НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ

«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ

ІМ.ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Сталі автоматизовані виробничі комплекси

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ

для студентів спеціальності

151 «**Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»**

Затверджено Вченою радою ХТФ НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»

Київ – 2016

Сталі автоматизовані виробничі комплекси: метод. вказівки до виконання лабораторних робіт для студентів спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» [*Електронний ресурс] / [уклад. Бойко Т. В., Запорожець Ю.А., Абрамова А.О.]. – К: 2016. – 80с. Систем. вимоги: Pentium; 256 Mb RAM;Windows 2000, XP, Vista; MS Word 97-2003 – Назва з екрану.*

Гриф надано Вченою радою ХТФ НТУУ "КПІ",

протокол № 10 від 28.11.2016 р.

Електронне навчальне видання

Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи для студентів

спеціальності 151 «**Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»**

Укладачі: Бойко Тетяна Владиславівна, канд. техн. наук, доц.
Запорожець Юлія Анатоліївна, асистент.
Абрамова Алла Олександрівна, канд. техн. наук, доц.

Відповідальний редактор: Ю. А. Запорожець, асистент.

Рецензент: Н.М. Толстопалова, канд. техн. наук, доцент.

За редакцією укладачів

Зміст

Вступ……5

4. МОДЕЛЮВАННЯ ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ЯВИЩ І ПРОЦЕСІВ, ЩО ВІДБУВАЮТЬСЯ ПРИ АВАРІЯХ НА НЕБЕЗПЕЧНИХ ПРОМИСЛОВИХ ОБ'ЄКТАХ……...7

4.1. ОСНОВНІ ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ……7

4.1.1. Моделі фізико-хімічних явищ і процесів, що протікають при аваріях на небезпечних промислових об'єктах……..…..8

4.1.2. Витікання рідини з отвору в резервуарі……..……9

4.1.3. Розтікання рідини при квазіміттєвому руйнуванні резервуара……..11

4.1.4. Кількісна оцінка маси горючих речовин, що надходять у навколишній простір у результаті виникнення аварійних ситуацій ……13

4.1.5. Визначення максимальних розмірів вибухонебезпечних зон……...18

4.1.6. Визначення надлишкового тиску в ударній хвилі при вибуху горючих газів, парів легкозаймистих і горючих рідин……20

4.1.7. Оцінка надлишкового тиску в ударній хвилі при вибуху резервуара з перегрітою легкозаймистою або горючою рідиною у вогнищі пожежі……22

4.1.8. Оцінка інтенсивності теплового випромінювання……..23

4.1.9. Оцінка розльоту осколків при підривному руйнуванні технологічного встаткування…….…….27

4.1.10. Випаровування рідини з розливів…….28

4.1.11. Утворення пароповітряної хмари…….29

4.1.12. Вибух пароповітряної суміші в резервуарі або виробничому приміщенні…….31

4.1.13. Смолоскипове горіння струменя рідини……..35
4.2. ХІД ВИКОНАННЯ РОБОТИ……...…36
4.3. АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ……...36
КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ ДО РОБОТИ № 4……55
Додаток А Результати комп’ютерного моделювання вибуху пароповітряної суміші в резервуарі або виробничому приміщенні……..57
Додаток Б Варіанти індивідуальних завдань……60
ЛІТЕРАТУРА……..……...…80

Вступ

В останні роки відзначений значний ріст надзвичайних ситуацій техногенного характеру, пов'язаних з аваріями на промислових виробництвах. Як і раніше спостерігається висока аварійність на підприємствах хімічної, нафтохімічної, нафтопереробної, хіміко-фармацевтичної й іншої галузей промисловості.

