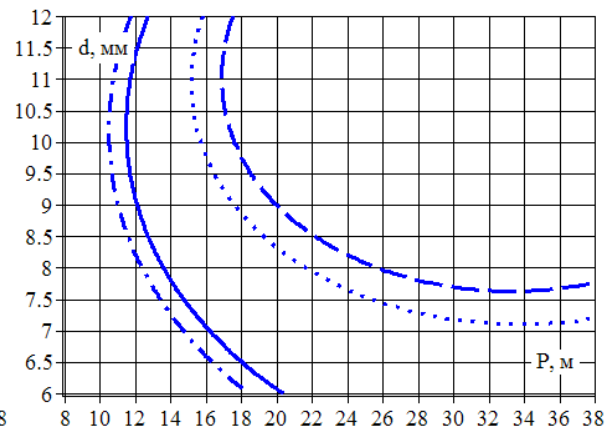
– доцільно, щоб час гасіння пожежі знаходився в межах $180 \div 300$ с.

Таким чином, реалізуючи роботу трьох блоків запропонованого алгоритму, можна для заданої житлової будівлі (враховуючи її конструктивні особливості та характеристики пожежного навантаження), яка забезпечується водою з водопровідної мережі з відомими гідравлічними параметрами, визначити характеристики обладнання ПКК (діаметр та довжину рукава, діаметр випускного отвору розпорошувача). При цьому, за умовою працездатності водопровідної мережі, пожежа у квартирі буде ліквідована на початковій стадії її розвитку, тобто з мінімальними збитками від неї.

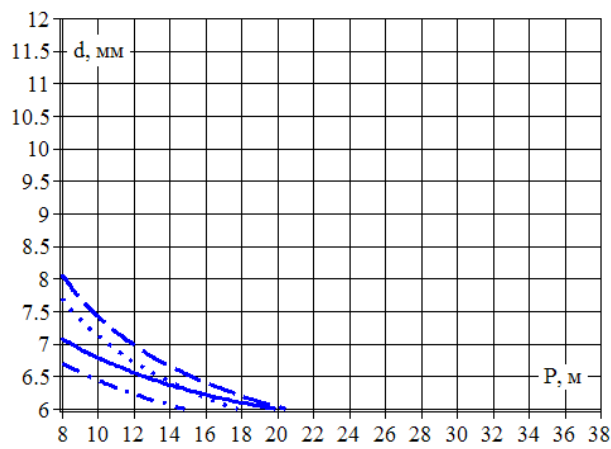
Встановлюючи рівень витрат води $0,5$ л/с та $2,5$ л/с, можна отримати лінії перетину з поверхнею q (прикладі яких зображено на рис. 2.6–2.8), які можуть слугувати номограмами для визначення допустимих параметрів ПКК. Отримані номограми разом із легендою наведено на рис. 4.7–4.8.



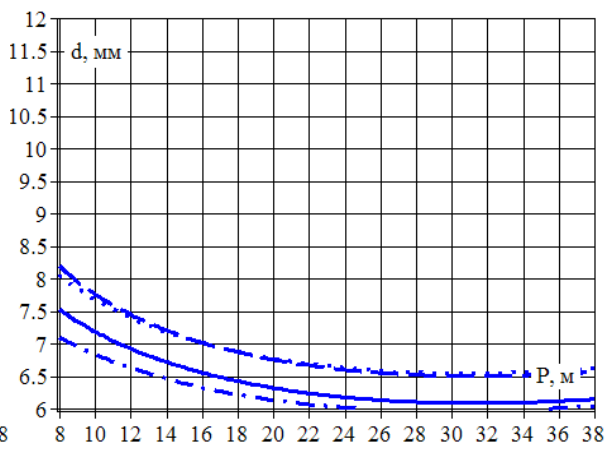
а)



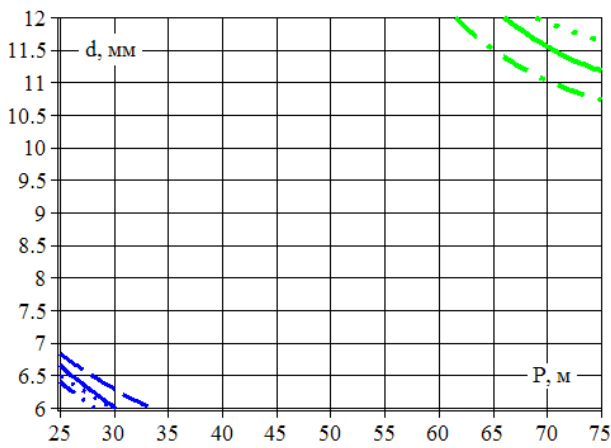
б)



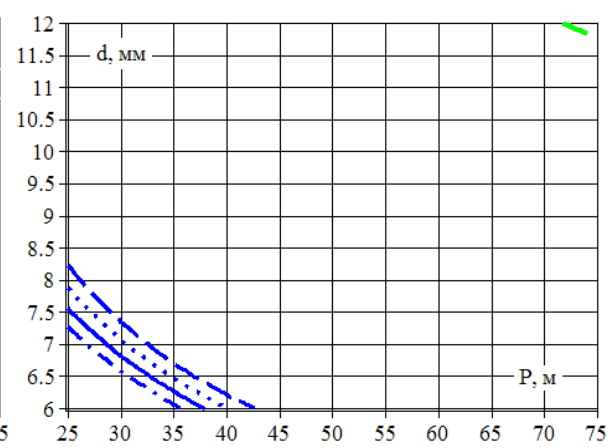
в)



г)



д)



е)

Рис. 4.7 – Номограми для визначення допустимих параметрів ПКК:

а) ГПВ ПЗР – 19 мм; б) ГПВ НЖР – 19 мм; в) ГПВ ПЗР – 25 мм; г) ГПВ НЖР – 25 мм; д) ВПВ ПЗР – 25 мм; е) ВПВ НЖР – 25 мм (див. легенду до рис. 4.8)

Для двох рівнів витрат $q_1=0,5$ л/с та $q_2=2,5$ л/с в табл. 4.5 помічені допустимі характеристики складових ПКК (для ступеня розгортання рукава 88 % та за довжини 15 м за відповідних рівнів тиску).

