

Національний університет цивільного захисту України

Державна служба України з надзвичайних ситуацій

С.М. Щербак, О.А. Петухова, С.А. Горносталь, О.А. Тарасенко

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ
ГАСІННЯ ПОЖЕЖ В ЖИТЛОВИХ
БУДІВЛЯХ ШЛЯХОМ УДОСКОНАЛЕННЯ
ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМИ
ВНУТРІШНЬОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ**



Харків – 2021

Національний університет цивільного захисту України

Державна служба України з надзвичайних ситуацій

С.М. Щербак, О.А. Петухова, С.А. Горносталь, О.А. Тарасенко

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ГАСІННЯ ПОЖЕЖ В
ЖИТЛОВИХ БУДІВЛЯХ ШЛЯХОМ УДОСКОНАЛЕННЯ
ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМИ ВНУТРІШНЬОГО
ВОДОПОСТАЧАННЯ**

Монографія

Харків – 2021

УДК 614.84

Рекомендовано до друку Вченою радою Національного університету цивільного захисту України (протокол № 1 від 30.09.2021 р.)

Рецензенти:

ВАСИЛЬЄВ Олексій Борисович - начальник Немишлянського РВ ГУ ДСНС України у Харківській області, кандидат технічних наук, доцент

ГРИЦИНА Ігор Миколайович - заступник начальника кафедри пожежної тактики та аварійно-рятувальних робіт, кандидат технічних наук, доцент

СРЕМЕНКО Сергій Анатолійович - заступник начальника Інституту державного управління у сфері цивільного захисту з навчальної та методичної роботи, доктор технічних наук, доцент

Підвищення ефективності гасіння пожеж в житлових будівлях шляхом удосконалення характеристик системи внутрішнього водопостачання: монографія / С.М. Щербак, О.А. Петухова, С.А. Горносталь, О.А. Тарасенко. – Харків: НУЦЗУ, 2021. – 112 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 всю існуючу номенклатуру продукції, яка присутня на ринку. Розроблені пропозиції щодо умов використання пожежного кран-комплекту у житлових будівлях та рекомендації для їх проектування.

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

УДК 614.84

© Щербак С.М., Петухова О.А.,
Горносталь С.А., Тарасенко О.А., 2021

ЗМІСТ

ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СУЧАСНОГО ДОСВІДУ ВИКОРИСТАННЯ ПОЖЕЖНИХ КРАН-КОМПЛЕКТІВ..	7
1.1. Аналіз складових та основних конструктивних характеристик ПКК що вимагаються до встановлення відповідно до вимог нормативних документів	7
1.2. Визначення критеріїв ефективності використання ПКК для гасіння пожеж в житлових будівлях.....	12
1.3. Огляд наукових праць, присвячених окремим аспектам гасіння пожеж в висотних житлових будівлях та устрою систем внутрішнього водопостачання..	20
РОЗДІЛ 2. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ ПАРАМЕТРІВ ПОЖЕЖНИХ КРАН-КОМПЛЕКТІВ НА ФАКТИЧНІ ВИТРАТИ ВОДИ	24
2.1. Проведення експериментального дослідження для побудови моделі фактичних витрат води в залежності від основних впливаючих параметрів.....	24
2.2. Побудова і аналіз математичних моделей фактичних витрат води з ПКК.....	30
РОЗДІЛ 3. ВИЗНАЧЕННЯ НЕОБХІДНИХ ВИМОГ ДЛЯ ПАРАМЕТРІВ ПОЖЕЖНОГО КРАН- КОМПЛЕКТА.	40
3.1. Побудування математичної моделі необхідної кількості води для успішного гасіння пожежі за допомогою ПКК в житлових будівлях...	40
3.2. Обґрунтування мінімально допустимої довжини рукава пожежного кран-комплекту	49
РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА ПРОПОЗИЦІЙ ЩОДО УМОВ ВИКОРИСТАННЯ ПКК У ЖИТЛОВИХ БУДІВЛЯХ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ ДЛЯ ПРОЕКТУВАННЯ ПКК	61

4.1. Дослідження умов ефективного використання ПКК з визначеними характеристиками..	61
4.2. Розробка схеми побудування ПКК, який забезпечить ефективне гасіння пожежі в заданих умовах його експлуатації	63
4.3. Розробка рекомендацій щодо визначення характеристик ПКК на стадії проектування житлової будівлі...	71
ВИСНОВКИ.....	91
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	93

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 даний 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 відповідно до нормативних вимог

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 розповсюдження вогню при виникненні пожежі в будівлі.

Найбільш економічно доцільним слід вважати об'єднання всіх видів внутрішнього водопроводу будівлі в одній господарсько-протипожежній системі. Однак недолік і відносно висока вартість питної води, споживання великої кількості води на виробничі потреби, різниця необхідних напорів і ряд інших чинників в 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 в будівлях в умовах міської забудови.

Внутрішнє пожежогасіння є альтернативою зовнішньому. Застосування внутрішніх водопровідних мереж дозволяє подати воду до осередку, при цьому витрати води при гасінні пожежі з середини 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 при гасінні пожеж у житлових будівлях на сьогоднішній день 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 ефективно використання води може бути досягнуто при високому її подрібненні.

Автоматичні системи пожежогасіння забезпечують таку ступінь роздрібнення. 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 високим трудовитратам при ліквідації наслідків спрацьовування установок даного типу [43]. В більшості випадків при гасінні водою, більша її частина витрачається марно и 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 висотою понад 47 м, передбачається встановлення додаткових пожежних кран-комплектів, встановлення яких повинно сприяти локалізації загоряння в квартирі безпосередньо мешканцями та запобігти 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 з 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 варіюються в 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 струменю
		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	3м
ДБН В.2.5-64:2012	ГПВ	посилання на EN 671-1:2017	посилання на EN 671-1:2017	3м

(Внутрішній водопровід та каналізація)	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; конічний розпорошений – 3 м

Крім цього, аналіз ПКК, існуючих на сьогоднішній день 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 з характеристиками, що виходять за рамки вимог норм.

Невідповідність характеристик ПКК за такими позиціями, як тип рукава може мати принципове значення при використанні ПКК в житлових висотних будівлях [116] через гідравлічні характеристики системи водопостачання, на якій вони встановлюються. Так, за вимогами [20], тиск в господарсько-питному водопроводі будівлі може лежати в межах 2 ÷ 45 м, а в протипожежному – досягати 90 м. Це означає, що фактичний напір перед ПКК може змінюватися в десятки разів. При цьому, в найгірших умовах розміщення ПКК (верхні поверхи будівлі при нижній розводці або нижні – при верхній), якщо використовувати обладнання з максимальним опором, може виявитися, що кількість води з ПКК з напівжорстким рукавом або з ПКК з плоскозгорнутим, не може

забезпечити відведення такої кількості тепла, яке виділяється при пожежі [100].

1.2. Визначення критеріїв ефективності використання ПКК для гасіння пожеж в 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) периметру 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 фонтану і т.д. Тому на практиці і розрізняють потрібну та фактичну лінійну – $I_L, \frac{\text{л}}{\text{м} \cdot \text{с}}, \frac{\text{кг}}{\text{м} \cdot \text{с}}$; поверхневу – $I_S, \frac{\text{л}}{\text{м}^2 \cdot \text{с}}, \frac{\text{кг}}{\text{м}^2 \cdot \text{с}}$; та об'ємну – $I_V, \frac{\text{л}}{\text{м}^3 \cdot \text{с}}, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3 \cdot \text{с}}$ інтенсивність подавання вогнегасних засобів. Вони визначаються дослідним шляхом або розрахунком при аналізі пожеж, що сталися.

При визначенні інтенсивності подавання вогнегасної речовини за результатами дослідження або гасіння реальної пожежі користуються співвідношенням:

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

де $V_{\text{в.р.}}$ – загальна кількість вогнегасної речовини за час проведення досліду або гасіння пожежі, л; кг; м^3 ; $\Pi_{\text{гас}}$ – розрахунковий параметр гасіння пожежі, м; м^2 ; м^3 ; $\tau_{\text{гас}}$ – час проведення досліду 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 при подаванні стволів (генераторів) на гасіння пожежі. Загальну фактичну витрату визначають [32] з урахуванням стволів, що подаються одночасно на гасіння та на 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 приладів (стволів, генераторів) на гасіння та захист; $Q_{\text{пр}}$ – витрата вогнегасної речовини з приладу, л/с; $\text{м}^3/\text{с}$; 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 ефективної

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 при гасінні 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:

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

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]. При подаванні 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 мініальному часу подавання вогнегасної речовини [3, 26].

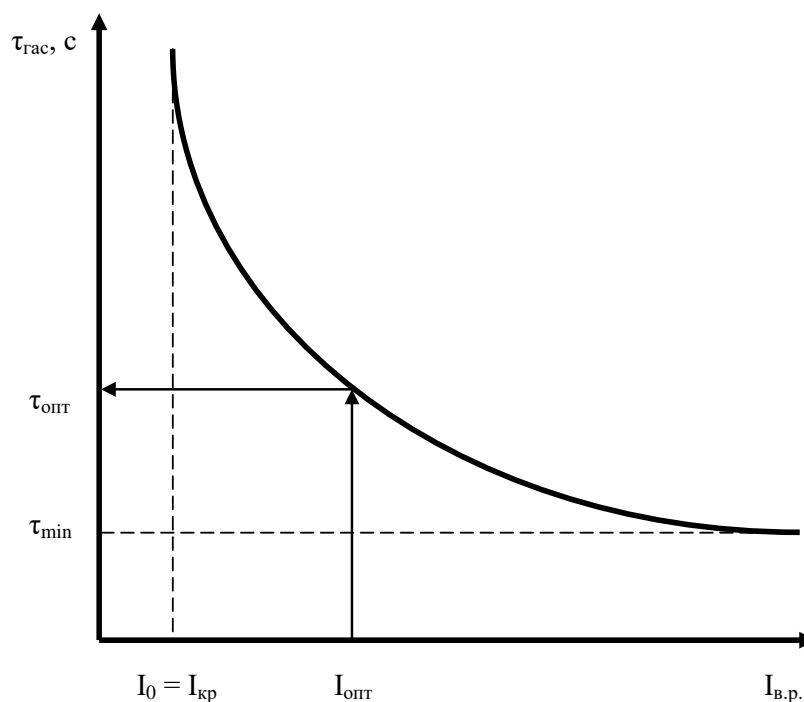


Рис. 1.2. Загальна залежність часу гасіння деревини від інтенсивності подавання води

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 в цій області, можуть застосовуватися для гасіння. Це дає можливість КГП широко маневрувати наявними у нього в 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 і 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 на 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 даний 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 із ємності вогнегасної рідини. Комплексне застосування цих способів дозволило зменшити діаметр краплі, знизити необхідний робочий тиск на приладі 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 в зовнішньої водопровідної 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 при заборі води безпосередньо з гідранта [102].

Системи пожежогасіння постійного високого тиску можуть викликати значний перевитрат електроенергії і тому в водопостачанні застосовуються рідко. Системи пожежогасіння тимчасового високого тиску застосовуються на деяких промислових підприємствах і в житлових і громадських висотних будівлях.

За способом боротьби з пожежами з використанням води виділяється 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 автонасосами пожежних команд;
- з локалізацією вогню, в яких здійснюється подача води з пожежних кран-комплектів внутрішнього водопроводу, а пожежогасіння (остаточне) - з гідрантів зовнішньої мережі; для локалізації вогню досить 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 з 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 в громадських і виробничих будівлях (незалежно від категорії) висотою понад 50 м і об'ємом до 50 тис. м³ слід приймати 4 струменя по 2,5 л/с

кожна, при більшому обсязі будівель - 8 струменів по 2,5 л/с кожна [15, 20].

Таким чином, при висоті будівлі вище значення максимального напору, який можуть розвинути пожежні автонасоси, внутрішній водопровід повинен забезпечити такі самі витрати води, як 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 і спорудах з деревоклеєних конструкцій або незахищених несучих металевих конструкцій витрата води на внутрішнє пожежогасіння слід збільшувати на 5 л/с (один струмінь);

- при застосуванні 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 при зростанні 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 норми частини будівлі, а якщо приміщення не відокремлені – за загальним об'ємом будівлі і 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 в сусідстві з залами різного призначення - на 2 - 3 поверхи [109].

ПКК, як елемент системи внутрішнього пожежогасіння, повинен відповідати нормативним вимогам.

Влаштування ПКК повинно сприяти локалізації загоряння в 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 найвіддаленого кута квартири з врахуванням 3 м на довжину струменя при проектному 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, буде непомітно в інтер'єрі і не порушить дизайн приміщення, а також простота в експлуатації – навчання застосуванню ПКК при 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 перерозходу води. Гнучкий рукав комплекту дозволяє обійти всі предмети меблювання, що зустрічаються на шляху. Установка запірного пристрою дозволяє перервати роботу в будь-який момент і відновити її за необхідності. Вартість вогнегасної речовини – води, як і самої установки невелика.

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 небезпеку будівлі (ступень вогнестійкості, категорію за вибухопожежною та пожежною небезпекою) [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 проєктувальників проблеми при прийнятті 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 в висотних житлових будівлях та устрою систем внутрішнього водопостачання

Шляхи підвищення ефективності використання внутрішнього водопроводу при гасінні 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 з використанням насосно-рукавних систем. Однак такий підхід дає ряд обмежень у реалізації напрямків мінімізації часу початку гасіння пожежі.

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

У роботах [9, 81] на основі результатів статистичного аналізу характеристики пожеж у будинках підвищеної поверховості розроблені вимоги до технічних засобів, методики аналізу їх якості та визначені шляхи їх подальшого вдосконалення. Проведенні дослідження направлені на вирішення існуючих проблем пожежної безпеки будинків 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 при різних термінах експлуатації і роботи в аварійних умовах і приймати обґрунтовані рішення про необхідність модернізації [7, 8].

Інший напрям досліджень полягає в створенні пристроїв з 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, при гасінні 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) проводять в роботі [53, 63], були отримані аналітичні вирази, що дозволяють будувати траєкторії руху струменів вогнегасної речовини [106].

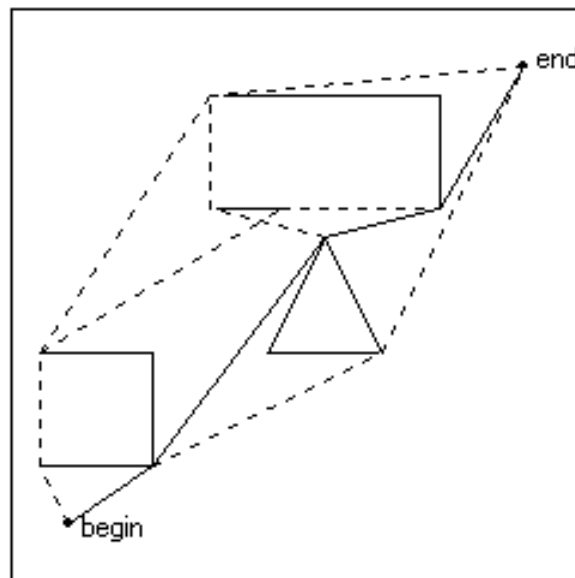
У роботі [18] отримані формули для розрахунків граничної дальності подавання дрібнодисперсних рідких вогнегасних речовин, які випаровуються в процесі доставки до місця горіння.

У роботі [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

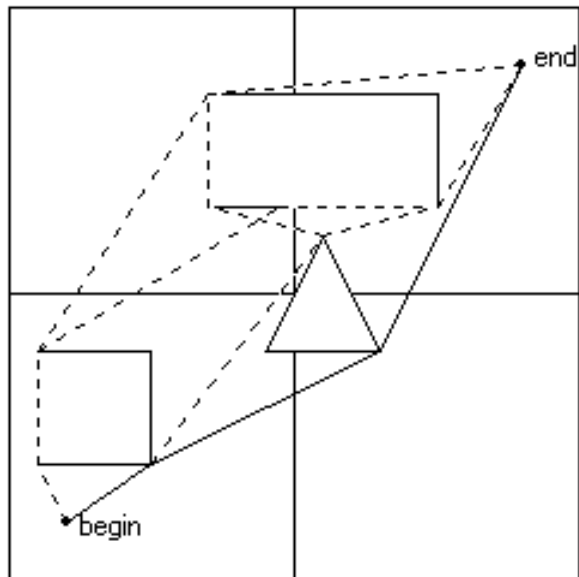
заходи для зменшення біологічного заростання внутрішнього водопроводу у висотних будівлях.