Керування технікою безпеки об'єктів підвищеної небезпеки має першорядне значення для всіх розвинених країн. Наукова розробка цього напрямку почалася лише кілька десятиліть назад, а в Україні цьому питанню почали приділяти увагу із середини 90-х років. Із цього часу в промисловості України помітно зросло середнє спрацювання устаткування, а, отже, і ризик виникнення аварійних ситуацій і постійного забруднення навколишнього середовища. Стало ясно, що займатися безпекою виробництв треба не тільки на рівні відділів техніки безпеки й охорони праці, але й на більш високих рівнях: виробництва, галузі та ін. Це можливо здійснити тільки на якісно іншому підході до вирішення даної проблеми. Таким підходом може бути системний аналіз виробництва.

Основні причини росту кількості техногенних аварій полягають у фізичному й моральному зношуванні значної частини основних фондів, падінні технологічної й виробничої дисципліни, відсутності нормативної бази, відсталості й невідповідності застосовуваних технологій сучасним вимогам.

Хімічне виробництво є одним з найнебезпечніших техногенних джерел аварій, оскільки специфіка перетворення сировинних ресурсів у готову продукцію така, що в ході хімічних перетворень, процесів виділення напівпродуктів можуть утворюватися побічні речовини, більш небезпечні для людини й навколишнього середовища, ніж вихідна сировина й продукти. Таким чином, забезпечення безпеки хімічного

виробництва пов'язане з керуванням як окремими технологічними операціями й процесами, так і виробництвом у цілому.

Сучасний рівень організації й керування виробництвом висуває вимоги до розробки нових підходів, що базуються на використанні нових інформаційних технологій й інтелектуальних засобів підтримки й прийняття рішень по оперативному керуванню аварійними ситуаціями, пов'язаними з функціонуванням небезпечних промислових об'єктів, а також по прогнозуванню й оцінці ваги наслідків аварій.

Основною метою курсу «*Сталі автоматизовані виробничі комплекси*» є формування навичок використання автоматизованих систем визначення, а також прогнозуванню й оцінці ваги наслідків аварій. Лабораторні роботи виконуються згідно з навчальним планом освітнього рівня «спеціаліст», «магістр» спеціальності 151 **Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології.**

Ці *Методичні вказівки* орієнтовані на виконання лабораторної роботи, яка дає можливість оцінити можливість виникнення аварійної ситуації і її наслідки на промислових об’єктах. Викладання і послідовність відповідає лекційному курсу та матеріалу, що виведено на самостійне вивчення. При виконанні лабораторної роботи в якості програмного забезпечення застосовується автоматизований комплекс Diplom (мова програмування Visual Studio). Виконання лабораторної роботи орієнтовано на індивідуальну роботу.

МОДЕЛЮВАННЯ ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ЯВИЩ І ПРОЦЕСІВ, ЩО ВІДБУВАЮТЬСЯ ПРИ АВАРІЯХ НА НЕБЕЗПЕЧНИХ ПРОМИСЛОВИХ ОБ'ЄКТАХ

Лабораторна робота № 4

ТЕМА: вивчення фізико-хімічних явищ і процесів, що відбуваються при аваріях на небезпечних промислових об'єктах

МЕТА: одержати практичних навичок у моделюванні фізико-хімічних явищ і процесів, що відбуваються при аваріях на небезпечних промислових об'єктах.

4.1. ОСНОВНІ ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ

Хімічне виробництво є одним з найнебезпечніших техногенних джерел аварій, оскільки специфіка перетворення сировинних ресурсів у готову продукцію така, що в ході хімічних перетворень, процесів виділення напівпродуктів можуть утворюватися побічні речовини, більш небезпечні для людини й навколишнього середовища, ніж вихідна сировина й продукти. Таким чином, забезпечення безпеки хімічного виробництва пов'язане з керуванням як окремими технологічними операціями й процесами, так і виробництвом у цілому. Для забезпечення безпеки хімічних виробництв як небезпечних техногенних об'єктів варто проводити аналіз ризиків, оцінку ризику й керування ризиками. Для аналізу наслідків аварійних ситуацій необхідні алгоритми визначення кількісних характеристик матеріальних й енергетичних втрат, тобто моделі фізико-хімічних процесів, які можуть відбуватися у випадку аварійної ситуації.