Наведені номограми дозволяють визначити доцільність комплектації ПКК складовими з тими чи іншими характеристиками за критерієм виконання нормативних вимог для витрат води.

Для двох рівнів витрат – $q_1=0,5$ л/с та $q_2=2,5$ л/с – в табл. 4.5 помічені допустимі характеристики складових ПКК (для ступеня розгортання рукава 88 % та за довжини 15 м за відповідних рівнів тиску).

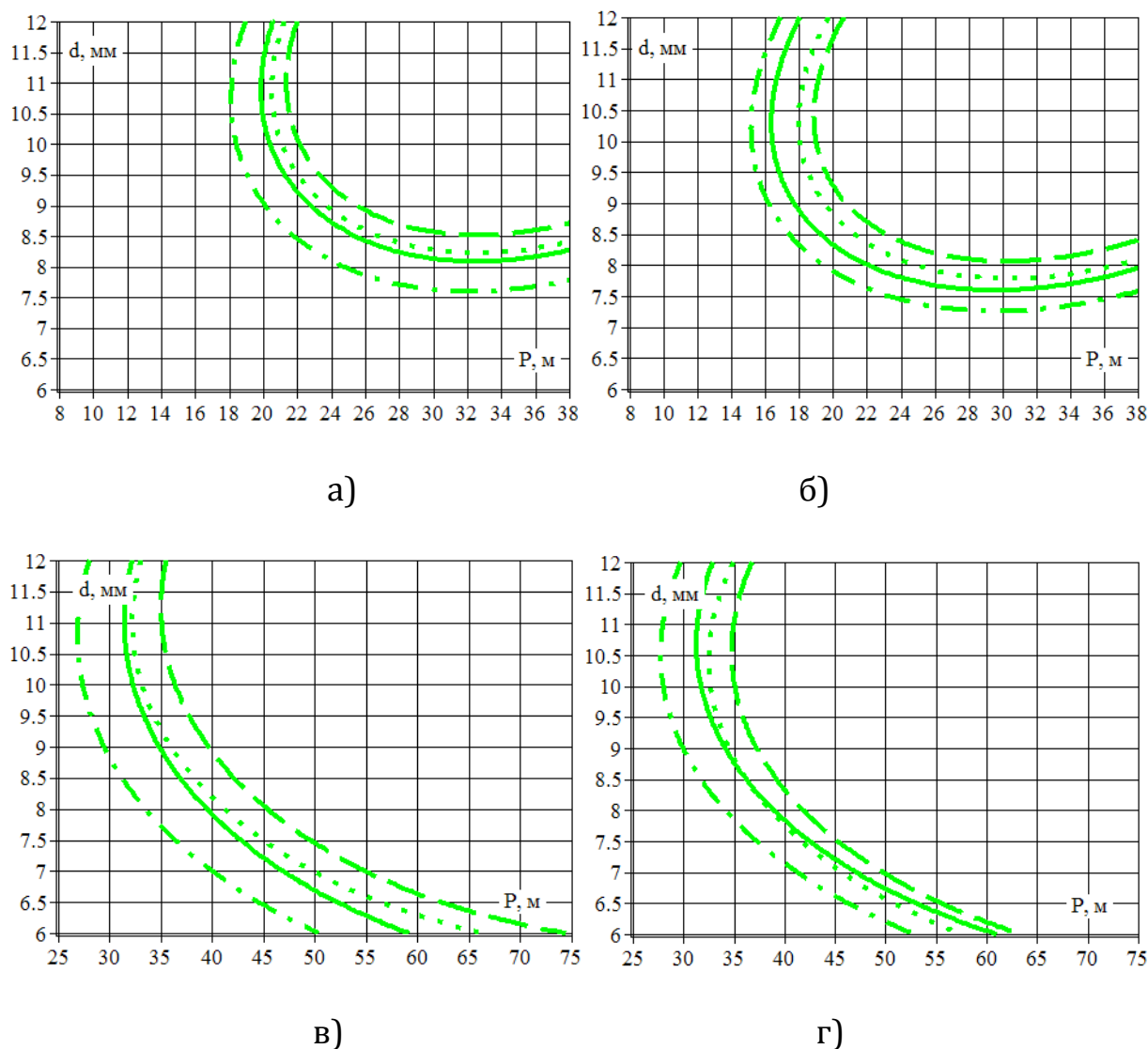
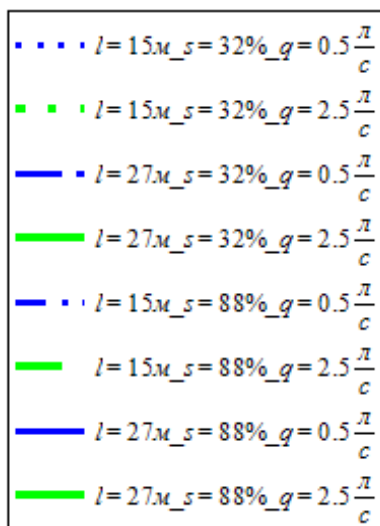


Рис. 4.8 – Номограми для визначення допустимих параметрів ПКК:

а) ГПВ ПЗР – 33 мм; б) ГПВ НЖР – 33 мм; в) ВПВ ПЗР – 33 мм; г) ВПВ НЖР – 33 мм

З таблиці 4.5 видно, що найгірший варіант комплектації ПКК у випадку підключення до ГПВ не забезпечує рівня витрат 0,5 л/с (помічено жирним шрифтом), а отже є доцільним лише у випадку встановлення в

будівлях із мінімальним рівнем пожежного навантаження. В той же час рекомендований для успішного гасіння пожежі на початковому етапі рівень витрат 2,5 л/с забезпечується в разі підключення до ВПВ при комплектації ПКК рукавами середнього і великого діаметра (помічено тонуванням). Більше того, спостерігається значне перевищення витрат води, а отже можна комплектувати ПКК таким чином, щоб знизити цей показник.