При проектуванні 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 при найкоротшій довжині рукава.

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



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

Крім того, запропонований підхід [36] до визначення надійності систем протипожежного водопостачання дозволить зменшити шкоду від можливих пожеж за рахунок вибору оптимальних, с точки зору надійності, параметрів систем протипожежного водопостачання при проектуванні або оновленні районів міст.

В той же час в літературі відсутні дослідження по знаходженню 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 можливо 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, який оснащений пристроєм плавної зміни діаметра випускного отвору, які мають інші значення опору та відповідно впливають на втрати напору в складових ПКК та фактичну кількість води, що з нього можливо 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, визначені виходячи з варіантів характеристик ПКК та водопровідної мережі [55, 59, 62, 63, 64]. Досліджувався вплив чотирьох параметрів – тиску в мережі $P(m)$, ступеня розгортання рукава s

(%), діаметра d (мм) випускного отвору розпоршувача (насадка) та довжини рукава l (м) на витрати води q (л/с) за допомогою установки, схему якої наведено на рис. 2.1. При проведенні експерименту рукав приєднувався до трубопроводу водопровідної мережі, в який 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.

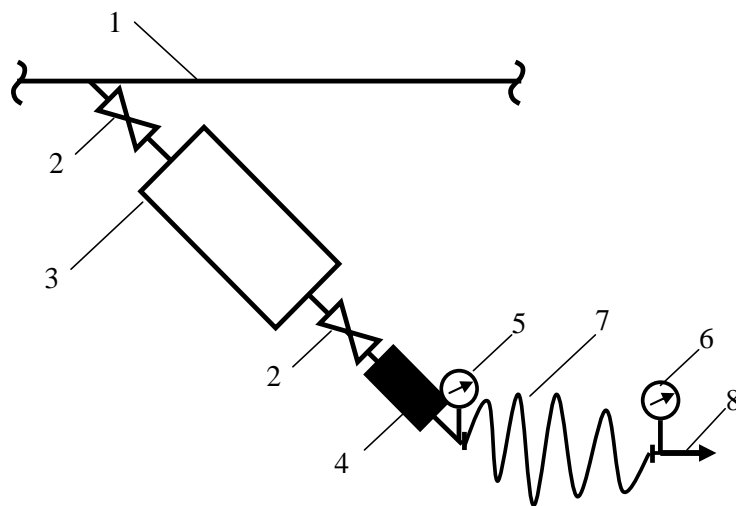


Рис. 2.1. Схема установки для експериментального дослідження фактичних витрат води з ПКК: 1 – водопровідна мережа; 2 – засувка; 3 – насос; 4 – лічильник води; 5, 6 – манометри; 7 – рукав; 8 – розпоршувач

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 повного 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].

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





В таблиці 2.1 наведені 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 підключення його 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.

Таблиця 2.1

Рівні варіювання факторів

Інтервал варіювання та рівень факторів	Тиск Р у мережі, м, у разі приєднання до:		Ступінь s розгортання рукава, %	Діаметр d насадка розпорошувача, мм	Довжина l 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

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.

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

Таблиця 2.2

План-матриця експерименту визначення фактичних витрат води з ПКК

№ досліду	x_1	x_2	x_3	x_4
1	+1	+1	+1	+1
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

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. 2.3), розробленого кафедрою інформатики ХНУБА.

План експеримента

Сохранение результата Вычисления Выход

X	X[1]	X[2]	X[3]	X[4]	Y	Ymod	dY
1	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	0,74000	0,72751	0,01249
2	1,00000	1,00000	1,00000	-1,00000	0,77000	0,77619	-0,00619
3	1,00000	1,00000	-1,00000	1,00000	0,60000	0,61837	-0,01837
4	1,00000	1,00000	-1,00000	-1,00000	0,67800	0,67554	0,00246
5	1,00000	-1,00000	1,00000	1,00000	0,64000	0,65869	-0,01869
6	1,00000	-1,00000	1,00000	-1,00000	0,69600	0,68987	0,00613
7	1,00000	-1,00000	-1,00000	1,00000	0,58000	0,57404	0,00596

Оценка дисперсии коэффициентов

SIKV(1)	SIKV(2)	SIKV(3)	SIKV(4)	SIKV(5)	SIKV(6)	SIKV(7)
7,1320E-005	9,9055E-006	9,9055E-006	9,9055E-006	9,9055E-006	2,4764E-005	2,4764E-005

Коэффициенты уравнения регрессии в нормированных единицах

0,48016	0,18448	0,01704	0,05220	-0,01671	-0,00635	-0,00385
---------	---------	---------	---------	----------	----------	----------

Доверительный интервал истинного значения коэффициентов

SIEP(1)	SIEP(2)	SIEP(3)	SIEP(4)	SIEP(5)	SIEP(6)	SIEP(7)
1,4357E-002	5,3504E-003	5,3504E-003	5,3504E-003	5,3504E-003	8,4598E-003	8,4598E-003

Оценка дисперсий ошибок наблюдений 1,9811E-004

Остаточная сумма квадратов 1,9811E-003

Число степеней свободы 10 *В центре плана Y=...*

Рис. 2.3. Вікно програми «Планування експериментів»

В основу цього програмного продукту покладені стандартні залежності [17], за якими в якості результатів розрахунку визначаються коефіцієнти рівняння регресії, довірчий інтервал істинного значення коефіцієнтів; оцінка дисперсії коефіцієнтів; оцінка дисперсії помилок дослідів; остаточною сума 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):

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

– 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):

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

Аналіз коефіцієнтів (2.1)–(2.10) та аналіз рисунків 2.4 - 2.5 показав, що фактичні витрати води з ПКК в малий мірі залежать від довжини рукава, а набагато сильніше – від тиску в мережі (має місце майже лінійне зростання). При рівні тиску від 2 м до 44 м (для ГПВ) витрати збільшуються майже в десять разів. Ступінь розгортання рукава при малому діаметрі насадка має малий вплив, але при більшому діаметрі стає декілька вагомішою.

Також аналіз рис 2.4 – 2.5 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.

При переході до натуральних координат і аналізі отриманих графіків (приклад яких наведено на рис. 2.6–2.11) з'ясовано, що за низького тиску (у разі приєднання до ГПВ) і за низького ступеня розгортання рукава (32 %) та діаметрі 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 (витікає з порівняння рис. 2.6,а та рис. 2.6,б).

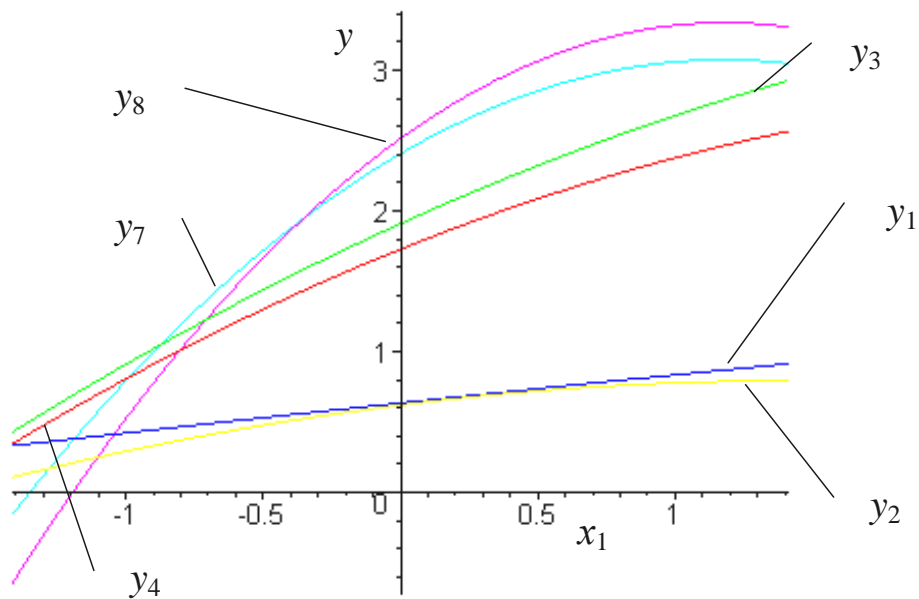


Рис. 2.4– Залежність фактичних витрат води з ПКК, підключеного до ГПВ водопроводу, від напору в мережі x_1 при ступені розгортання рукава x_2 та діаметрі насадка розпорошувача x_3 на максимальному рівні, а довжині рукава x_4 – на мінімальному рівні (в зоряних точках)

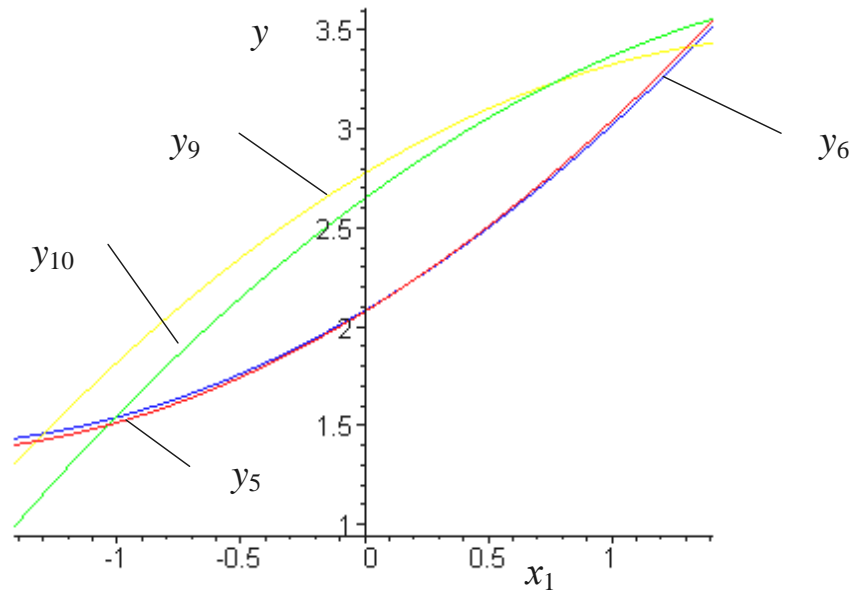
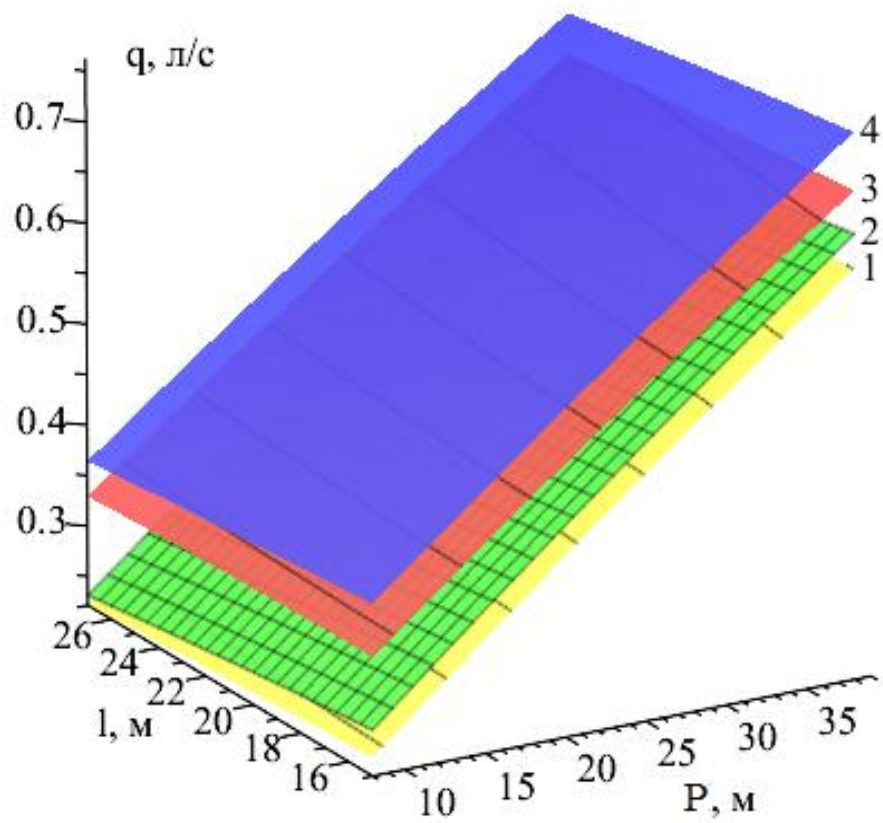
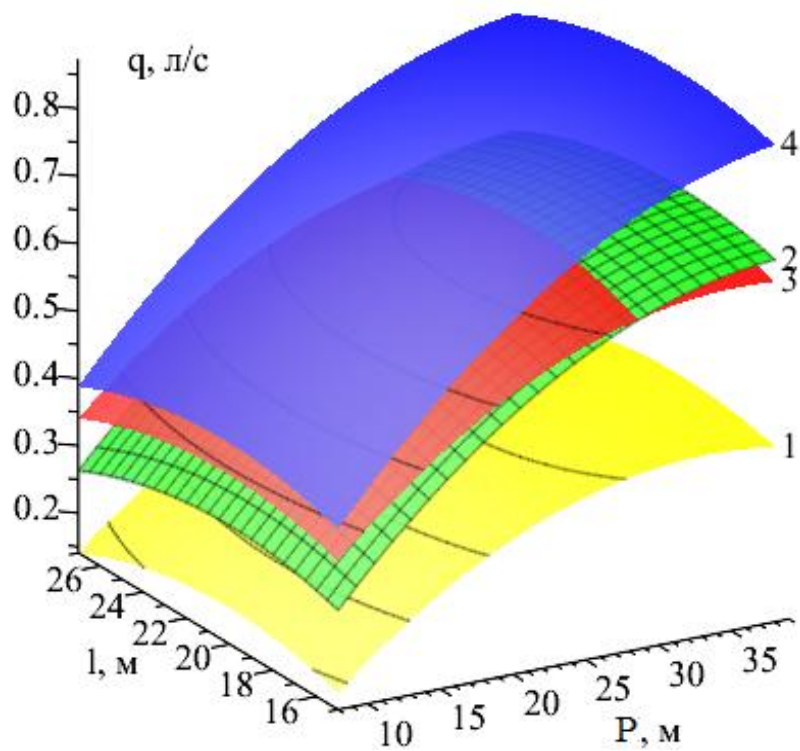


Рис. 2.5 – Залежність фактичних витрат води з ПКК, підключеного до ВПВ, від напору в мережі x_1 при ступені розгортання рукава x_2 та діаметрі насадка розпорошувача x_3 на максимальному рівні, а довжині рукава x_4 – на мінімальному рівні (в зоряних точках)

За зростання рівня тиску від 8 м до 75 м різниця у витратах води може зростати більш ніж у 29 раз (мінімальне значення 0,15 л/с – рис. 2.6,б і максимальне 4,3 л/с – рис. 2.8,б).