Сучасний рівень організації й керування виробництвом висуває вимоги до розробки нових підходів, що базуються на використанні нових інформаційних технологій й інтелектуальних засобів підтримки й прийняття рішень по оперативному керуванню аварійними ситуаціями, пов'язаними з функціонуванням небезпечних промислових об'єктів, а також по прогнозуванню й оцінці ваги наслідків аварій.

Основні причини росту кількості техногенних аварій полягають у фізичному й моральному зношуванні значної частини основних фондів, падінні технологічної й виробничої дисципліни, відсутності нормативної бази, відсталості й невідповідності застосовуваних технологій сучасним вимогам.

4.1.1. Моделі фізико-хімічних явищ і процесів, що протікають при аваріях на небезпечних промислових об'єктах

Практика виникнення й розвитку аварій на складах нафти й нафтопродуктів показала, що при моделюванні фізичних процесів, що протікають при аваріях, повинні враховуватися наступні явища:

- витікання з отвору в резервуарі;
- розтікання рідини при квазіміттєвому руйнуванні резервуара;
- випаровування розлитої рідини;
- утворення пароповітряної хмари;
- вибух пароповітряної суміші в резервуарі або виробничому приміщенні;
- смолоскипове горіння струменя рідини;
- скипання й викид палаючої рідини при пожежі.

Крім того, при моделюванні розвитку аварій на складах нафти й нафтопродуктів необхідно оцінювати:

- масу горючих речовин, що надходять у навколишній простір у результаті виникнення аварійних ситуацій;
- максимальні розміри вибухонебезпечних зон;

- надлишковий тиск в ударній хвилі при вибуху пароповітряної хмари;
- надлишковий тиск в ударній хвилі при вибуху резервуара з перегрітою легкозаймистою рідиною (ЛЗР) або горючою рідиною (ГР) у вогнищі пожежі;
- інтенсивність теплового випромінювання;
- розліт осколків при підривному руйнуванні технологічного встаткування.

4.1.2. Витікання рідини з отвору в резервуарі

Розглянемо процес витікання рідини з отвору в резервуарі, оточеному валом. Вводяться наступні допущення:

- рідина, що випливає через отвір - однофазна;
- резервуар має постійну по висоті площу перетину;
- діаметр резервуара багато більше розмірів отвору;
- розміри отвору багато більше товщини стінки;
- поверхня рідини усередині резервуара горизонтальна;
- температура рідини залишається постійною протягом усього часу витікання.

Масова витрата рідини G (кг/с) через отвір у часі t(с) описується співвідношенням

$$G(t) = G_0 - \frac{\rho g \mu^2 A_{отв}^2}{A_p} t, \qquad (4.1)$$

де G_0 — масова витрата в початковий момент часу, кг/с, описується виразом

$$G_0 = \mu \rho A_{отв} \sqrt{g(h_0 - h_{отв})}, \qquad (4.2)$$

де ρ — щільність рідини, кг/м^3; g — прискорення вільного падіння (9,81 м/с^2); μ — коефіцієнт витікання; $A_{отв}$ — площа отвору, м^2; Ap — площа перетину резервуара, м^2; h_0 — початкова висота стовпа рідини в резервуарі, м; $h_{отв}$ — висота отвору над поверхнею землі, м.

Залежність висоти стовпа рідини в резервуарі h від часу t описується формулою

$$h(t) = h_0 - \frac{G_0}{\rho A_p} t + \frac{g\mu^2 A_{отв}^2}{2A_p} t^2, \quad (4.3)$$

Умова переливу рідини через вал може бути записана в такий спосіб:

$$h \geq H + \frac{L}{\mu}, \quad (4.4)$$

де H — висота вала, м; L — відстань від стінки резервуара до вала, м.