Таблиця 4.5 – Доцільність комплектації ПКК за критерієм забезпечення нормативної витрати води (0,5 л/с / 2,5 л/с)

№	Діаметр рукава, мм	Тип рукава	Витрати води з ПКК, л/с, при діаметрі насадка розпорощувача та за відповідного* рівня тиску								
			6 мм			9 мм			12 мм		
			-1	0	1	-1	0	1	-1	0	1
1	19	ПЗР	0,26	0,47	0,66	0,31	0,51	0,69	0,39	0,58	0,76
2	19	НЖР	0,28	0,56	0,67	0,42	0,71	0,84	0,40	0,71	0,84
3	25	ПЗР	0,32	0,64	0,72	0,87	1,47	1,85	0,93	1,83	2,50
4	25	НЖР	0,21	0,48	0,47	0,82	1,35	1,62	0,91	1,71	2,25
5	25	ПЗР	1,06	1,09	1,10	1,84	2,11	1,24	2,31	2,80	2,17
6	25	НЖР	0,83	0,84	0,89	1,63	1,88	1,02	2,14	2,63	2,20
7	33	ПЗР	0,80	1,72	1,68	1,45	2,65	2,90	1,32	2,80	3,33
8	33	НЖР	0,79	1,72	1,47	1,60	2,97	3,15	1,29	3,08	3,70
9	33	ПЗР	2,57	2,98	2,26	3,28	3,78	3,14	3,40	3,97	3,42
10	33	НЖР	2,51	3,12	2,70	3,36	4,10	3,81	3,45	4,32	4,12

Примітка: * – рівень тиску задається згідно план-матриці експерименту. Для № 1–4, 7, 8 (підключення до ГПВ) рівень -1 відповідає 8 м; рівень 0 відповідає 23 м; рівень 1 відповідає 38 м. Для № 5, 6, 9, 10 (підключення до ВПВ) рівень -1 відповідає 25 м; рівень 0 відповідає 50 м; рівень 1 відповідає 75 м.

Запропоновано методику розрахунку і рекомендації щодо визначення характеристик складових ПКК, що забезпечують ефективне гасіння пожежі за зниження фактичних витрат води до 73 %.

4.4 Висновки

1. За запропонованою методикою проведено дослідження характеристик складових ПКК, який комплектується рукавами 25 або 33 мм та забезпечується тиском до 90 м. Гідравлічні розрахунки системи ВПВ показали, що в залежності від віддаленості ПКК від насосів-підвищувачів та поверху їх встановлення, тиск у мережі становить 20, 40 або 60 м.

2. Встановлено, що фактичні витрати води, за умов використання ПКК з різними характеристиками, відрізняються від значення витрат, рекомендованого для успішного гасіння пожежі.

3. Реалізуючи роботу трьох блоків запропонованого алгоритму можливо для заданої житлової будівлі (враховуючи її конструктивні особливості та характеристики пожежного навантаження), яка забезпечується водою з водопровідної мережі з відомими гідравлічними параметрами, визначити характеристики обладнання ПКК (діаметр та довжину рукава, діаметр випускного отвору розпорощувача). При цьому, за умовою працездатності водопровідної мережі, пожежа у квартирі буде ліквідована на початковій стадії її розвитку, тобто з мінімальними збитками від неї.

4. На підставі виконаних досліджень необхідних та фактичних витрат води з ПКК пропонується алгоритм вибору обладнання пожежних кран-комплектів для конкретних умов його використання, який складається з трьох блоків.

5. Три частини програмного комплексу «ПКК» дозволяють визначити обладнання ПКК для конкретних умов його використання; виконати дослідження достатності кількості води з ПКК із заданими характеристиками, в порівнянні з необхідною кількістю води для конкретних умов використання цього ПКК при змінах часу гасіння пожежі (часу подачі води); виконати порівняльний аналіз фактичних витрат води з ПКК вз заданими (різними) характеристиками, з необхідною кількістю води для конкретних умов використання цього ПКК в залежності від гарантованого напору в мережі внутрішнього водопостачання.

6. В результаті роботи з програмним комплексом можна дійти висновків про доцільність використання ПКК для гасіння пожежі або про умови, за яких ПКК не зможуть забезпечити успішне гасіння пожежі.

7. Запропоновано методику розрахунку і рекомендації щодо визначення характеристик складових ПКК, що забезпечують ефективне гасіння пожежі за зниження фактичних витрат води до 73 %.

ПІСЛЯМОВА

Наведені результати розв'язання актуальної науково-практичної задачі підвищення ефективності гасіння пожеж у житлових висотних будівлях на початковому етапі шляхом удосконалення характеристик пожежних кран-комплектів. При цьому отримано такі основні результати:

1. Проведений аналіз функціонування елементів систем внутрішнього водопостачання, які використовуються для гасіння пожеж у житлових висотних будівлях, продемонстрував відсутність науково обґрунтованих вимог та методики визначення характеристик пожежних кран-комплектів та виявив необхідність впровадження диференційованого підходу під час проектування ПКК з огляду на параметри приміщень і водопровідної мережі, з метою підвищення ефективності гасіння пожеж.

2. Визначено фактори, що впливають на ефективність застосування пожежних кран-комплектів у конкретних умовах їх експлуатації; експериментальним шляхом отримано регресійні моделі фактичних витрат води залежно від тиску у водопроводі, довжини та ступеня розгортання рукава, діаметра випускного отвору розпорошувача для різних типів ПКК. Показано, що фактичні витрати води можуть дорівнювати від 0,15 л/с за мінімального нормативного тиску в мережі та за найгірших умов використання (ступінь розгортання рукава ПКК та діаметр насадка розпорошувача є найменшими, довжина рукава – найбільшою) до 4,3 л/с – за максимального нормативного тиску в мережі та у разі найкращих умов використання ПКК. Також встановлено, що ПКК, приєднані до ВПВ, забезпечують подачу нормативних витрат води (0,5 л/с) в будь-якій комплектації, але використання розпорошувачів мінімального діаметра насадка є недоцільним. У випадку встановлення ПКК у будівлях із невеликим пожежним навантаженням (необхідні витрати води становлять близько 0,015 л/с) можна використовувати плоскозгорнуті та напівжорсткі рукава діаметром 25 або 33 мм та розпорошувачі мінімального типорозміру за мінімального рівня гарантованого тиску в мережі.