а)



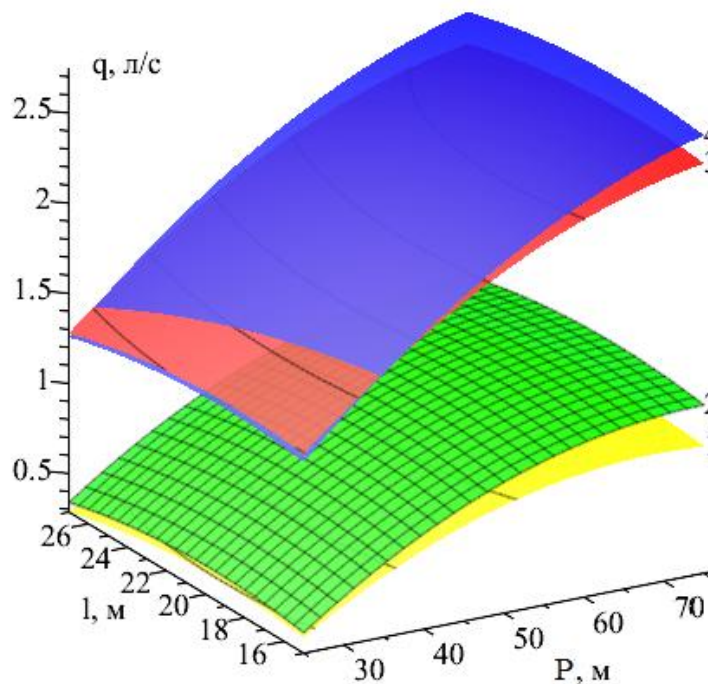
б)

Рис. 2.6. Залежність витрат води q (л/с) від довжини рукава l (м) та тиску в мережі P (м) у разі підключення до ГПВ рукава діаметром 19 мм: 1

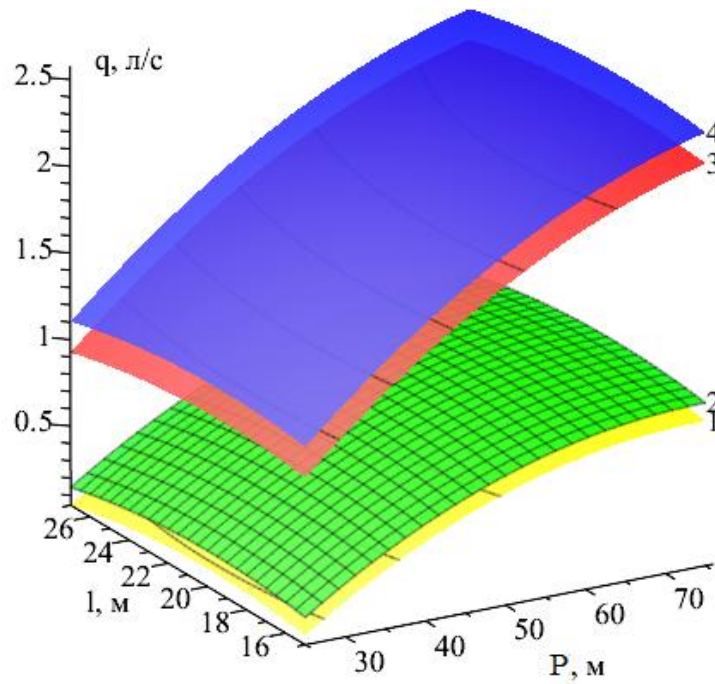
– $s=32\%$, $d=6$ мм; 2 – $s=88\%$, $d=6$ мм; 3 – $s=32\%$, $d=12$ мм; 4 – $s=88\%$, $d=12$ мм. а) ПЗР; б) НЖР

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 (витає з порівняння рис. 2.8,а та рис. 2.8,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 насадка (порівняння поверхонь 3 і 4 з поверхнями 1 і 2 на рис. 2.7), але зі зростанням діаметра рукава ця відміна стає не такою суттєвою (рис. 2.8).

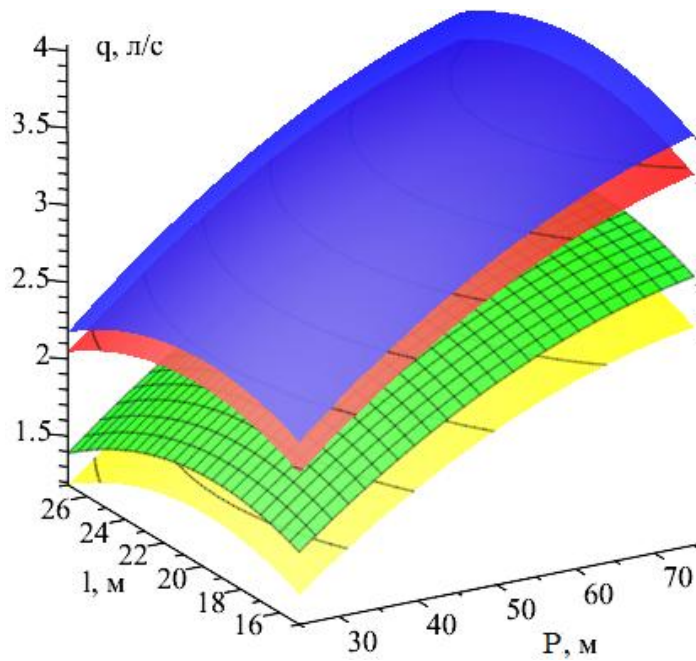


а)

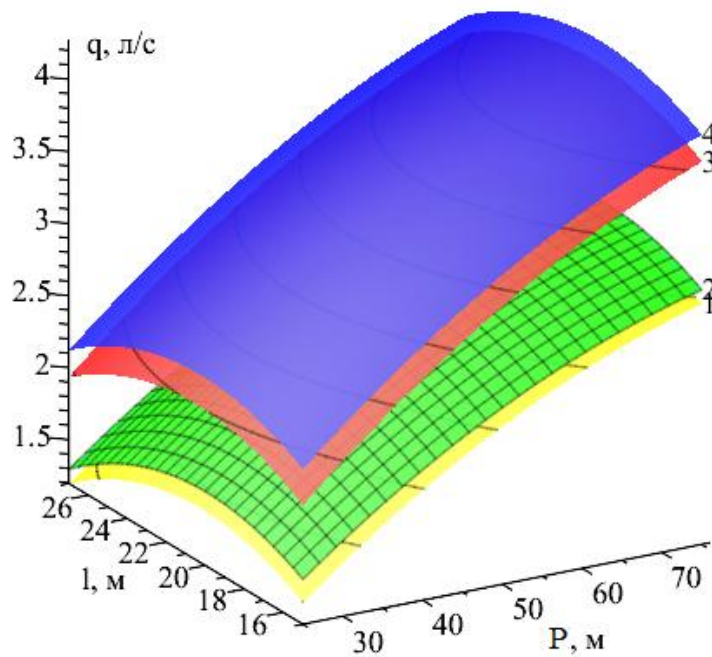


б)

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 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

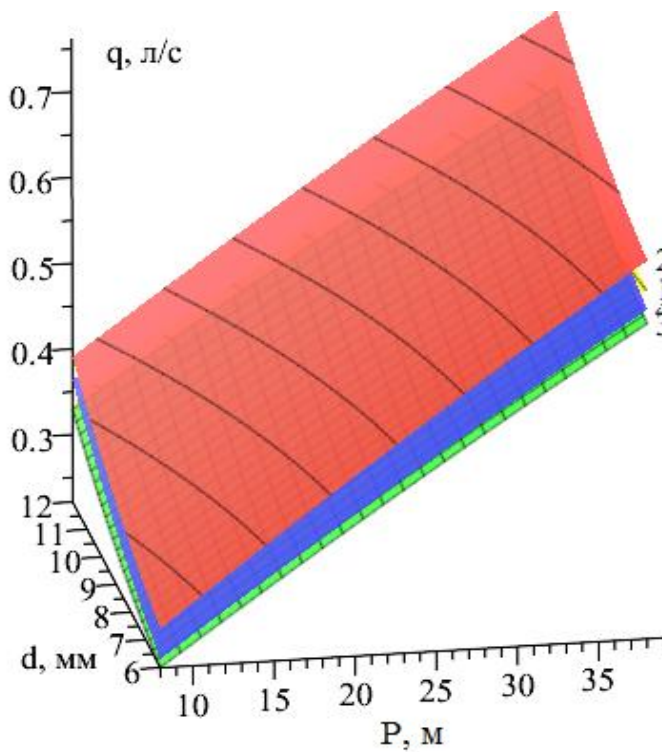


а)

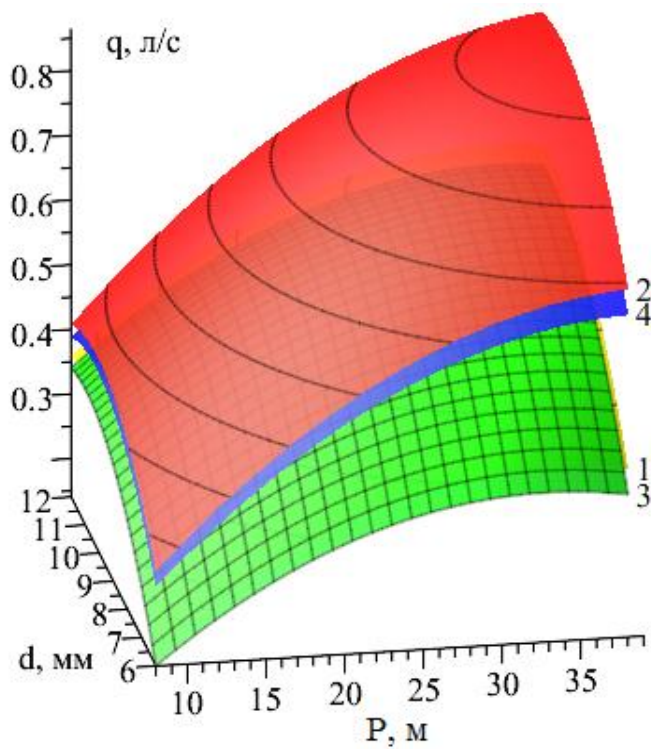


б)

Рис. 2.8. 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

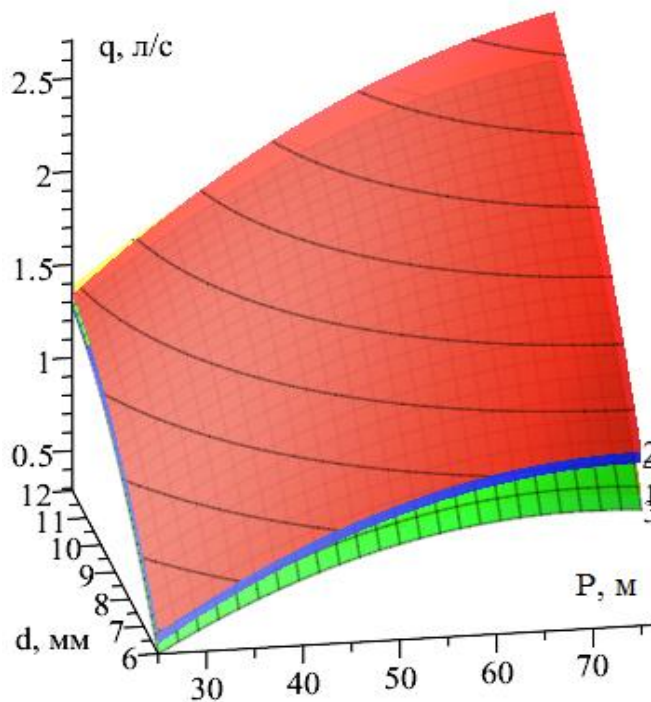


а)

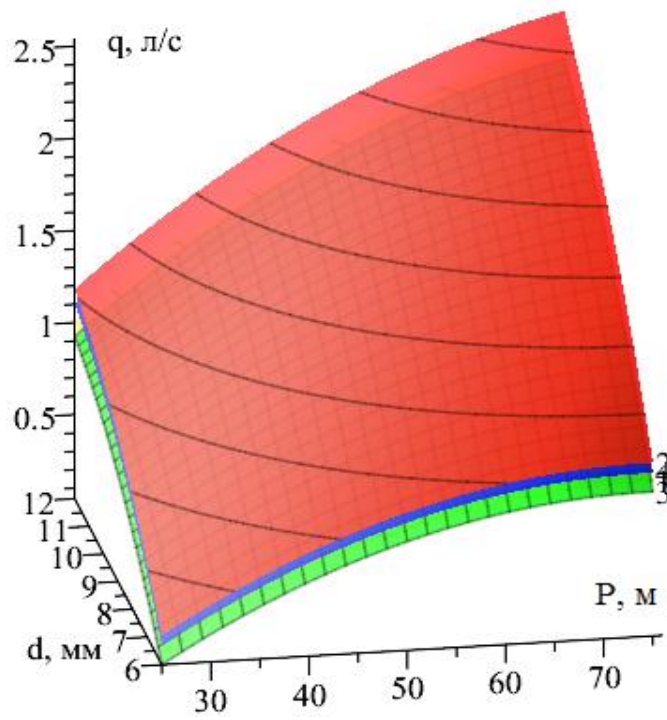


б)

Рис. 2.9. 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

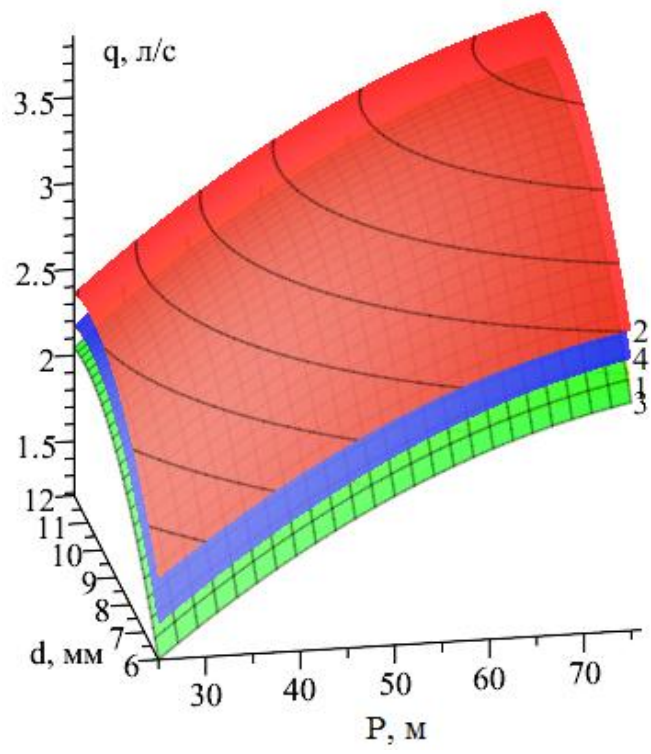


а)

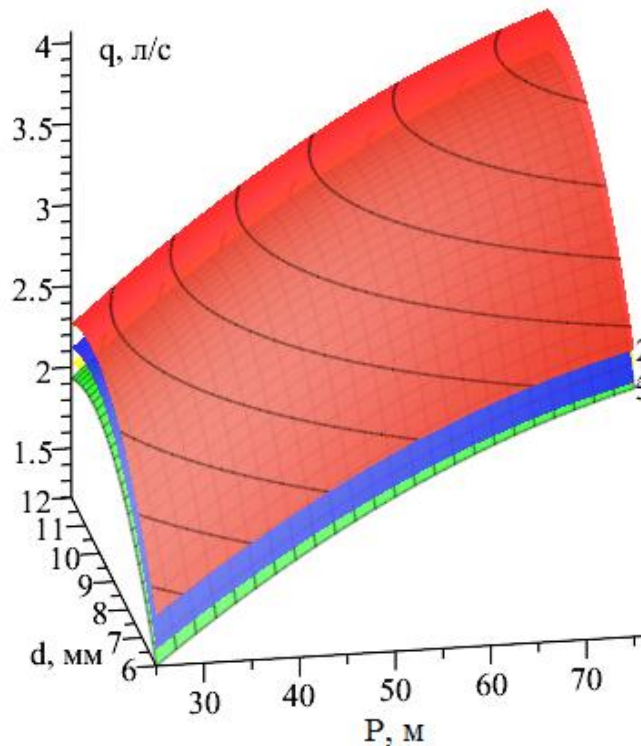


б)

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 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. 2.11. Залежність витрат води q (л/с) від діаметра насадка 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 насадка з 6 мм до 12 мм збільшує витрати води від 1,3 (за тиску 25 м) до 2,1 (за тиску 75 м) раз. Також виявлено 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 прослідити на прикладі рис. 2.10 та 2.11 де видно, що для кожного з типів рукавів поверхні $q(H,d)$ відрізняються мало (максимальна різниця не перевищує 0,4 л/с) при значному показнику витрат, тобто складає 10 %.

РОЗДІЛ 3

ВИЗНАЧЕННЯ НЕОБХІДНИХ ВИМОГ ДЛЯ ПАРАМЕТРІВ ПОЖЕЖНОГО КРАН- КОМПЛЕКТА

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

Для успішного гасіння пожежі в житлових будівлях при використанні пожежних кран-комплектів необхідно, щоб кількість води, яка подається через них від водопровідної мережі, була достатньою для відведення енергії, що виділяється в 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 при 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:

$$Q_{\text{вид}} = v_{\text{м}} S_{\text{пож}} Q_{\text{н}}, \text{ кДж/с}, \quad (3.3)$$

де $v_{\text{м}}$ - приведена масова швидкість вигорання, кг/(с·м²);

$S_{\text{пож}}$ - площа пожежі;

$Q_{\text{н}}$ - 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:

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

де τ_c – час досягнення продуктами горіння стелі, с;

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

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

$\tau_{ПКК}$ – 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:

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

де H – висота приміщення, м;

ρ_v – густина повітря у приміщенні, кг/м^3 ;

T_v – температура повітря у приміщенні, К;

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

g – прискорення вільного падіння, м/с^2 ;

S – початкова площа загоряння, м^2 ;

η – коефіцієнт хімічного недопалу;

α_K – коефіцієнт, що враховує частку конвективної теплоти.