Кількість рідини m (кг), що перелилася через вал за повний час витікання, описується виразом

$$m = \int_0^{t_{кон}} G(t)dt = G_0 t_{кон} - \frac{\rho g\mu^2 A_{отв}^2}{2A_p} t_{кон}^2, \quad (4.5)$$

де $t_{кон}$ — час, протягом якого рідина переливається через вал, с, тобто час, протягом якого виконується умова (5).

Величина $t_{кон}$ описується виразом

$$t_{кон} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}, \quad (4.6)$$

де a, b, c — параметри, що описуються формулами

$$a = \frac{g\mu^2 A_{отв}^2}{2A_p}, \quad (4.7)$$

$$b = -\frac{G_0}{\rho A_p}, \quad (4.8)$$

$$c = h_0 - H - \frac{L}{\mu}, \quad (4.9)$$

Описана вище модель перевірена шляхом порівняння з експериментальними даними, отриманими на моделях резервуарів діаметром 0,37 й 0,56 м.

Вихідні дані:

- щільність рідини;
- коефіцієнт витікання (залежить від форми отвору, може бути прийнятий рівним 0,8);

- площа отвору;
- висота отвору над поверхнею землі; -
- площа перетину резервуара;
- початкова висота стовпа рідини в резервуарі;
- висота вала;
- відстань від стінки резервуара до вала.

Результати розрахунку:

- масова витрата рідини через отвір;
- кількість рідини, що перелилася через вал за повний час витікання;
- час, протягом якого рідина переливається через вал.

Межа застосування моделі:

ρ = (0,5 ÷ 5,0) 10^3 кг/м^3; μ = 0,6 ÷ 1,0;

$A_{отв}$ = 0,0001 ÷ 1 м^2; $h_{отв}$ = 1 ÷ 40 м; Ap = 1 ÷ 1000 м^2;

h_0 = 1 ÷ 40м; H = 1 ÷ 40м; L =1 ÷ 40м.

4.1.3. Розтікання рідини при квазіміттєвому руйнуванні резервуара

При тих або інших аварійних ситуаціях частина або весь обсяг збереженого в резервуарі продукту може виявитися в піддоні, а частина перелитися через вал. Особливо велика кількість рідини переливається через вал при швидкому катастрофічному руйнуванні резервуара з утворенням гідродинамічних хвиль. Математична модель, що дозволяє оцінити частку рідини, що перелилася через вал при квазіміттєвому руйнуванні резервуара, записується виходячи з наступних припущень:

- розглядається плоска одномірна задача;
- час руйнування резервуара багато менше характерного часу руху гідродинамічної хвилі до обвалування;
- рідина є нев'язкою;
- тертя рідини об поверхню землі відсутнє;

- поверхня землі є плоскою.

Масова частка рідини Q (%), що перелилася через вал до моменту часу t, описується виразом

$$Q = 100 \frac{\int_0^T u_N (h_N - H) dt}{h_0 R}, \qquad (4.10)$$

де u_N — середня по висоті швидкість руху стовпа рідини, м/с; h_N — висота стовпа рідини в момент часу t, м; H — висота вала, м; h_0— початкова висота стовпа рідини в резервуарі, м; R — радіус резервуара, м.

Чисельне рішення (4.10) може бути отримане з використанням схеми Мак-Кормака.

Для визначення вражаючих факторів аварій з пожежами й вибухами необхідно крім кількості пролитого продукту знать і площу розтікання.

Площа розтікання залежить від виду рідини, шорсткості поверхні, що підстилає, її ухилу й інших факторів. У випадку горизонтальної поверхні ґрунту, не занадто гладкого бетону й асфальту із задовільною для практики точністю величину питомої площі розтікання нафтопродуктів (бензину, дизельного палива) можна прийняти рівною 0,15 м^2 на 1 л продукту.

Вихідні дані:

- початкова висота стовпа рідини в резервуарі;
- висота вала.

Результати розрахунку - частка об’єму рідини в резервуарі, що перелилася через вал.