3. Запропоновано математичну модель, алгоритм та програмне забезпечення для визначення мінімально допустимої довжини рукава ПКК для подавання води до кожної точки приміщення довільного планування. На прикладі показано, що застосування вказаної моделі може призводити до зменшення довжини рукава ПКК як мінімум на 1,7 м для кожного з помешкань, наслідком чого є економія матеріальних ресурсів, а також підвищення витрат води з ПКК.

4. Адаптовано існуючі моделі визначення необхідної кількості води для успішного гасіння пожежі на початковому етапі. Обґрунтовано максимально допустимий час початку гасіння пожежі, перевищення якого робить застосування ПКК недоцільним.

5. Запропоновано методику розрахунку і рекомендації щодо визначення характеристик складових ПКК, що забезпечують ефективне гасіння пожежі.

Рекомендований для успішного гасіння пожежі на початковому етапі рівень витрат 2,5 л/с забезпечується при підключенні до ВПВ, за умов комплектації ПКК рукавами середнього і великого діаметра. В деяких випадках спостерігається значне перевищення витрат води (до 73 %), а отже можна комплектувати ПКК таким чином, щоб знизити цей показник.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Абдурагимов И.М. Физико-химические основы развития и тушения пожаров / И.М.Абдурагимов, В.Ю. Говоров, В.Е. Макаров– М.: Стройиздат, 1980. – 255 с.
2. Абдурагимов И.М., Андросов А.С., Исаева Л.К., Крылов Е.В. Процессы горения. М.: ВИПТШ МВД СССР, 1984. 268с.
3. Абрамов Ю.А. Моделирование пожаров, их обнаружения, локализации и тушения / Ю.А. Абрамов, А.Е. Басманов, А.А. Тарасенко // Харьков: НУГЗУ, 2011. – 927 с.
4. Аладьев В.З. Программирование и разработка приложений в Maple / В.З. Аладьев, В.К. Бойко, Е.А. Ровба. – Гродно: ГрГУ, 2007. - 458 с.
5. Алексеев В.Е. Графы. Модели вычислений. Структуры данных / В.Е. Алексеев, В.А. Таланов – Нижний Новгород: Изд-во ННГУ, 2005. - 307 с.
6. Андреева Е.В. Вычислительная геометрия на плоскости / Е.В. Андреева, Ю.Е. Егоров // Информатика. – 2002. - №40. – С. 28-31.
7. Балло Я.В. Особливості проектування зонованих систем внутрішнього протипожежного водопроводу у будівлях з умовною висотою вище 26,5 м / Я.В. Балло, О.О. Сізіков, Р.В. Уханський, В.П. Балло // Науковий вісник УкрНДІПБ . – Київ, 2014.- Вип. 29. – С. 30-36. 2.
8. Балло Я.В. Обґрунтування визначення умовної висоти будинку / Я.В. Балло, В.В. Ніжник, Р.В. Уханський, О.В. Савченко // Науковий вісник УкрНДІПБ . – Київ, 2015.- Вип. 31. – С. 56-61.
9. Балло Я.В. Шляхи забезпечення ефективної експлуатації системи внутрішнього протипожежного водопроводу у висотних будівлях / Я.В. Балло О.О. Сізіков, В.В. Ніжник, Р.В. Уханський, // Науковий вісник УкрНДІПБ . –Київ, 2015. -Вип. 32. –С. 4-10.
10. Безопасность жизнедеятельности : учебник для вузов / Л. А. Михайлов [и др.] ; под ред. Л. А. Михайлова. - СПб. [и др.] : Питер , 2006. – 301 с.
11. Бессмертнов В.Ф., Малыгин И.Г., Скопцов А.А., Ширинкин П.В. Пожарная тактика в вопросах и ответах (3-я редакция с изменениями и исправлениями). Учебное пособие. СПб.: СПбУ ГПС МЧС России, 2008. 228 с.
12. Бронштейн И.Н. Справочник по математике для инженеров и учащихся вузов / И.Н. Бронштейн, К.А. Семендяев. - М.: Наука, 1981. – 720 с.
13. Брушлинский Н.Н., Микеев А.К., Базуков Г.С. и др. Совершенствование организации и управления пожарной охраной. М.: Стройиздат, 1986. 149 с.
14. Будинки і споруди. Житлові будинки. Основні положення: ДБН В.2.2-15-2005. –[Чинний від 18-05-05]. – К. : Держбуд України, 2005. – 44 с. (Державні будівельні норми України).
15. Будинки і споруди. Проектування висотних житлових і громадських будинків: ДБН В.2.2-24-2009.– [Чинний від 01-09-09]. – К. : Держбуд України, 2009. – 105 с. (Державні будівельні норми України).

16. Бут В.П. Траектории ruchu аварійно-рятувальної техніки до місця надзвичайної події з урахуванням неоднорідного покриття місцевості / В.П. Бут, О.М. Соболев // Праці Таврійської агротехнічної академії. Мелітополь: ТДАТА, 2004. – Вип. 4-Прикладна геометрія та інженерна графіка. Т.24. С.86-89.

17. Винарский М.С. Планирование эксперимента в технологических исследованиях / М.С. Винарский, М.В. Лурье. – К.: Техніка, 1975. – 168 с.

18. Виноградов А.Г. Расчет параметров противопожарных струй распыленной воды / А.Г. Виноградов, О.М. Яхно // Прикладна гідромеханіка. – 2015. – Т. 17, № 4. – С. 3-13.

19. Виноградов А.Г. Эквивалентный диаметр капель струй распыленной воды и его зависимость от технических параметров / А.Г. Виноградов, О.М. Яхно // Вісник НТУУ «КПІ». Машинобудування. – 2016. – № 1(76). – С. 39-45.

20. Внутрішній водопровід та каналізація. Частина I. Проектування. Частина II. Будівництво. ДБН В.2.5-64:2012. – [Чинний від 01-03-13]. – К.: Держбуд України, 2013. – 135 с. (Державні будівельні норми України).