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

де T_d – температура диму, К.

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

$$\tau_L = 1,15 \cdot \sqrt[3]{\frac{L^4 \rho_B T_B c_B}{g(v_M S \eta) Q_H \alpha_K}} \left(\sqrt{\frac{L}{H}} \right)^3, \text{ с,} \quad (3.7)$$

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 $2,5 \div 4,5$ м. Мінімальну межу площі пожежі пропонується взяти від $0,2 \text{ м}^2$, 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.

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 буде не перевищувати 120 с (рис. 3.2).

Таким чином, димовий потік досягне пожежного сповіщувача за час, який складається з 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 $2,5 \div 4,5$ м).

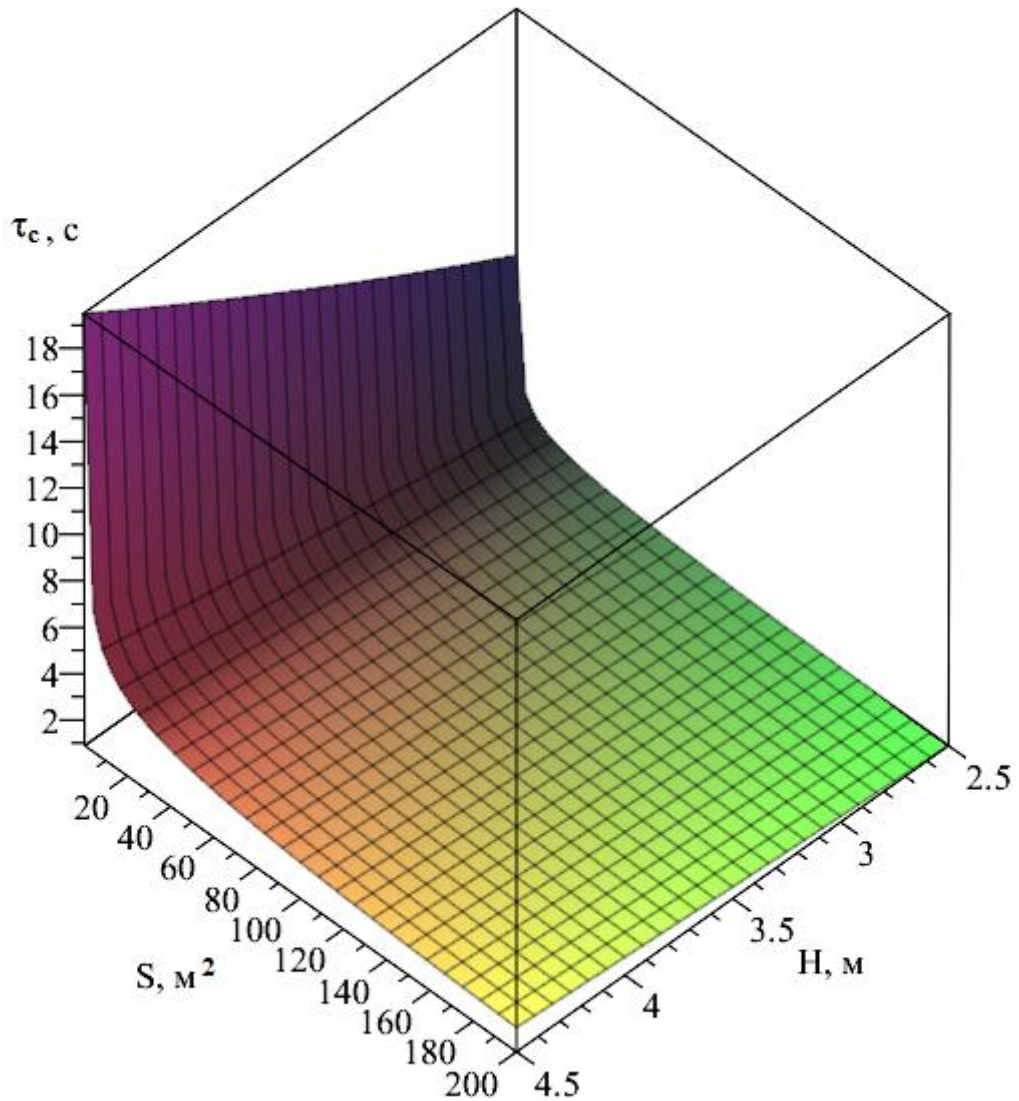


Рис. 3.1. Залежність часу досягнення димом стелі τ_c від висоти приміщення $H = 2,5 \div 4,5$ м та площі пожежі $S = 0,2 \div 200$ м²

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

При проведенні експериментальних досліджень паралельно був оцінений час введення в дію пожежного кран-комплекту. Він оцінений як $60 \div 200$ с, в залежності від віддаленості осередку пожежі від місця розташування ПКК.

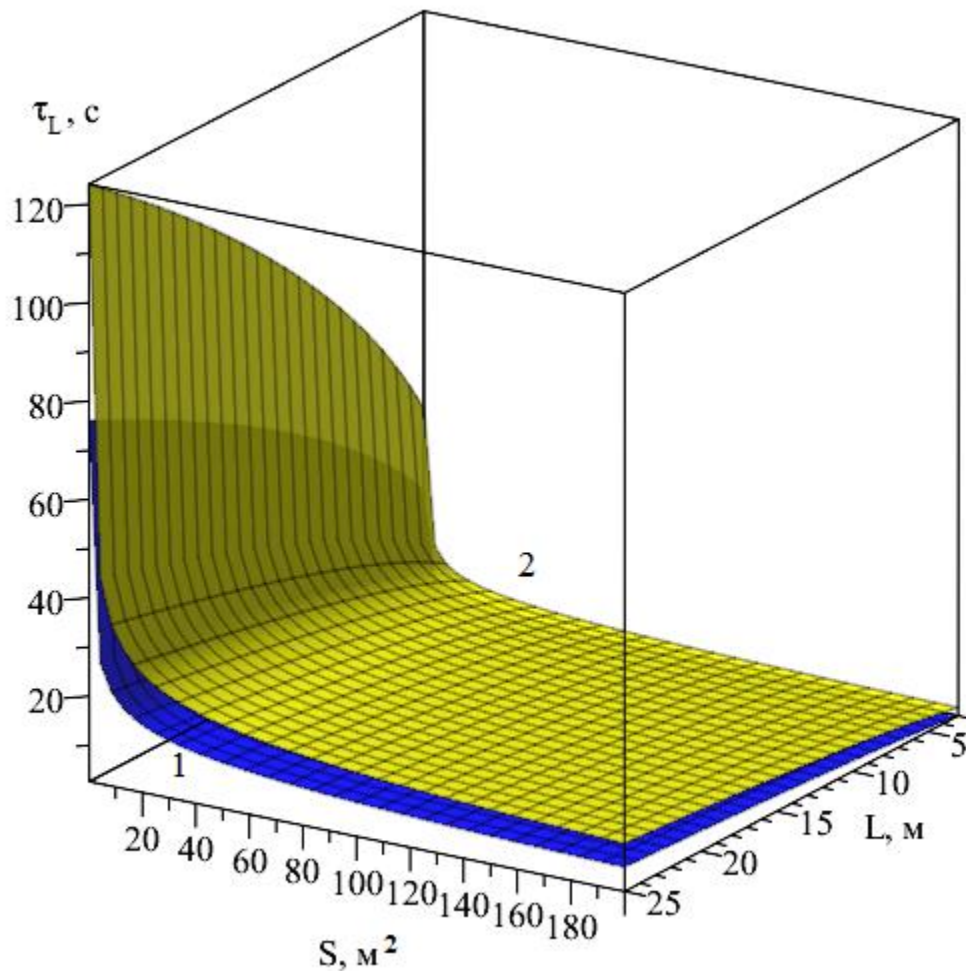


Рис.3.2. Залежність часу досягнення димом пожежного сповіщувача τ_L від відстані між віссю вертикальної частини димового потоку, до пожежного сповіщувача $L=3\div 25$ м та площі пожежі $S=0,2\div 200$ м² при висоті приміщення: 1 - 2,5 м; 2 – 4,5 м

За результатами розрахунків визначено, що τ змінюється в межах $66 \div 350$ с. Таким чином, мінімальний час початку гасіння пожежі складає 66 с. Площа пожежі на цей час складе $0,32$ м², за умовою форми у вигляді кола і лінійної швидкості вигорання $0,01$ м/с [32]. Якщо прийняти час гасіння пожежі краном квартирною пожежогасіння в межах $\tau_{\text{гас}} = 1 \div 200$ с, можна визначити, що для гасіння пожежі в квартирі житлової будівлі, в якій встановлений пожежний кран-комплект разом з димовим сповіщувачем, необхідно подати воду у кількості $3,7 \div 4641$ л (рис. 3.3).

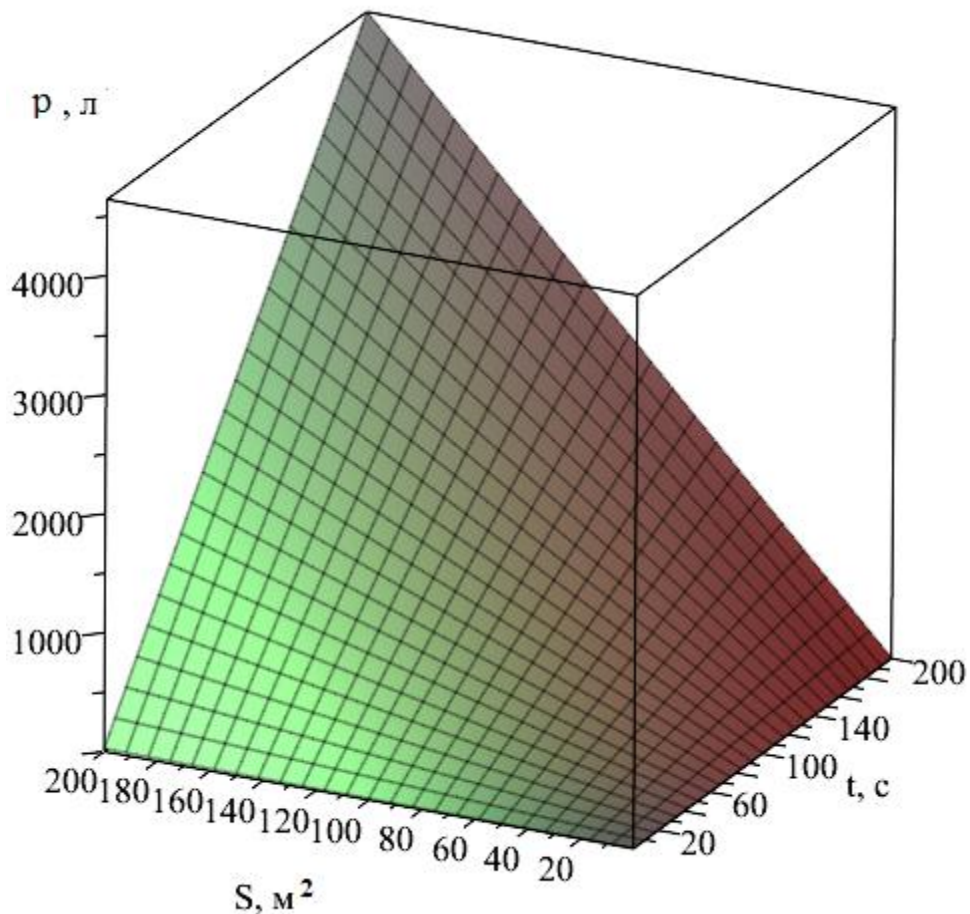


Рис.3.3. Залежність необхідної кількості води для гасіння пожежі p від площі пожежі $S = 0,2 \div 200 \text{ м}^2$ та часу її гасіння $\tau_{\text{гас}} = (1 \div 200) \text{ с}$

Для успішного гасіння пожежі в житлових будівлях при використанні 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]:

$$q = \frac{Q_{\text{н}} \cdot v_{\text{м}} \cdot \tau_{\text{в}}^3 \cdot v_{\text{л}}^2 \cdot \pi}{4 \cdot Q \cdot \tau_{\text{гас}}}, \text{ л/с}, \quad (3.8)$$

де $Q_{\text{н}}$ – нижча теплота згоряння, кДж/кг;

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

τ_B – час вільного розвитку пожежі, с;

v_L – лінійна швидкість розповсюдження полум'я, м/с;

$Q_{\text{вод}}$ – кількість теплоти, що відводиться водою, кДж/кг;

$\tau_{\text{гас}}$ – 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 розповсюдження полум'я v_L . Для пожежного навантаження житлових будівель ці величини за довідниковими даними [32, 82] знаходяться в межах: $Q_H = 10000 \div 50000$ кДж/кг; $v_M = 0,001 \div 0,015$ $\text{кг}/(\text{с}\cdot\text{м}^2)$; $v_L \approx 0,01$ 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).

Розрахунок необхідних витрат води для успішного гасіння пожежі за (3.8) можливо 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 $0,015 \div 7,5$ л/с (рис. 3.5).

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

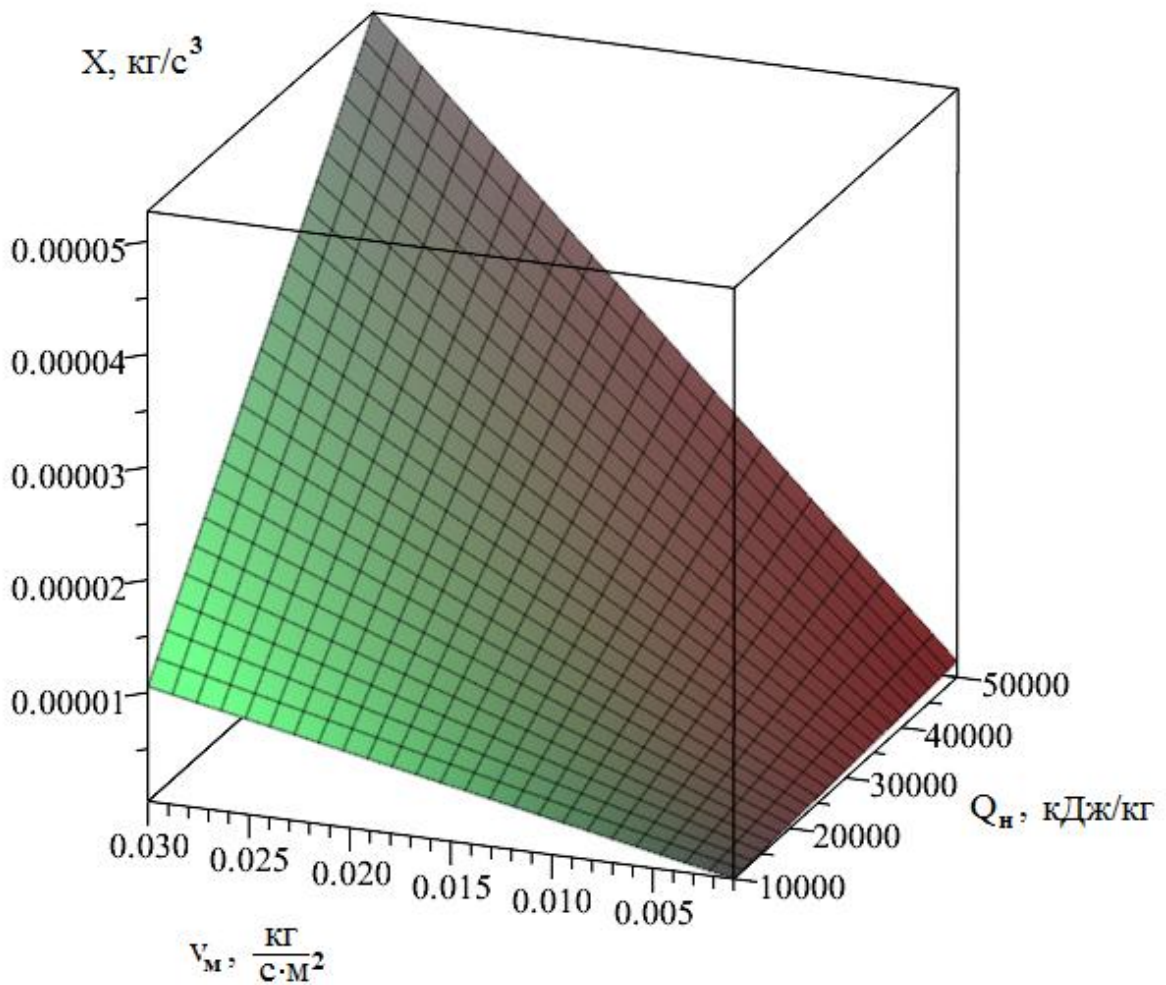


Рис.3.4. Залежність додаткового параметра X від приведеної масової швидкості вигорання v_m та нижчої теплоти згорання Q_n

Для успішного гасіння пожежі в житлових будівлях при використанні 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.