Межа застосування моделі:

$h_0 = 1 \div 40$м; $H = 1 \div 40$м;

резервуар і вал розташовані на плоскій (без ухилів) поверхні.

4.1.4. Кількісна оцінка маси горючих речовин, що надходять у навколишній простір у результаті виникнення аварійних ситуацій

Кількість речовин, що надходять у замкнутий або вільний простір, які можуть утворити вибухонебезпечні пароповітряні суміші або протоки горючих рідин, визначаються, виходячи з наступних передумов з урахуванням методів, описаних вище:

а) відбувається проектна аварія одного з резервуарів або трубопроводів;

б) весь вміст резервуара (трубопроводів) або частина продукту (при відповідному обґрунтуванні) надходить у замкнутий або вільний простір; при цьому, у випадку наявності на об'єкті декількох резервуарів різного обсягу з тою самою речовиною, розрахунок варто проводити для варіанта розгерметизації резервуара (цистерни), що має найбільшу ємність;

в) при розгерметизації резервуара відбувається одночасно витік речовин із трубопроводів, що підпитують резервуар по прямому й зворотному потоках, протягом часу, необхідного для відключення трубопроводів. Розрахунковий час відключення трубопроводів визначається в кожному конкретному випадку виходячи з реальної обстановки; він повинен бути мінімальним з урахуванням паспортних даних на запірні пристрої і їхньої надійності, характеру технологічного процесу й виду проектної аварій. Під “часом відключення ” варто розуміти проміжок часу від початку можливого надходження горючої речовини із трубопроводу (внаслідок перфорації, розриву, зміни номінального тиску й т.п.) до повного припинення надходження рідини в навколишній простір. Швидкодіючі відсікаючи клапани повинні автоматично перекривати подачу рідини при порушенні електропостачання;

г) при розрахунках приймається нульова рухливість навколишнього повітря (затишність);

д) у якості розрахункової температури при аварійній ситуації з наземним розташуванням устаткування приймається максимально

можлива температура повітря у відповідній кліматичній зоні, а при аварійній ситуації з підземним розташуванням устаткування — температура ґрунту, умовно рівна максимальній середньомісячній температурі навколишнього повітря в найбільш теплу пору року;

е) тривалість випару рідини з поверхні протоки приймається рівною часу її повного випару, але не більше 3600 с. Для відносно невеликих проток палива (до 20 кг) час випару допускається приймати рівним 900 с, оскільки настільки невеликі протоки можуть бути досить ефективно видалені обслуговуючим персоналом. Крім того, у запас надійності йде неврахування рухливості повітря й зменшення швидкості випару рідини з часом внаслідок її охолодження.

При проведенні розрахунків допускається використання довідкових даних, опублікованих головними науково-дослідними організаціями в області пожежної безпеки або виданих Державною службою стандартних довідкових даних. Допускається використання показників пожежо- і вибухонебезпечності для сумішей речовин і матеріалів по найнебезпечнішому компоненту.

Нижче приводяться основні розрахункові формули для визначення мас горючих речовин, що надходять у відкритий або замкнутий простір у результаті аварійних ситуацій.

Визначення маси легкозаймистої (ЛЗР) або горючої (ГР) рідини, що надійшла в навколишній простір при розгерметизації наземного резервуара (цистерни). Маса ЛЗР або ГР, що надійшла в навколишній простір при аварійній ситуації (m_a), кг, розраховується по формулі

$$m_a = \rho V_p, \qquad (4.11)$$

де ρ — щільність ЛЗР (ГР), кг/м^3; V_p — номінальний об’єм резервуара (цистерни), м^3 (або кількість рідини, що вийшла з резервуара при іншому розрахунковому сценарії аварії).