21. Ву Суан Хоа. Оптимизация системы противопожарной защиты зданий гостиниц повышенной этажности: дис. ... канд. техн. наук : 05.26.03 / Ву Суан Хоа. – М., 2002. – 141 с.

22. Горносталь С.А. Исследование условий эффективного применения пожарных кран-комплектов в высотных жилых зданиях / С.А. Горносталь, Е.А. Петухова, С.Н. Щербак, Е.А. Шаповалова // Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences, V(15), Issue: 140, 2017. – С. 56-59 (Index Copernicus).

23. Демидович Б.П., Марон И.А., Шувалова Э.З. Численные методы анализа. М.: Наука, 1967.

24. Динь Конг Хынг. Обеспечение пожарной безопасности верхних этажей высотных зданий: автореф. на здобуття наук ступеня канд. техн. наук: спец. 05.26.03 “Пожарная и промышленная безопасность (строительство)” / Динь Конг Хынг. – М., 2013. – 20 с.

25. Дмитриченко А.С., Паливода И.И., Соболевский С.И. Учёт задержек при определении расчётного времени эвакуации людей // Вестник Командно-инженерного института МЧС Республики Беларусь, № 1(6), 2007.

26. Драйздейл Д. Введение в динамику пожаров / Д. Драйздейл ; Пер. с англ. К. Г. Бомштейна; Под ред. Ю. А. Кошмарова, В. Е. Макарова. - М. : Стройиздат, 1990. – 420 с.

27. Дроговцев Н.Я. Основы математического анализа. Киев: Высшая школа, 1985. 528 с.

28. Егоров А.А. Математические модели и алгоритмы эвакуации людей в аварийных ситуациях в учебных заведениях. Дисс. на соиск. уч. ст. канд. техн. наук. Саратов: СарГТУ, 2008.

29. Желяк В.І. Особливості гідравлічного розрахунку системи внутрішньоквартирного пожежогасіння. / І.В. Желяк, О.В. Лазаренко, А.Я. Регуш // Пожежна безпека. – Вип.26. – Львів. – 2015. – С.65–70.

30. Жуков Ю.И., Малыгин И.Г., Смольников А.В. Применение функционального моделирования в деятельности Государственной противопожарной службы // Вестник Санкт-Петербургского института ГПС МЧС России, №2(5). СПб.: СПбИ ГПС МЧС России. 2004.

31. Жуков Ю.И., Малыгин И.Г., Таранцев А.А. Имитационное моделирование задач пожарной тактики для оценки эффективности действий пожарных подразделений в сложных ситуациях. Отчет о НИР. 1 этап. СПб.: СПбИ ГПС МЧС России. 2004.

32. Иванников В. П. Справочник руководителя тушения пожара / В. П. Иванников, П.П. Ключ – М.: Стройиздат, 1987. – 288 с.

33. Игровое моделирование и пожарная безопасность : учеб. пособие / Фирма "Возрождение"; [Н. Н. Брушлинский и др.] ; Под ред. Н. Н. Брушлинского. - М. : Стройиздат, 1993. - 272 с. (1282319 – ОХДФ).

34. Кириченко И.К. Планирование эксперимента в задачах дистанционной подачи гелеобразующих составов в очаги возгораний / И.К. Кириченко, В.В. Сыровой, К.М. Остапов // Проблемы пожарной безопасности. – Харьков: НУГЗУ, 2016. – Вып. 40. – С. 99–107.

35. Климушин Н.Г., Новиков В.Н. Противопожарная защита зданий повышенной этажности. М.: Стройиздат, 1979. - 142 с.

36. Комяк В.М. Математична модель моделювання розміщення пожежних гідрантів в районах міст / В.М. Комяк, Р.В. Романов // Проблеми пожарной безопасности. Сборник научных трудов. Выпуск 27, 2010. С. 97-103.

37. Лебедев А.М. Получение уравнений эквидистанты и примеры ее применения / А.М. Лебедев, А.В. Синдяев / Научный вестник УВАУ ГА, 2014. - Том: 6. – с. 30-34.

38. Логинов В.И., Ртищев СМ., Козырев В.Н., Чаюн М.А. Методическое руководство по организации и порядку эксплуатации пожарных рукавов. - М., 2008. - 53 с.

39. Малыгин И.Г., Разливанов И.Н., Смирнов А.С., Ширинкин П.В. Математическое моделирование процессов развития пожара и пожаротушения в условиях ограниченности сил и средств // Проблемы управления рисками в техносфере, №4(8), 2008 г.

40. Малыгин И.Г., Таранцев А.А. Об оценке динамики ущерба от пожара // Сборник докладов постоянно действующего научно-технического семинара Военного инженерно-космического университета им. А.Ф. Можайского. СПб.: ВИКУ, 2001.

41. Мешман Л.М. Внутренний противопожарный водопровод. Проблемы эффективного использования в зданиях с массовым пребыва-

нием людей / Л.М. Мешман, В.А. Былинкин, Р.Ю. Губин // Пожарная безопасность. - ВНИИПО, 2006. - № 3. – С. 57-70.

42. Мугин О. Г. Безопасность жизнедеятельности. Чрезвычайные ситуации : практ. Работы : учеб. пособие для студентов учреждений сред. проф. образования / О. Г. Мугин. - М. : Мир, 2003. – 71 с.

43. Нейман Л. А. Безопасность жизнедеятельности: теория, вопросы и ответы : [учеб. пособие] / Л. А. Нейман. - М. : Вуз. кн., 1998. - 140 с.

44. Ольшанський В.П. К моделюванню падіння іспаряючоїся краплі диспергованого огнетушачого речовини / В.П. Ольшанський, С.В. Ольшанський. // Пожаровзрывоопасность. – 2006. – С. 41–45.

45. Ольшанський В.П. К расчету предельной дальности подачи іспаряючихся тонкораспыленных огнетушачих речовин установками імпульсного пожаротушення / В. П. Ольшанський, С.В. Ольшанський. // Пожарная техника. – 2005. – №4. – С. 67–70.

46. Остапов К.М. Дистанційне подавання вогнегасних речовин з гелеутворюючими складовими: автореф. на здобуття наукового ступеня канд. техн. наук: спец.21.06.02 «Пожежна безпека» / К.М. Остапов. – Харків, 2018. – 24 с.