Задаючи фактичний рівень витрат води, який можна отримати від

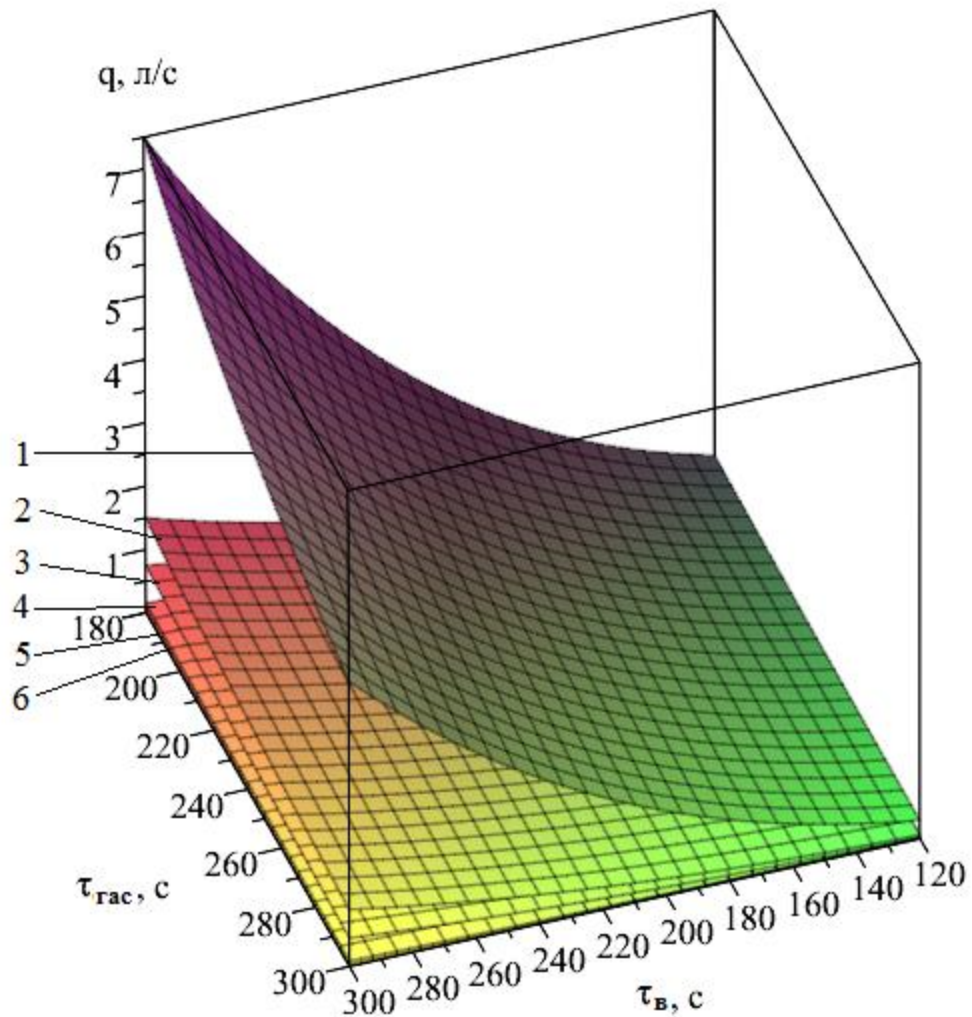


Рис.3.5. Залежність необхідних витрат води q для гасіння пожежі в залежності від часу подачі вогнегасної речовини на гасіння $\tau_{\text{гас}}$ та часу вільного розвитку пожежі $\tau_{\text{в}}$ при різних значеннях додаткового параметра X : 1 – $5 \cdot 10^{-5}$; 2 – 10^{-5} ; 3 – $5 \cdot 10^{-6}$;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

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 призводить 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 при великій площі і великій протяжності внутрішніх стін приміщення. Зрозуміло, що недостатня довжина рукава призводить до унеможливлення подачі води безпосередньо в осередок пожежі, а надлишок довжини призводить до втрат напору, зважаючи, на як правило, малий діаметр рукава та невеликий тиск в протипожежній мережі, особливо в житлових приміщеннях.

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

В [20, 68] викладені основні вимоги до характеристик складових ПКК. Відповідно до цих вимог ПКК комплектуються рукавом (довжина рукава – до 30 м). Дана 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 і кожен (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 рішення оптимізаційна задача

$$L_{AB} = \max(\min_{L \subset \Omega} L), \quad (3.10)$$

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 ділиться 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 внутрішньої 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 припустиму 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 розпорощувача 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 припустиму 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. Місцеположення ПКК фіксовано і визначено проектом будівництва. Опишемо приміщення з внутрішньою частиною Ω контуром неопуклого багатокутника $\bar{\Omega}$.

Задамо даний багатокутник набором його вершин в 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 $\overline{\Omega}$. В загальному вигляді, використовуючи в якості параметру поточну довжину рйого периметру, 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 еквідістанти [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 – еквідістантна відстань. В даному контексті вона являє собою довжину струменя води ℓ . Обрання знаків в виразі (3.12) повинно бути узгоджено для вірного опису внутрішньої чи зовнішньої еквідістанти.

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

Слід зауважити, що еквідістантна 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 .

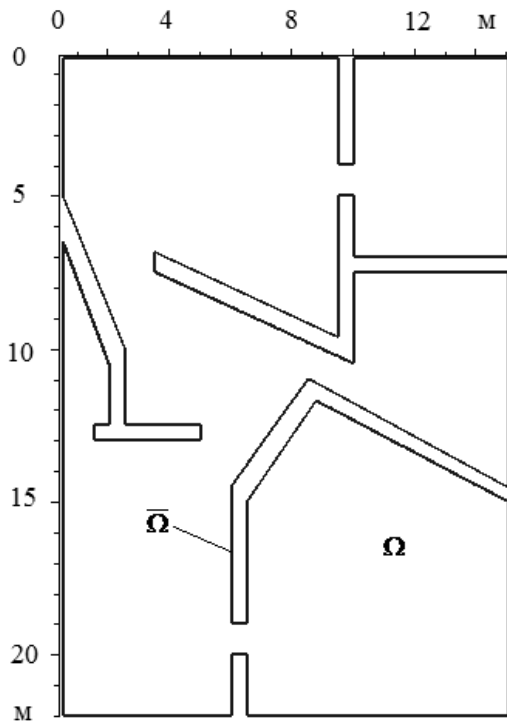


Рис. 3.6. Приклад плану приміщення

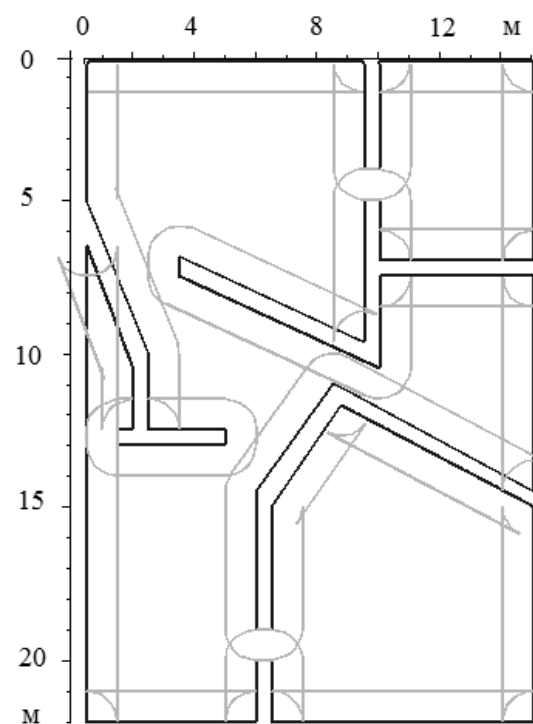


Рис. 3.7. Еквідистанта для даного приміщення

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. Місцеположення підключення ПКК до водопровідної мережі будемо вважати додатковою вершиною. Побудуємо ребра графа в три етапи.

На першому етапі з'єднаємо кожну вершину з кожною, уникаючи повторів. Всього отримаємо $n(n-1)$ неорієнтованих ребер. Для наведеного прикладу таких буде більш ніж 1800, тому немає сенсу зображувати 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 і 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, вилучим 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.

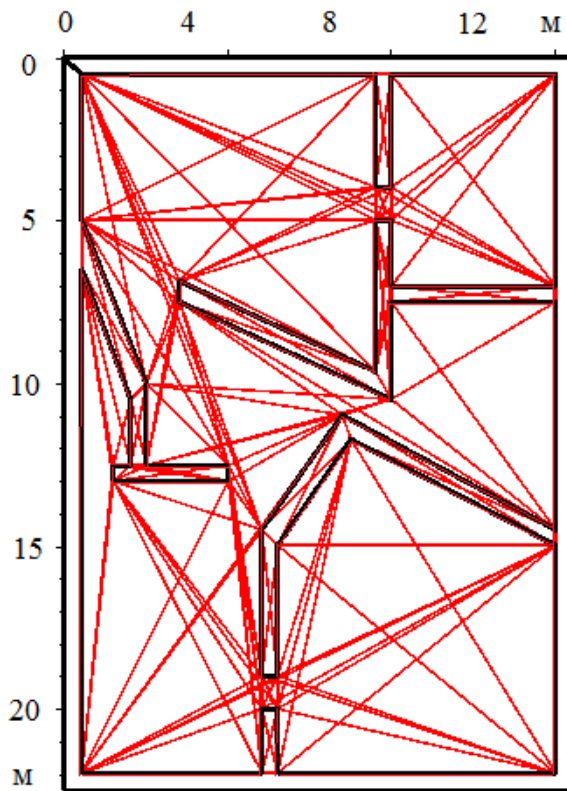


Рис. 3.8. Другий етап побудови графа

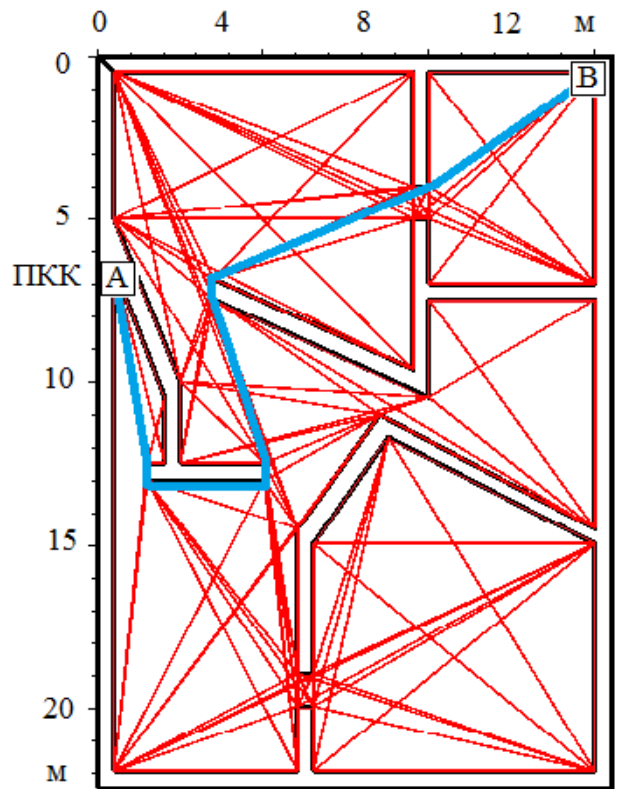


Рис.3.9. Третій і четвертий етапи побудови графа

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

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

Оберемо для визначеності горизонтальний луч з початком в точці $(x_0; y_0) \in \Omega$ (рис. 3.9). Рівняння j -ої 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 луча та цієї сторони має координати $(x = f_j(x, y_0); y = y_0)$.

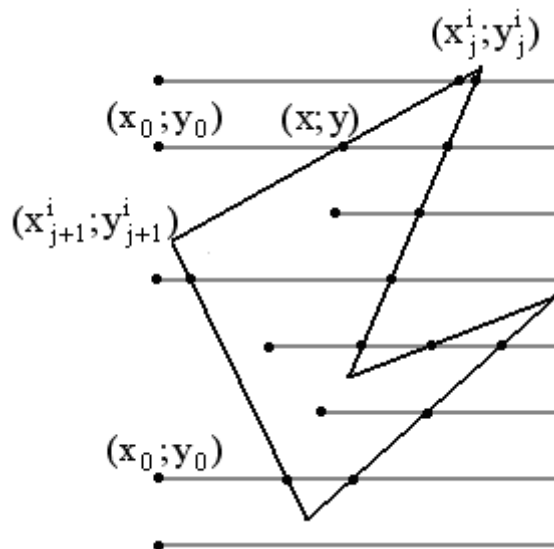


Рис. 3.9. Взаємне розтошування луча і багатокутника

Перетин може мати місце у випадку виконання необхідної умови

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

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 луча зпочатком в точці $(x_0; y_0)$ всіх сторін багатокутника.

Вилучивши ребра, які лежать всередині стін, отримаємо граф, що зображено на рис. 3.9.

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

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

$$|P_1P_2| = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}. \quad (3.19)$$

Тому на четвертому етапі можна застосувати алгоритм Дейкстра [78] пошуку найкоротшої відстані між точкою А та кожною з вершин контуру приміщення. Серед обраних відстаней обираємо найбільшу – це і є шукана найменша допустима довжина рукава ПКК. На рис. 3.9 жирною лінією наведена дана конфігурація.

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

Запропонована процедура відшукання 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 місцеположення точки підключення до водопровідної мережі самого ПКК.

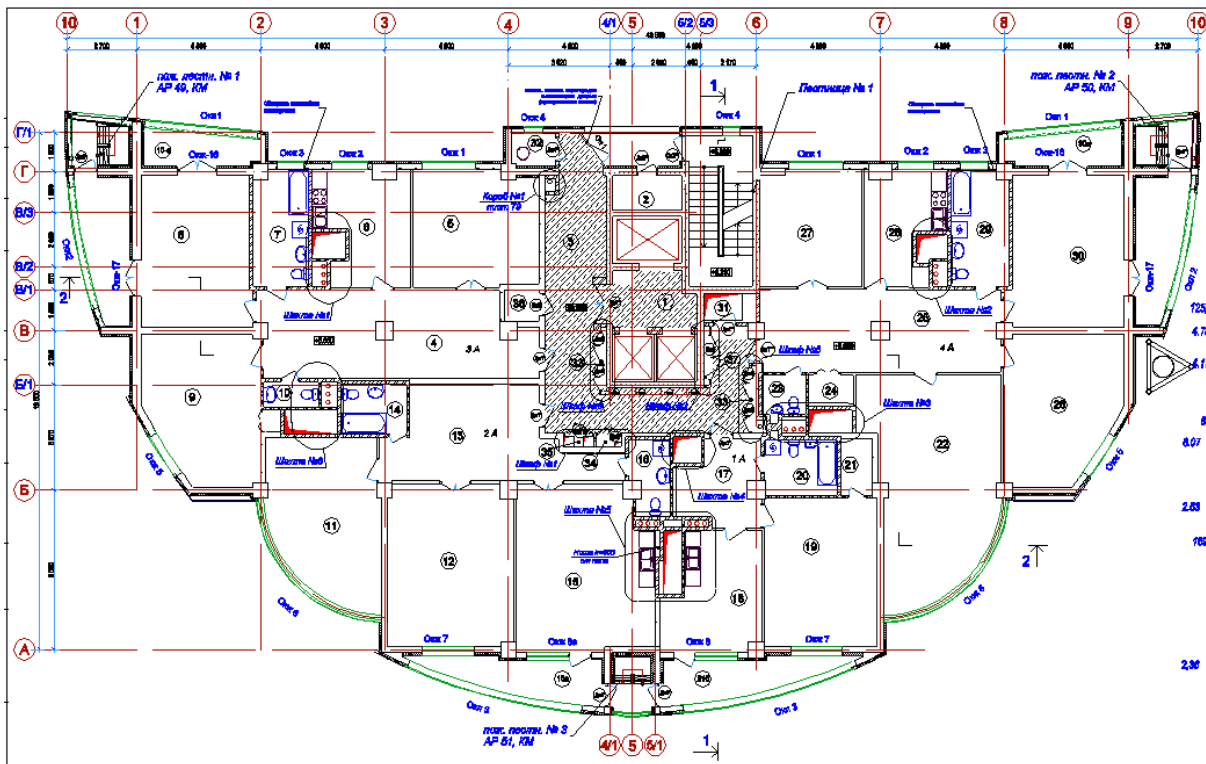


Рис. 3.10. План поверху житлової будівлі

Результати проведених досліджень модельних приміщень рівних габаритів, але різного внутрішнього планування в деяких випадках показали різницю в необхідній довжині рукава ПКК більш ніж в 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 місцеположення точки підключення ПКК). В такому випадку необхідно або збільшувати довжину рукава, що призводить до втрати напору, або змінювати місцеположення точки підключення ПКК, що потребує внесення коректив у планування внутрішньої водопровідної мережі й вирішення оптимізаційної задачі розміщення даної точки.