Визначення маси ЛЗР (ГР), що надійшла самопливом при розгерметизації трубопроводу, що виходить із резервуара. Масу ЛЗР або ГР знаходять за рівнянням:

$$m_a = G_p t_{расч} + \frac{\pi d_T^2}{4}\left(\sum_{i=1}^{n} l_i\right)\rho, \qquad (4.12)$$

тут G_p — витрата рідини, що витікає з резервуара через розгерметизований трубопровід, кг/с, описується рівнянням

$$G_p = \frac{\pi d_T^2}{4}\sqrt{2\rho\Delta P_P}; \Delta P_P = h_{ж}\rho g; \qquad (4.13)$$

$t_{расч}$ — розрахунковий час відключення трубопроводів, пов'язаних з місцем розгерметизації, с; d_T — діаметр трубопроводів, м (у випадку різних діаметрів трубопроводів, пов'язаних з місцем розгерметизації, об’єм вихідного палива розраховується для кожного трубопроводу окремо); l_i - довжина *і-ої* ділянки трубопроводу від запірного пристрою до місця розгерметизації, м; n — число ділянок трубопроводу, пов'язаних з місцем розгерметизації; ΔP_P — тиск стовпа рідини в резервуарі, Па; $h_{ж}$ — висота стовпа рідини (від верхнього рівня рідини в резервуарі до рівнів місця розгерметизації), м; g — прискорення вільного падіння (g=9,81 м/с^2).

Визначення маси ЛЗР (ГР), що надійшла в навколишній простір при розгерметизації напірного трубопроводу. Напірний трубопровід - трубопровід, по якому насосом перекачується ЛЗР (ГР). При відсутності зворотного потоку рідини з резервуара за принципом “сифона” маса рідини, що вийшла, обчислюється за формулою

$$m_a = G_H t_{расч} + \frac{\pi d_T^2}{4}\left(\sum_{i=1}^{n} l_i\right)\rho, \qquad (4.14)$$

де $G_н$ — продуктивність насоса, кг/с.

При розгерметизації напірного трубопроводу й при можливості виникнення зворотного потоку рідини з резервуара за принципом “сифона” масу рідини, що вийшла, знаходять за формулою

$$m_a = (G_P + G_H)t_{расч} + \frac{\pi d_T^2}{4}\left(\sum_{i=1}^{n} l_i\right)\rho. \qquad (4.15)$$

Визначення площі розливу ЛЗР (ГР). Площа розливу ЛЗР (ГР) F, м^2, визначається:

а) площею обвалування або піддона, якщо передбачено локалізацію розтікання за допомогою цього пристрою (але не більше величини $F = km_a$, де k = 0,21 м^2/кг для бензину й 0,19 м^2/кг для дизельного палива);

б) величиною $F = km_a$, якщо локалізація розливу піддоном не передбачена.

Визначення маси парів ЛЗР, що виходять через «дихальну» арматури або разгерметизовану арматуру, що з'єднує паровий простір резервуара з атмосферою, при наповненні резервуара й при зберіганні ЛЗР. У випадку наповнення резервуара масу m_P вихідних парів ЛЗР, кг, обчислюють за формулою

$$m_P = \rho_П P_H /(P_0 V_P), \qquad (4.16)$$

тут $\rho_П$ — щільність парів, дорівнює

$$\rho_П = \frac{M_0}{V_0(1 + 0{,}00367T_P)}; \qquad (4.17)$$

$P_н$ - тиск насичених парів палива при розрахунковій температурі, кПа, визначається за довідковим даними (для бензину при підземному розташуванні встаткування $P_н$ = 29,18 кПа, а при наземному $P_н$ = 39,28 кПа; для дизельного палива $P_н$ = 0,05 кПа й $P_н$ = 0,59 кПа відповідно); P_0 — атмосферний тиск, кПа (допускається приймати рівним 101 кПа); $V_р$ — геометричний обсяг резервуара, м^3; M_0 — молярна маса палива, кг/кмоль (для бензину M_0 = = 95,3 кг/кмоль, для дизельного палива M_0 = 172,3 кг/кмоль); V_0 - мольний об'єм, рівний 22,413 м^3/кмоль; T_p - розрахункова температура, ^{0}С (для Москви при зберіганні палива в наземних резервуарах T_p = 37 ^{0}С, а в підземних резервуарах T_p = 25 ^{0}С).