47. Отчет по теме "Проведение поисковых исследований по определению критериев оценки пропускной способности напорных пожарных рукавов и разработке методики проведения испытаний" /П.2.2.П.01.2010 "Рукава", этап II: "Предложения по выбору критериев оценки пропускной способности пожарных напорных рукавов. Проект методики испытаний пожарных напорных рукавов по выбранным критериям оценки пропускной способности".

48. Пат. 121788 Україна, МПК А 62 С 35/20. Спосіб визначення витрат води з пожежних кран-комплектів висотних житлових будівель / Петухова О.А., Горносталь С.А., Щербак С.М., заявник і патентовласник Національний університет цивільного захисту України. – № 20170788. Заяв. 20.07.2017; Надр. 11.12.2017; Бюл. 23. – 4 с.

49. Пат. 12352 України, МПК (2006) А62С 31/00.Комбінований пожежний ствол / Аксентьев С. Т.; винахідник та власникАксентьев С. Т. – № u200501477; заяв. 17.02.05; опуб.15.02.2006, Бюл. № 2/2006.

50. Пат. 58516 України, МПК (2011.01) А62С31/00. Пожежний ствол / Колеснік Д.В., Стась С. В., Кришталь В.М., Яхно О. М., Луговський О.Ф.; винахідник Колесніков Д.В., Стась С.В., Кришталь В.М., Яхно О. М., Луговський О.Ф., власник Академія пожежної безпеки ім. Героїв Чорнобиля МНС України. – № u201013306; заяв. 09.11.2010; опуб. 11.04.2011, Бюл. №7/2011

51. Пат. 85924 України, МПК А62С 31/07 (2006.01).Переносний пожежний скомбінований ствол / Паснак І.В., Калинчук А.І.; винахідник та

власник Паснак І.В., Калинчук А.І.; – № u201305818; заяв. 07.05.2013; опуб. 10.12.2013, Бюл. № 23/2013.

52. Петухова О.А. Визначення втрат напору плоскозгорнутих рукавів, якими комплектуються пожежні кран-комплекти / О.А. Петухова, С.М. Щербак // Проблеми пожежної безпеки. – Х.: НУЦЗУ, 2016. – Вип. 39. – С. 196–200.

53. Петухова О.А. Визначення необхідної кількості води для успішного гасіння пожежі в житлових будівлях підвищеної поверховості / О.А. Петухова, Т.Ю. Бутенко, С.А. Горносталь // Проблеми пожежної безпеки. – Х.: УГЗУ, 2008. – Вип.22. – С. 143 – 148.

54. Петухова О.А. Доповнення до алгоритму визначення робочих характеристик пожежних кран-комплектів. / О.А.Петухова // Проблеми пожежної безпеки. – Вип. 30. – Харків. – 2011. – С. 189–192.

55. Петухова О.А. Дослідження характеристик пожежних кран-комплектів / О.А. Петухова, С.А.Горносталь, С.М. Щербак // Проблеми пожежної безпеки. – Х.: НУГЗУ, 2015. – Вип. 37. – С. 154–159.

56. Петухова О.А. Обґрунтування вибору характеристик складових пожежного кран-комплекту / О.А. Петухова, С.А. Горносталь, С.М. Щербак // Проблеми пожежної безпеки. – Х.: НУЦЗУ, 2017. – Вип. 42. – С. 95–100.

57. Петухова О.А. Спеціальне водопостачання: підручник [для студ. вищ. навч. закл.] / Петухова О.А., Горносталь С.А., Уваров Ю.В. – Х.: НУЦЗУ, 2013. – 248 с.

58. Петухова Е.А. Анализ требований нормативных документов к характеристикам элементов пожарных кран-комплектов / Е.А. Петухова, С.Н. Щербак // Забезпечення пожежної та техногенної безпеки: Всеукр. наук-практ. конф., 30–31 жовтня 2014 р.:тези доп. – НУЦЗУ, 2014. – С. 125–127.

59. Петухова Е.А. Визначення опору рукавів пожежних кран-комплектів / Е.А. Петухова, С.Н. Щербак, С.В. Стаюльський // Наукове забезпечення діяльності оперативно-рятувальних підрозділів (теорія та практика): Всеукр. наук.-практ. конф., 12 березня 2015 р.: тези доп. – Х., 2015. – С. 131–171.

60. Петухова Е.А. Внутреннее водоснабжение жилых зданий – составляющая эффективного тушения пожара / Е.А. Петухова, С.Н. Щербак // Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій: Міжнар. наук-практ. конф., 12–13 грудня 2014 р.: тези доп. – Черкаси, 2015. – С. 186–188.

61. Петухова Е.А. Использование внутреннего водоснабжения для эффективного тушения пожаров в жилых зданиях / Е.А. Петухова, С.Н. Щербак // Современные технологии обеспечения гражданской обороны и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. V Всероссийська наук.-практ.конф., 18 квітня 2014 р.: тезисы докладов. – Воронеж, РФ, 2014. – С.53–56.

62. Петухова О.А. Визначення факторів, що впливають на опір рукавів пожежних кран-комплектів. / О.А. Петухова, С.А. Горносталь, С.М. Щербак. // Проблемы пожарной безопасности. – Вып. 36. – 2014. – Харьков. – С. 180–183.

63. Петухова О.А. Визначення характеристик елементів внутрішнього водопроводу для успішного гасіння пожеж. / О.А. Петухова, С.А. Горносталь // Проблемы пожарной безопасности. – Вып. 41. – 2017. – Харьков. – С. 129-136.

64. Петухова О.А. Дослідження фактичних витрат води з пожежних кран-комплектів / О.А. Петухова, С.А. Горносталь, О.О. Шаповалова, С.М. Щербак // Проблемы пожарной безопасности. – Вып. 39. – 2016. – Харьков. – С. 190–195.

65. Петухова О.А. Спосіб визначення витрат води з пожежних кран-комплектів висотних житлових будівель / О.А. Петухова, С.А. Горносталь, С.М. Щербак // Проблемы пожарной безопасности. – Х.: НУЦЗУ, 2018. – Вып. 43. – С. 136–141.