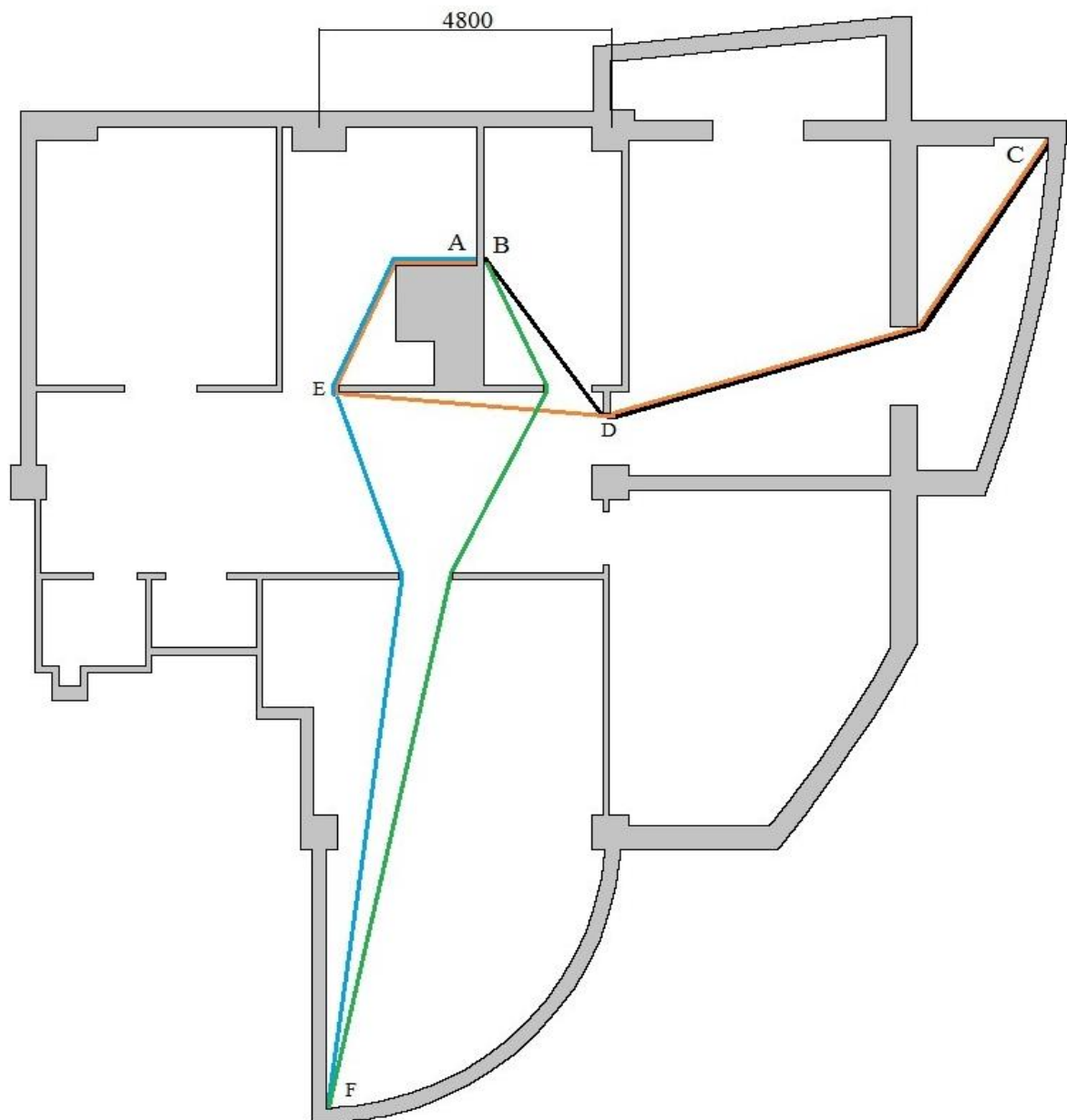


Рис. 3.11. Приклад розрахунку мінімально допустимої довжини рукава для житлового приміщення

Для вже реального, а не модельного приміщення (рис. 3.11) (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 при 100 % ступені розгортання рукава.

Слід зауважити, що знайдена довжина рукава з одого боку не враховує довжину струменя води (3 м), а с другого боку не враховує необхідність оминання рукавом меблів і інших предметів інтер'єру.

РОЗДІЛ 4

РОЗРОБКА ПРОПОЗИЦІЙ ЩОДО УМОВ ВИКОРИСТАННЯ ПКК У ЖИТЛОВИХ БУДІВЛЯХ ТА РЕКОМЕНДАЦІЙ ДЛЯ ПРОЕКТУВАННЯ 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).

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 прийняття рішення щодо обладнання ПКК. За умовою, що ПКК в 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 при виникненні 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.).

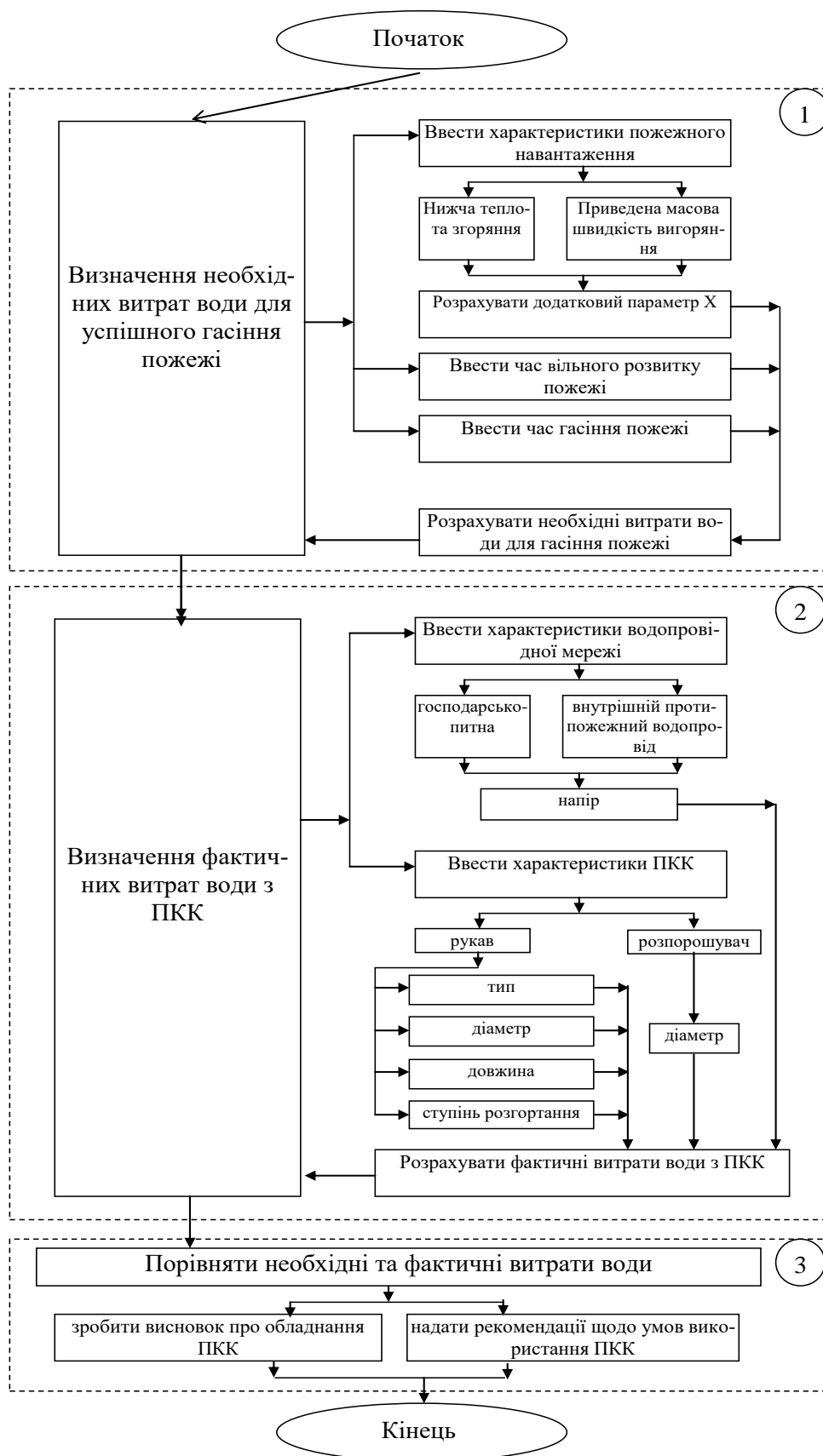


Рис. 4.1. Блок-схема алгоритму вибору обладнання пожежних кран-комплектів

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 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 з 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 з 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 пакету «ПКК» є характеристики будівлі, пожежного навантаження та водопровідної мережі. Для частин 2 та 3 додатково можуть задаватися характеристики складових ПКК, якщо їх вибір здійснюється не за запропонованими рекомендаціями або метою роботи з 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:

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

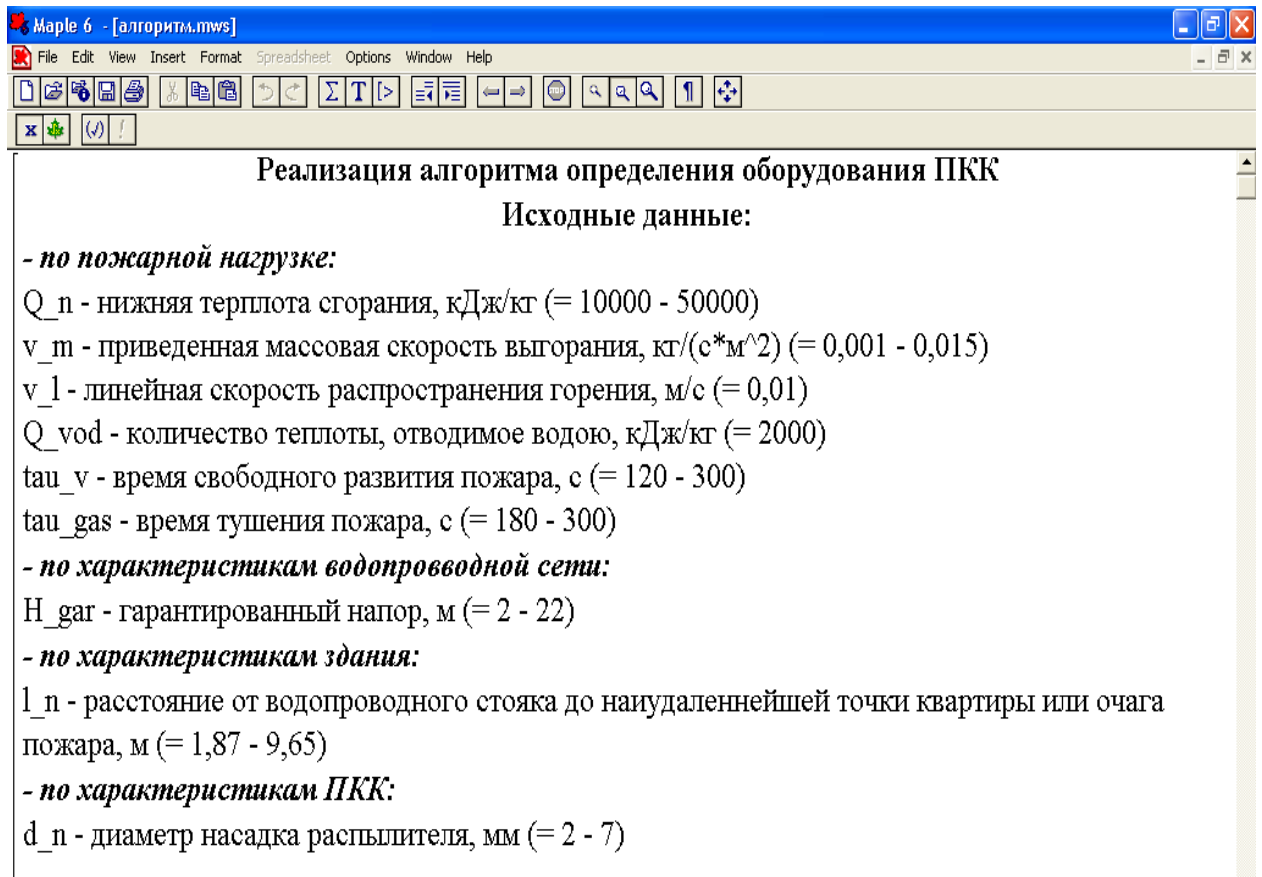


Рис.4.2. Вихідні данні для роботи програмного комплексу «ПКК»

3) задається фактичний напір в 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 порівняння одержаних величин з фактичними витратами з ПКК з різними характеристиками

$$> \text{plot3d}(q, \text{tau}_{\text{gas}} = 60 \dots 600, \text{tau}_v = 60 \dots 300, \text{color} = \text{black});$$

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 в 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 та додатковому захисті людей та майна в цієї будівлі.