При зберіганні ЛЗР масу парів обчислюють по формулі

$$m_P = G_П t_a, \quad (4.18)$$

де $G_н$ — витрата парів ЛЗР, кг/с, обумовлена співвідношенням

$$G_П = F_P W; \quad (4.19)$$

t_a — час надходження парів з резервуара, с; F_p - максимальна площа поверхні випаровування ЛЗР у резервуарі, м^2; W — інтенсивність випаровування ЛЗР, кг/(м^{2}с), рівна

$$W = 10^{-6} P_H \sqrt{M_0}. \quad (4.20)$$

Вихідні дані:

- щільність ЛЗР (ГР);
- об’єм резервуара;
- розрахунковий час відключення трубопроводів;
- діаметри й довжини трубопроводів;
- висота стовпа рідини;
- продуктивність насоса, що подає рідину;
- тиск насичених парів ЛЗР (ГР);
- геометричний об’єм резервуара;
- молярна маса рідини;
- розрахункова температура;
- час надходження парів з резервуара;
- площа поверхні випаровування.

Результати розрахунку:

- маса ЛЗР (ГР), що надійшла в навколишній простір при аварійній ситуації;
- маса парів рідини, що виходять із резервуара при його наповненні й при зберіганні рідини.

Межа застосування моделі:

$\rho_П$ = (0,5 ÷ 5,0) 10^{-3} кг/м^3; V_p = 1 ÷ 50 000 м^3;

d_T = 0,05 ÷ 0,5 м; $h_ж$ = 1 ÷ 40 м; l_i = 1 ÷ 100 м

$G_П$ = 0,001 ÷ 1 кг/с; $P_н$ = 0,01 ÷ 50 кПа;

M_0 =30 ÷ 300 кг/кмоль; T_P = -10 ÷ 40 ^{0}C;

t_a = 1 ÷ 600 с; F_p = 1 ÷ 10 000 м^2.

4.1.5. Визначення максимальних розмірів вибухонебезпечних зон

Оцінку максимальних розмірів вибухонебезпечних зон, що утворяться при виході ЛЗР або парів горючої рідини в навколишній простір при аварії у виробничому приміщенні у формі прямокутного паралелепіпеда з відношенням довжини (L, м) до ширини (S, м) не більше 5, слід проводити по співвідношеннях:

$$X_{НКПР} = k_1 L \left(k_2 \ln \frac{\delta C_0}{C_{НКПР}} \right)^{0,5}; \quad (4.21)$$

$$Y_{НКПР} = k_1 S \left(k_2 \ln \frac{\delta C_0}{C_{НКПР}} \right)^{0,5}; \quad (4.22)$$

$$Z_{НКПР} = k_3 H \left(k_2 \ln \frac{\delta C_0}{C_{НКПР}} \right)^{0,5}, \quad (4.23)$$

де $X_{НКПР}, Y_{НКПР}, Z_{НКПР}$ — відстань по осях X, Y, Z джерела надходження газів або пари, обмежені нижньою концентраційною межею поширення полум'я (НКПР), м; H — висота виробничого приміщення, м.

Значення констант k_1, k_2, k_3 становлять:

•для виходу ЛЗР при відсутності рухливості повітряного середовища (найнебезпечніший розглянутий випадок) k_1=1,1958; k_2 = $t_{исп}$/360; k_3 = 0,04714;

•для парів ЛЗР при відсутності рухливості повітряного середовища k_1=1,1314; k_2= 1,0; k_3= 0,0253.

Величина δ — припустиме відхилення концентрації. Для парів ЛЗР при відсутності рухливості середовища δ = 1,25 з ймовірністю довіри 0,95, а при рухливому повітряному середовищі δ = 1,27 з ймовірністю довіри 0,95; $C_{нкпр}$ — величина нижньої концентраційної межі поширення полум'я ЛЗР, % об.