66. Повзик Я.С. Пожарная тактика. М.: ЗАО «Спецтехника», 1999. 411 с.

67. Пожарная безопасность. Энциклопедия. -М.: ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2007. - 416 с: ил.

68. Стационарные системы пожаротушения. Кран-комплекты пожарные. Часть 1. Кран-комплекты с полужесткими рукавами. Общие требования. ДСТУ EN 671-1:2017. – [Чинний від 01-10-17]. – К.:ДП «УкрНДНЦ». – 2017. – 41 с. (Державний Стандарт України).

69. Препарата Ф. Вычислительная геометрия: Введение / Ф. Препарата, М. Шеймос. - М.: Мир, 1989. - 478 с.

70. Росоха С.В. Геометрична форма струменя рідини з пожежного ствола з урахуванням опору повітря // Праці / Таврійська державна агротехнічна академія. – Вып. 4. Прикладна геометрія та інженерна графіка. – Т. 16. – Мелітополь: ТДАТА. – 2002 – С. 88–92.

71. Росоха С.В. Планирование эксперимента и конструирование насадок пожарных стволов для дистанционного тушения пожаров гелеобразующими составами / С.В. Росоха, Ю.Н. Сенчихин, К.М. Остапов, Ю.Ю. Дендаренко // Вісник кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. Кременчук: КрНУ, 2016. – Випуск 4(99). – С. 94–99.

72. Рябова І.А. Дослідження гідродинамічних характеристик елементів захисту харчових виробництв / І.Б. Рябова, О.А. Петухова, С.А. Горносталь, С.М. Щербак // Моделювання комбінованих процесів переносу. Оптимізація обладнання і систем. Наукові праці, том 82, випуск 1. – Одеса: ОНАХТ, 2018. – С. 72–76.

73. Рябова І.Б. Дослідження гідродинамічних характеристик елементів захисту харчових виробництв / І.Б. Рябова, Е.А. Петухова, С.А. Горносталь, С.Н. Щербак // Удосконалення процесів обладнання харчових і хімічних виробництв. XVII Міжнар. наук.-практ. конференція, 3–8

вересня 2018 р.: тези доп. – Одеса, ОНАХТ – 2018 р. – С. 12-13.

74. Скопцов А.А. Организация управления оперативными подразделениями МЧС при тушении пожаров. Дисс. на соиск. уч. ст. канд. техн. наук. СПб.: СПБИ ГПС МЧС России, 2004. 135 с.1. Отчеты о НИР

75. Смирнов А.С., Ширинкин П.В. Оценка уровня готовности подразделения пожарной охраны к действиям по тушению пожаров // Проблемы управления рисками в техносфере, №1(13), 2010 г.

76. Смирнов А. С. Методика анализа качества технических средств обеспечения тушения пожаров в зданиях повышенной этажности : дис. ... канд. техн. наук : 05.26.03 / Смирнов Алексей Сергеевич. – Санкт-Петербург, 2002. – 155 с.

77. Таранцев А.А. Случайные величины и работа с ними. Монография. СПб: СПбУ ГПС МЧС России, 2007.

78. Таха Х. Введение в исследование операций. – М.: Издательский дом "Вильямс", 2001. - 912 с.

79. Терещенко В.В. Справочник руководителя тушения пожара. Тактические возможности пожарных подразделений. М.: Пожжкнига, 2004 г. 248 с.

80. Терещенко В.В., Артемьев Н.С., Погрушный А.В. Здания повышенной этажности. Противопожарная защита и тушение пожаров. М.: Пожнаука, 2006. 237с.

81. Шарова О. Основы безопасного поведения в ЧС, связанных с пожарами / О. Шарова // ОБЖ. Основы безопасности жизни. – 2004. - № 11. - С. 36-39.

82. Шаровар Ф.И. Методы раннего обнаружения загораний / Ф.И. Шарова – М.: Стройиздат, 1988. – 337 с.

83. Щербак С.Н. Использование внутреннего водоснабжения для эффективного тушения пожаров в жилых зданиях / С.Н. Щербак // Проблемы пожарной безопасности. – Х.: НУЦЗУ, 2014. – Вип. 36. – С. 279–286.

84. Щербак С. Визначення мінімально припустимої довжини рукава пожежного кран-комплекту / С. Щербак, О. Петухова, О. Тарасенко // Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences, VI(24), Issue: 200, 2019.– С. 65–67 (Index Copernicus).

85. Щербак С.М. Алгоритм определения характеристик пожарных кран-комплектов и разработка программного комплекса по его реализации / С.М Щербак., А.Ю. Огороднийчук, Д.А. Онищенко // Проблемы гражданской защиты: управление, предупреждение, аварийно-спасательные и специальные работы: Міжнар. наук-практ. конф., 17 березня 2017 р.: тези доп. – Кокшетау, Республіка Казахстан, 2017. – С. 315–317.

86. Щербак С.М. Визначення витрат води з пожежних кран-комплектів / С.М. Щербак, Е.А Петухова // Безопасность жизнедеятельности в XXI веке: Всеукр. наук.-практ. конф., 14–15 квітня 2016 р.: тези доп. – Дніпро, 2016. – С. 22–23.

87. Щербак С.М. Визначення характеристик обладнання пожежних кран-комплектів для заданої житлової будівлі / С.М. Щербак, Е.А Петухова // Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій: Міжнар. наук-практ. конф., 18–19 травня 2017 р.: тези доп. – Х., 2017. – С. 137–139.

88. Щербак С.М. Використання пожежних кран-комплектів для гасіння пожеж у висотних житлових будівлях / С.М. Щербак, О.А. Петухова, С.А. Горносталь // Технології захисту – 2014: Всеукраїнська наук.-практ. конф. рятувальників, 23–24 вересня 2014 р.: тези доп. Київ, 2014. – С. 333–335.

89. Щербак С.М. Спосіб визначення витрат води з пожежних кран-комплектів висотних житлових будівель / С.М. Щербак, О.А. Петухова, С.А. Горносталь // Пожежна безпека: проблеми та перспективи: Всеукраїнська наук.-практ. конф., 1–2 березня 2018 р. тези доп. – Х., 2018. – С. 80–82.