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

$$> \text{restart};$$

характеристики пожежного навантаження:

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

характеристики водопровідної мережі та обладнання ПКК:

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

1) розрахунок параметра X :

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

2) розрахунок необхідної кількості води q

$> q := (X ((\tau_v)^3))$

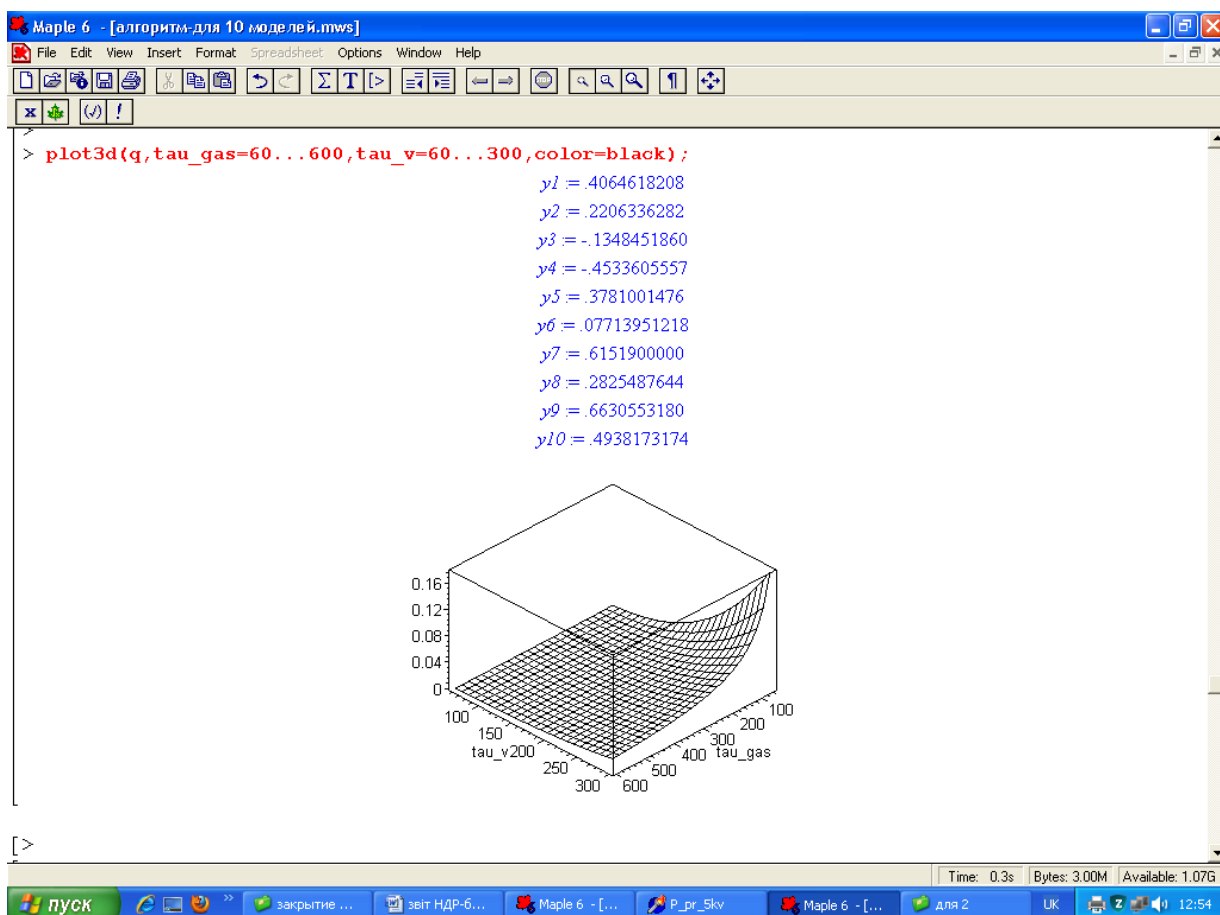


Рис.4.3. Приклад графічної реалізації програмного комплексу «ПКК» першої частини «Алгоритм»

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

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

8) 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)
```

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 та досліджувати вплив цих змін на необхідні витрати води;

- визначити фактичні витрати води для різних характеристик ПКК, місць його використання та фактичного тиску в 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 в заданому інтервалі значень часу гасіння пожежі;

- графічно дослідити фактичні витрати води з ПКК з різними характеристиками в залежності від часу гасіння пожежі та порівняти їх з необхідними витратами для заданих умов експлуатації ПКК (рис. 4.4), 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 додатковому захисті людей та майна в цієї будівлі.

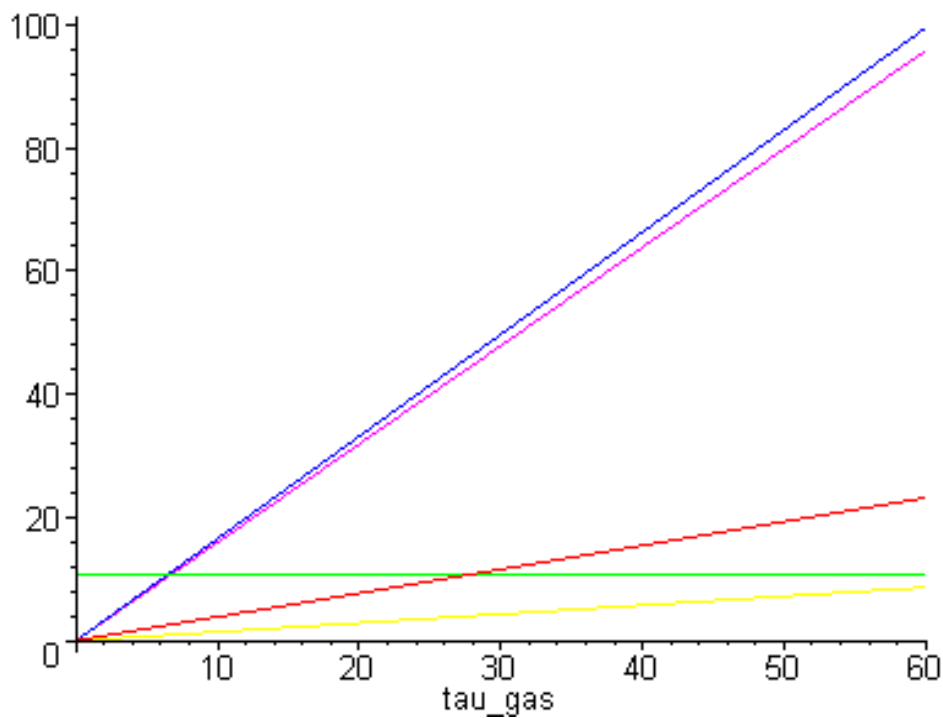


Рис. 4.4. Приклад графічної реалізації програмного комплексу «ПКК» другої частини «Алгоритм – кількість води»

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 в 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 в 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, при заданих значеннях часу вільного розвитку та гасіння пожежі;

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

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

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

– графічно дослідити фактичні витрати води з ПКК з різними характеристиками в залежності від гарантованого тиску в 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 додатковому захисті людей та майна в цієї будівлі.

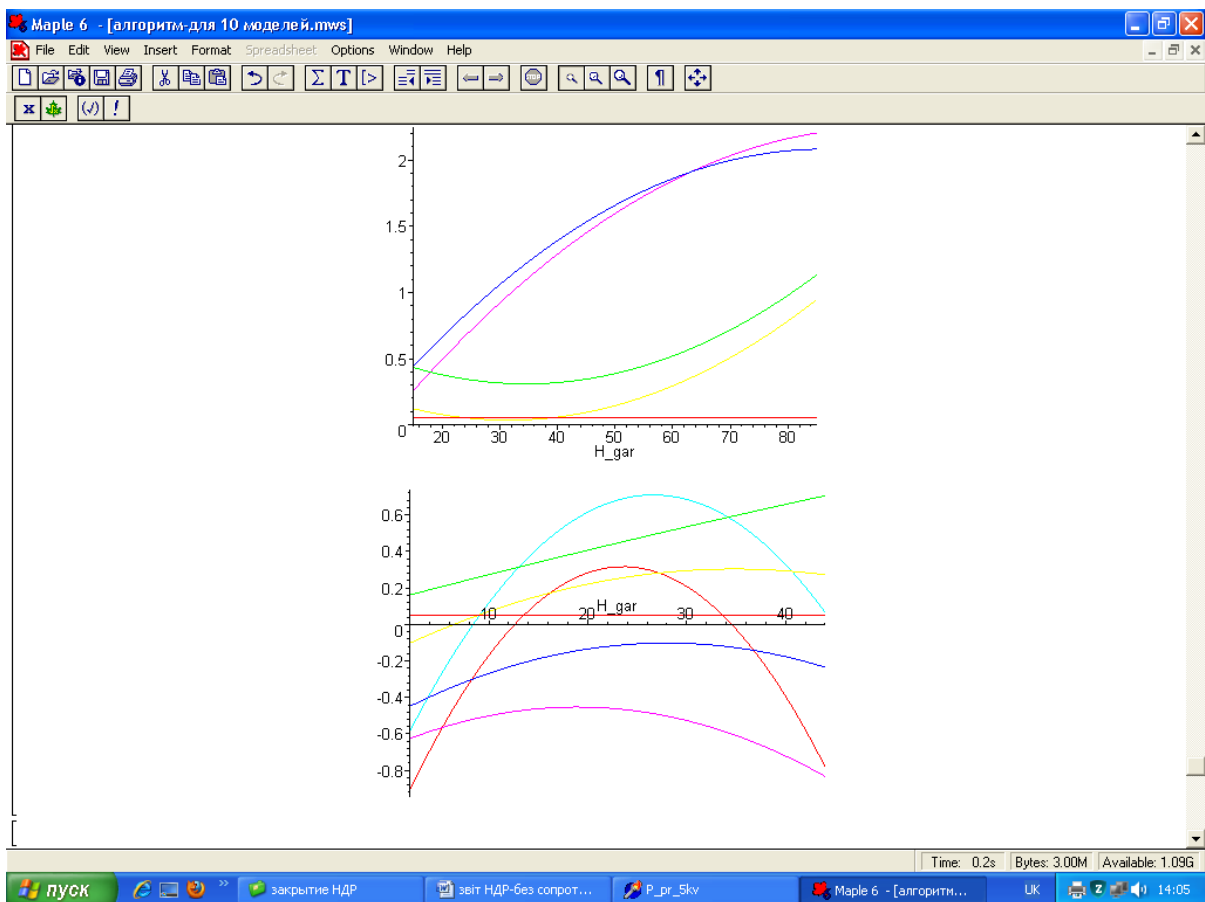


Рис. 4.5. Приклад графічної реалізації програмного комплексу «ПКК» третьої частини «Алгоритм – напір»

Всі частини запропонованого програмного комплексу «ПКК» можуть використовуватися окремо або сумісно. Перевагами роботи з програмним комплексом є доступність, зручність його використання, відкритість його в виборі меж вихідних даних та можливість корегування при виникненні необхідності (випуск нових ПКК з характеристиками, що відрізняються від тих, що закладені в комплексі). Комплекс дає можливість визначити або перевірити прийняті характеристики складових ПКК при конкретних умовах 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 з програмним комплексом можливо 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 з 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, розпорощувача з перекривним пристроєм та встановлюється:

– в 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 розпорощувача, 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-комплектom 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 являються:

- фактичний напір у водопровідній мережі:
 - а) $R_{ГПВ}$ – для ПКК встановлених в квартирах та підключених до господарсько-питного водопроводу, м;
 - б) $R_{ВПВ}$ – для ПКК встановлених в 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 та розрахунки показали, що необхідні витрати води переважно обмежуються значеннями 0,015–2,5 л/с [64]. Фактичні витрати води з ПКК в залежності від початкових умов можуть змінюватися в межах 0,15–4,3 л/с [86]. Однак, при цьому значний вплив на результат здійснює тиск в мережі, до якої приєднується ПКК. Використовуючи отримані моделі витрат води з ПКК,

проведено дослідження діаметра насадка розпорошувача ПКК [56] при фіксованих значеннях довжини рукава 15 м, та середньому значенні ступеню 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 зведені до табл. 4.1.

Аналізуючи результати, наведені в табл. 4.1, можна зробити наступні висновки:

- комплектування ПКК рукавами 19 мм практично недоцільно. Лише при тиску в мережі 20 м (а це фактично гарантований напір в межах перших чотирьох поверхів будівлі), ПКК з 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 перебільшують 0,5 л/с.

- плоскозгорнуті рукава діаметром 25 або 33 мм можливо використовувати для комплектування ПКК в будівлях з невеликим пожежним навантаженням або низкоінерційною 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 повинний бути (2–9) мм (рис. 4.6, а), що відповідає межам стандартного комплектування (4–12) мм.

Найчастіше ПКК встановлюють в 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. Гідравлічні розрахунки системи ВПВ показали, що в залежності від віддаленості ПКК від насосів-підвищувачів та поверху їх встановлення, тиск в мережі становить 20, 40 або 60 м. Результати дослідження зведені до табл. 4.2.

Таблиця 4.1

Визначення діаметра насадка розпорошувача ПКК, приєданого 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 зробити наступні висновки:

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

– при встановленні ПКК в будівлях з невеликим пожежним навантаженням (необхідні витрати води близько 0,015 л/с) можливо 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 та оповіщення про неї;

– для будівель підвищеної пожежної безпеки при визначенні характеристик складових ПКК необхідно враховувати фактичний час виявлення пожежі, використовувати обладнання ПКК з 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-ти поверховій житловій будівлі, яка знаходиться по вул. Культури, 20 у м. Харкові, виконаний розрахунок витрат води, що можливо одержати з ПКК, що являється складовим елементом ПКК, встановленого:

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

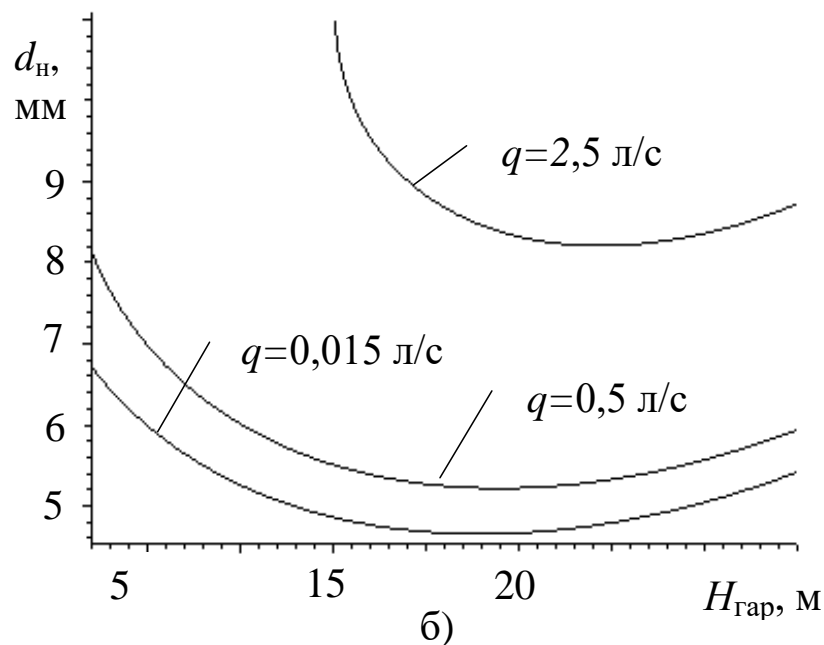
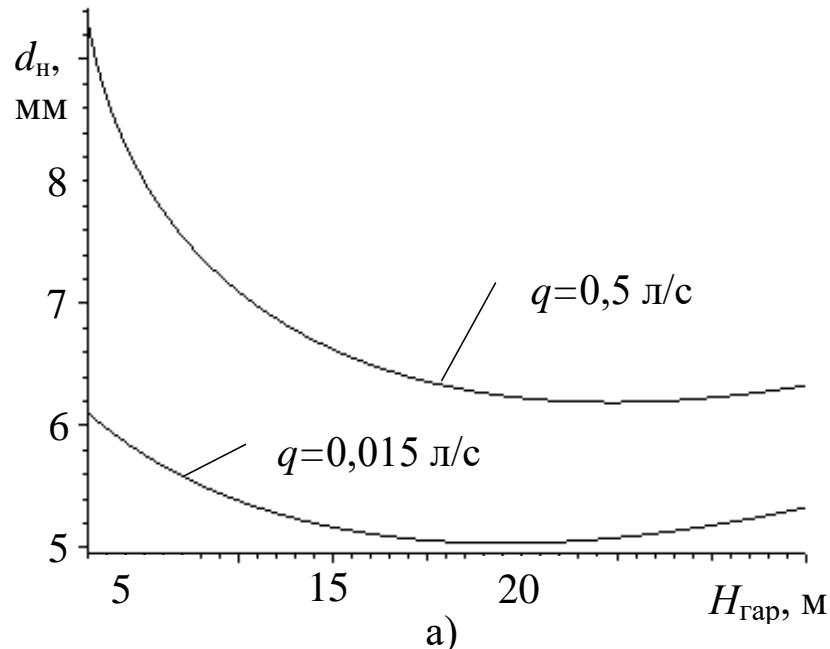


Рис. 4.6. Залежність діаметра насадка розпорошувача d_n для ПКК, приєднаного до господарсько-питної мережі, від гарантованого напору в

мережі $H_{\text{гар}}$, укомплектованого напівжорстким рукавом діаметром:
а) 25 мм; б) 33мм

Вихідними даними для розрахунку являються:

- фактичний напір у водопровідній мережі:
- господарсько-питній – 5 м (напір в точці приєднання ПКК до господарсько-питного стояка на 25-тому поверсі);
- внутрішньому протипожежному водопроводі – 50 м (напір в точці приєднання ПКК до стояка внутрішнього протипожежного водопроводу на 25-тому 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 найвіддаленої точки квартири);
 - для ПКК на сходовій клітці – 29,5 м.

Розрахунок виконаний для двох типів рукавів – плоскозгорнутих та напівжорстких. Результати розрахунку зведені до табл. 4.3.

Аналізуючи результати, наведені в табл. 4.3, можна зробити наступні висновки:

- для забезпечення можливості гасіння пожежі в заданій будівлі доцільно використовувати ПКК з наступними характеристиками:
 - для квартир – рукава напівжорсткі та плоскозгорнуті діаметром 19 мм довжиною 16 м з розпорошувачем діаметром від 5 до 12 мм (можливо використання рукавів діаметром 25 або 33 мм, але при цьому комплектувати ПКК насадком діаметром не менш 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 з різними характеристиками можливо забезпечення подачі фактичної витрати води в межах:

- для квартир – (0,135 – 1,09) л/с;
- для сходових кліток – (0,33 – 2,53) л/с.

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 розпоршувача, 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: * – негативне значення витрат води свідчить про неможливість використання ПКК з прийнятими характеристиками обладнання.

Аналізуючі одержані результати, встановлено, що фактичні витрати води при використанні ПКК з різними характеристиками відрізняються від значення витрат, що рекомендується для успішного гасіння пожежі. В таблиці 4.4 наведені 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 зробити висновок, 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, можливо 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 з заданими характеристиками не використовується;

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

Проведено дослідження діаметра насадка розпорошувача ПКК при фіксованих значеннях довжини рукава та середньому значенні ступеню розгортання рукава для різних значень витрат води, при гарантованому тиску в мережі. Отримані результати надали можливість визначити характеристики складових ПКК, якими обладнуються сучасні будівлі та які являються елементами системи їх протипожежного захисту. Встановлено, що найбільш доцільним є приєднання ПКК до системи внутрішнього протипожежного 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 з низкоінерційною системою виявлення пожежі та оповіщення про неї, або в будівлях з невеликим пожежним навантаженням. Використання ПКК малого діаметра рукава та діаметра розпорошувача, приєднаного до господарсько-питної мережі можливо лише в перші секунди розвитку пожежі. Виконання відповідних правил проектування та використання ПКК забезпечить їх ефективну роботу в складі системи протипожежного захисту будівлі.

Порядок проектування пропонується за двома варіантами:

– перший варіант – метою розрахунку є визначення фактичної кількості води з ПКК з 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 - ν_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 (при 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 з ПКК з прийнятими характеристиками:

2.1) задається фактичний напір в водопровідній мережі ($P_{ГПВ}$, $P_{ВПВ}$, м) та перераховується в кодову величину:

– для підключення ПКК до господарсько-питної мережі:

$$x_1 = \frac{P_{ГПВ} - 23}{15},$$

– для підключення ПКК до внутрішнього протипожежного водопроводу:

$$x_{11} = \frac{P_{ВПВ} - 50}{25};$$

2.2) задається ступінь розгортання рукава (виходячи з місця встановлення ПКК в квартирі або в шафі, та його віддаленості від

можливого місця виникнення пожежі, або найвіддаленішій 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 найвіддаленої 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 з 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 нормативних;

– за умовою, що всі розраховані варіанти комплектування ПКК не забезпечують можливість подачі необхідної кількості води на пожежогасіння (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 використання ПКК (наприклад: при спрацюванні ПКК включати насоси-підвищувачі та забезпечувати тиск в мережі не менш ніж визначений; якщо час початку використання ПКК перебільшує 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 та довжину рукава та діаметр випускного отвору розпорошувача, виходячи з економічних показників або наявності обладнання ПКК з 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 ствердження:

- ПКК зможе забезпечити подачу води в кількості, яка зможе відвести ту кількість енергії, яка виділяється при 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 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 в квартирі буде ліквідована в початковій стадії її розвитку, тобто з мінімальними збитками від неї.

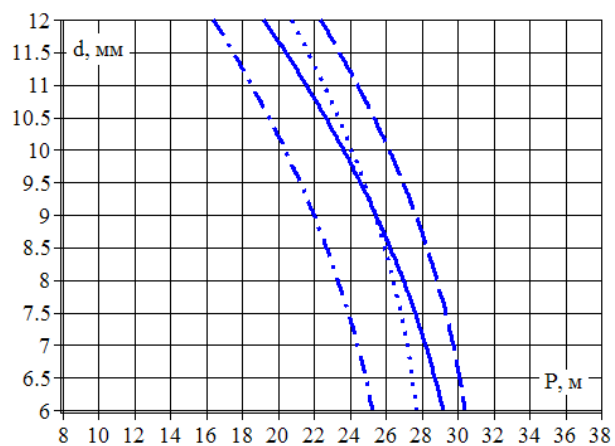
Встановлюючи рівень витрат води $0,5$ л/с та $2,5$ л/с, можна отримати лінії перетину з поверхнею q (приклади яких зображено на рис. 2.6 – 2.8), які можуть слугувати номограмами для визначення допустимих параметрів ПКК. Отримані номограми разом із легендою наведено на рис. 4.7 – 4.8.

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 довжині 15 м при відповідних рівнях тиску).

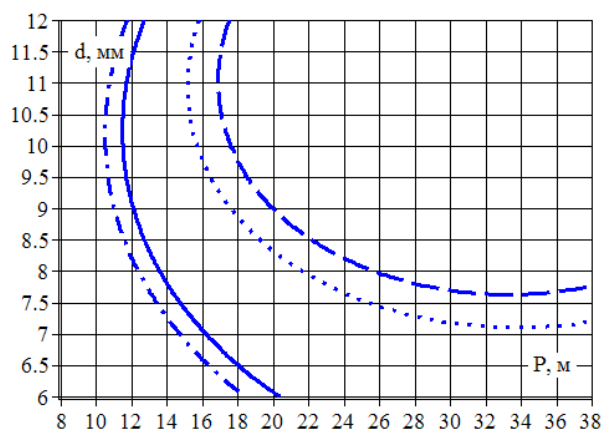
Наведені номограми дозволяють визначити доцільність комплектації ПКК складовими з тими чи іншими характеристиками за критерієм виконання нормативних вимог для витрат води.

Для двох рівнів витрат $q_1=0,5$ л/с та $q_2=2,5$ л/с в табл. 4.5 помічені

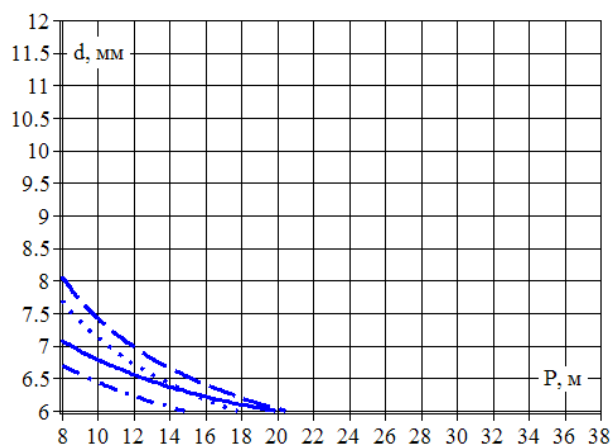
допустимі характеристики складових ПКК (для ступеня розгортання рукава 88 % та довжині 15 м при відповідних рівнях тиску).



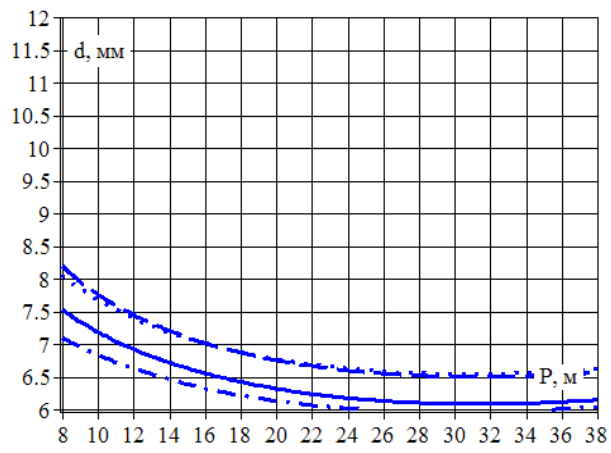
а)



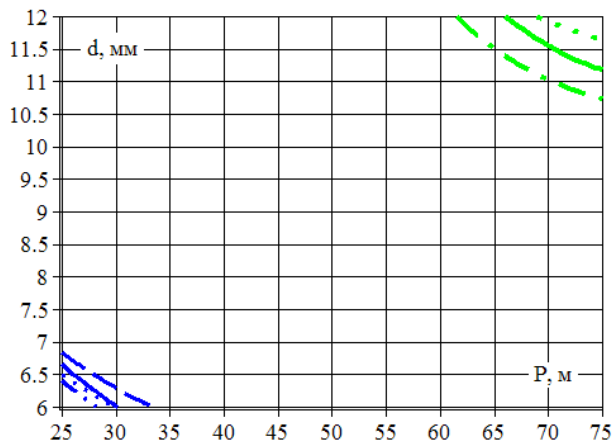
б)



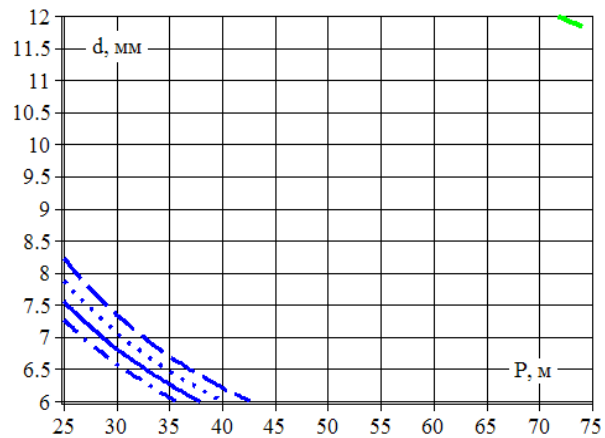
в)



г)

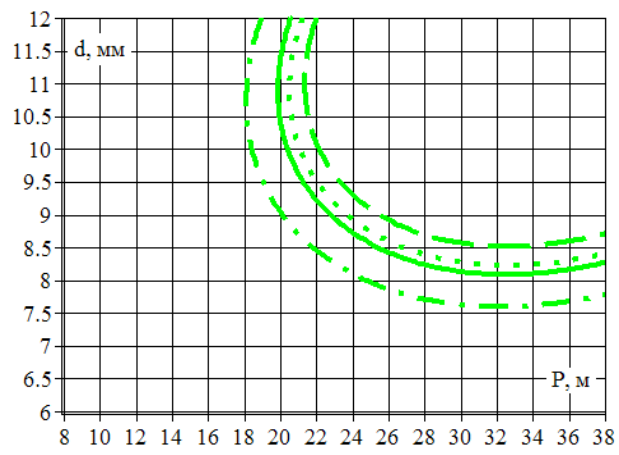


д)

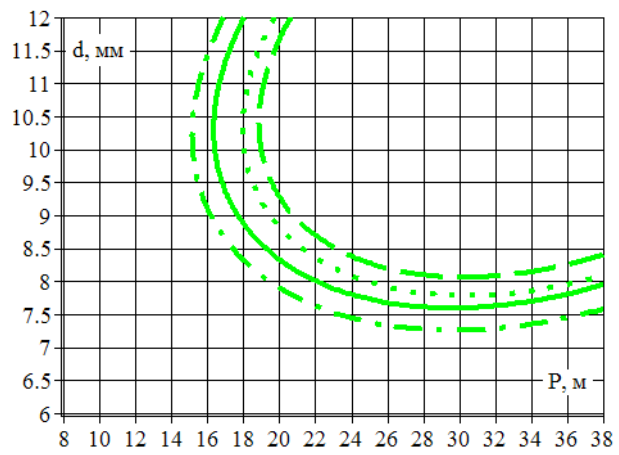


е)

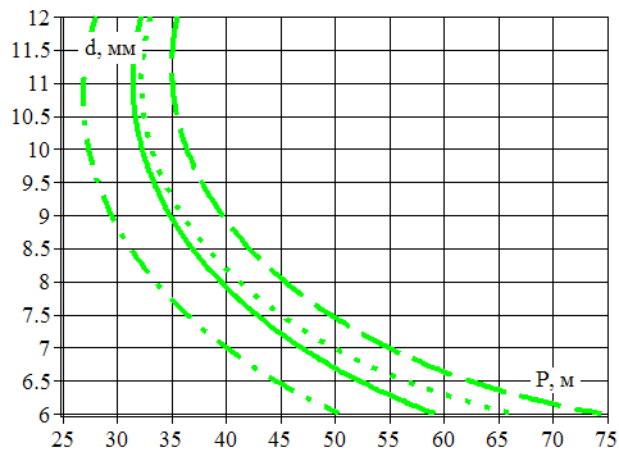
Рис. 4.7. Номограми для визначення припустимих параметрів ПКК:
 а) ГПВ ПЗР 19 мм; б) ГПВ НЖР 19 мм; в) ГПВ ПЗР 25 мм; г) ГПВ НЖР 25 мм; д) ВПВ ПЗР 25 мм; е) ВПВ НЖР 25 мм (див. легенду до рис. 4.8)



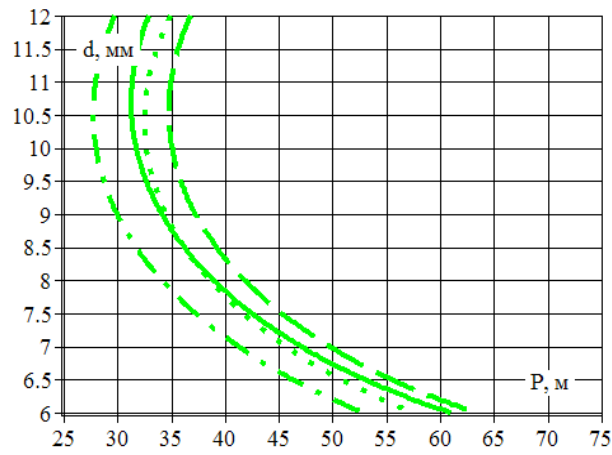
a)



б)

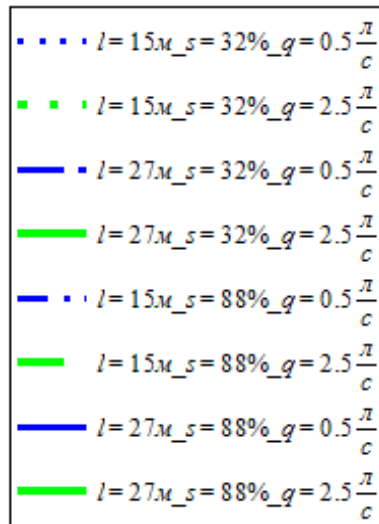


B)



г)

Рис. 4.7. Номограми для визначення припустимих 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 при підключенні до ГПВ не забезпечує рівня витрат 0,5 л/с (помічено жирним шрифтом), а отже є доцільним лише у випадку встановлення в будівлях з мінімальним рівнем пожежного навантаження. В той же час рекомендований для успішного гасіння пожежі на початковому етапі рівень витрат 2,5 л/с забезпечується при підключенні до ВПВ при комплектації ПКК рукавами середнього і великого діаметру (помічено тонуванням). Більш того, спостерігається значне перевищення витрат води, а отже можна комплектувати ПКК таким чином, щоб знизити цей показник.

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 розпорошувача та 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 при зниженні фактичних витрат води до 73%.

4.4. Висновки

1. За запропованою 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 в мережі становить 20, 40 або 60 м.

2. Встановлено, що фактичні витрати води при використанні ПКК з різними характеристиками відрізняються від значення витрат, що рекомендується 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 в квартирі буде ліквідована в 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 з 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 з 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 можливо робити висновки 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 при зниженні 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 при проектуванні 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 найменші, довжина рукава найбільша) 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 в будівлях з 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 даної 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 при комплектації ПКК рукавами середнього і великого діаметру. 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 зонуваних 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. Траєкторії руху 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 І. 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.Л. 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 // Проблемы 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 пребыванием 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. Ольшанский В.П. К моделированию падения испаряющейся капли диспергированного огнетушащего вещества / В.П. Ольшанский, С.В. Ольшанский. // Пожаровзрывоопасность. – 2006. – С. 41–45.

45. Ольшанский В.П. К расчету предельной дальности подачи испаряющихся тонкораспыленных огнетушащих веществ установками импульсного пожаротушения / В. П. Ольшанский, С.В. Ольшанский. // 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 власник Аксентьев 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 комбінований 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 витрат 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. – Вып.22. – С. 143 – 148.

54. Петухова О.А. Доповнення до алгоритму визначення робочих характеристик пожежних кран-комплектів. / О.А. Петухова // Проблеми

пожарной безопасности. – Вып. 30. – Харьков. – 2011. – С. 189–192.

55. Петухова О.А. Дослідження характеристик пожежних кран-комплектів / О.А. Петухова, С.А.Горносталь, С.М. Щербак // Проблемы пожарной безопасности. – Х.: НУГЗУ, 2015. – Вып. 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.: тезиси 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 // Проблеми пожежної безпеки. – 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. Стационарні системи пожежогасіння. Кран-комплекти пожежні. Частина 1. Кран-комплекти з напівжорсткими рукавами. Загальні вимоги. 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. Терещнев В.В. Справочник руководителя тушения пожара. Тактические возможности пожарных подразделений. М.: Пожкнига, 2004 г. 248 с.

80. Терещнев 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; c 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: Zoopatrzenie 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.