90. Щербак С.М. Умови використання пожежних кран-комплектів для гасіння пожеж у висотних житлових будівлях / С.М. Щербак, О.А. Петухова // Проблеми цивільного захисту: управління, попередження, аварійно-рятувальні та спеціальні роботи: Міжнар. наук-практ. конф., 02-03 жовтня 2014 р.: тези доп. – Х., 2014. – С. 294–296.

91. Щербак С.М. Эффективное тушение пожаров в жилых зданиях с использованием внутреннего водоснабжения / С.М. Щербак, Е.А Петухова // Нурлы жол – путь в будущее: Міжнар. наук-практ. конф., 25 березня 2015 р.: тези доп. – Кокшетау, Республіка Казахстан, 2015. – С. 194–197.

92. Щербак С.Н. Определение характеристик составляющих пожарных кран-комплектов в зависимости от условий их использования / С.Н. Щербак // Исторические аспекты, актуальные проблемы и перспективы развития гражданской обороны: Міжнар. наук.-практ. конф., 15 марта 2019 р.: тез доп. – Кокшетау, Республіка Казахстан, 2019. – С. 315–317.

93. AWWA Standard for Steel Water Pipes; с 151 // A21.51-81. American National Standard for Ductile - Iron Pipe for Water, pp. 20-80.

94. Burgard M. Rehabilitation de conduites par gainage interne // Eau. Ind. Nuis-1989.-126.-P. 39-41.

95. Fujiwara O., Dey D. Two adjacent pipe diameters at the optimal solution in the water distribution network models. // Water Resour. Res. 1987 - vol.23.-Issue 8 - p. 1457-1460.

96. Grimwooda P.A. Performance based approach to defining and calculating adequate firefighting water using s.8.5 of the design guide BS PD 7974:5:2014 (fire service intervention) [Text] / P. A. Grimwooda, I.A. Sanderson // Fire Safety Journal. – November, 2015. – Vol. 78. – P. 155–167.

97. Hale D. Pipe renovation // Pipeline and Gas J. 1984. № 11. - P. 15–119.

98. Heltz E. Chemo Mechanical Effects of flow on Corrosion. Corrosion V. 47. N2. 1990, pp. 135-145.

99. Holtschulte H. The rehabilitation of water pipeline - network. - Papers of IWSA. 1984.

100. ISO/TS 16733 (2006) Fires safety engineering–selection of design fire scenarios and design fires. International Organization for Standardization

101. Kasterka B., Kasterka B. L. Some aspects of recontamination of potable water distribution systems // Mat. Miedzynarodowej Konferencji: Zoapatrzenie w wode miast i wsi. Tom I. Posnan. - 1996.

102. Kruger International Consult A/S, V. F. Karpuhin. Water and Wastewater Engineering Handbook / Copenhagen K. 2001. - 253 p.

103. McGrattan K., Baum H., Rehm R., et all. Fire Dynamics Simulator (Version 5). Technical Reference Guide // NIST Special Publication 1018-5, 2009.–94 p.

104. Harry E. Hickey. Water Supply Systems and Evaluation Methods • Volume II: Water Supply Evaluation Methods. U.S. Fire Administration Mission Statement, 2008. – 182 p.

105. Eric Yap. Fire Code 2013 Handbook. SINGAPORE CIVIL DEFENCE FORCE, 2013. – 150 p.

106. Ostapov K.M. Development of the installation for the binary feed of gelling formulations to extinguishing facilities / K.M. Ostapov, Yu.N. Senchihin, V.V. Syrovoy // Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences. – Budapest: Rózsadomb, 2017. – Issue 132 – P. 75–77.

107. Post L. Water quality in the distribution network. Papers of IWSA. 1982. CPCPFS5002A Design fire hydrant and hose reel systems. Construction & Property Services Industry Skills Council, 2012. – 14 p.

108. CPCPFS5002A Design fire hydrant and hose reel systems. Construction & Property Services Industry Skills Council, 2012. – 14 p.

109. Poulsen A., Jomaas G. Experimental study on the burning behavior of pool fires in rooms with different wall linings // Fire Technology 2011, v.48, p.419439.

110. Pull-through of pipe overcomes right of way problems // CIBA - Geign Aspects. 1983. Oct. 2-3.

111. Putz K., Benndorf J. The importance of pre-reservoirs for the control of eutrophication of reservoirs // Reservoir Management and Water Supply an Integrated System, vol.2. -Prague, 1997. P. 165-171.

112. Rehabilitation corroded steel pipeline // Pipes and Repeling Int. 1973. 18. № 5. p. 17-19.6

113. Saijonmaa L. Water distribution network energy audit // Materials of the Finnish Water Day. Ecwatech. 2000. - S. 16 - 20.

114. Sewer pipe relined while service continues // J. Prot. Coat. And Lining. 1996. -№3. P. 29-30.

115. Shamir U. Howard C.P.D. An analytic approach to pipe replacement JAWWA, 1999-71.-S. 248-249.

116. Twort A. C., Ratnayaka D. D., Brandt M.J. Water Supply. Fifth Edition. IWA Publishing London. 2000. - 676 s.

117. Williams R.G. Polyethylene for sewer renovation in ongoing development // Pipes and pipelines Int. 1983. 28. N 5.

118. Yadav A. Assessment of Water Requirement and Calculation of Fire Flow Rates in Water Based Fire Fighting Installation / A. Yadav, P. Patel // International Journal of Innovations in Engineering and Technology. – 2014. – Vol. 4, Issue 1. – P. 5–12.

Наукове видання

**Підвищення ефективності гасіння пожеж у житлових будівлях
шляхом удосконалення
характеристик системи внутрішнього водопостачання**

Монографія

Підписано до друку 16.09.22. Формат 60x84 1/16.
Умовн.-друк. арк. 4,9.
Вид. № 22/22.

Сектор редакційно-видавничої діяльності
Національного університету цивільного захисту України
61023 м. Харків, вул. Чернишевська, 94.
www.nuczu.edu.ua