Значення C_0, визначається співвідношеннями:

- для виходу парів ЛЗР

$$C_0 = C_H \left(\frac{100m}{C_H \rho_П V_{СВ}} \right)^n \qquad (4.24)$$

де m — маса пари, що вийшла в атмосферу, кг; ρ_n — щільність пари, кг/м^3; n — коефіцієнт, що становить 0,41 при відсутності рухливості повітряного середовища й 0,46 при рухливому повітряному середовищі для парів ЛЗР; $V_{св}$ - вільний об'єм приміщення, м^3;

- для виходу парів горючих газів при відсутності рухливості повітряного середовища

$$C_0 = 3{,}77 \cdot 10^3 m/(\rho_Г V_{СВ}), \qquad (4.25)$$

де $\rho_Г$ — щільність газу, кг/м^3;

- для горючих газів при рухливому повітряному середовищі

$$C_0 = 3 \cdot 10^2 \frac{m}{\rho_Г V_{СВ} u}, \qquad (4.26)$$

де u — рухливість повітряного середовища, м/с.

Величина $C_н$ — концентрація насичених пар ЛЗР при розрахунковій температурі, % про., обчислюється за формулою

$$C_H = (100 P_H)/P_a, \qquad (4.27)$$

де $P_н$ - тиск насичених парів ЛЗР при розрахунковій температурі $T_р$, кПа; P_a — атмосферний тиск, рівний 101 кПа.

Величина m для ЛЗР визначається за формулою

$$\boldsymbol{m = W_{исп} F_{исп} t_{исп}}, \qquad (4.28)$$

де $t_{исп}$ — час повного випаровування ЛЗР, с; $W_{исп}$ — інтенсивність випару, кг/(м^{2}с), обумовлена співвідношенням

$$W_{исп} = 10^{-6} P_H \eta \sqrt{M_0}, \qquad (4.29)$$

де $F_{исп}$ — площа випаровування, м^2; η — коефіцієнт, обумовлений у відповідності с нормативом пожежної безпеки (НПБ 105—95) (для розглянутого випадку η= 1); M_0 — молярна маса парів ЛЗР, кг/моль.

При негативних значеннях логарифмів у виразах (4.21)—(4.23) радіуси вибухонебезпечних зон $X_{НКПР}, Y_{НКПР}, Z_{НКПР}$ приймаються рівними нулю.

Вихідні дані:

- час повного випару рідини;
- нижня концентраційна межа поширення полум'я;
- щільність пари;
- тиск насичених парів рідини;
- площа випару;
- молярна маса пари.

Результати розрахунку:

- горизонтальні розміри вибухонебезпечної зони;
- вертикальний розмір вибухонебезпечної зони.

Межа застосування моделі:

$t_{исп}$ = 1 ÷ 3600 с; $C_{нкпр}$ = 0,5 ÷ 10 % об.; $\rho_{п}$ = 0,5 ÷ 5,0 кг/м^3; P_H = 0,01 ÷ 50 кПа; $F_{исп}$ = 1 ÷ 10 000 м^2; M_0 = 30 ÷ 300 кг/кмоль.

4.1.6. Визначення надлишкового тиску в ударній хвилі при вибуху горючих газів, парів легкозаймистих і горючих рідин

Надлишковий тиск вибуху ΔP для горючих газів, парів ЛЗР і ГР визначається за формулою

$$\Delta P = (P_{\max} - P_a)\frac{100mZ}{V_{СВ}\rho_{Г(П)}C_{СТ}K_H}, \qquad (4.30)$$

тут $P_{\max}$ — максимальний тиск вибуху стехіометричної газоповітряної або пароповітряної суміші в замкнутому об’ємі, визначений експериментально або за довідковим даними. При відсутності даних допускається приймати $P_{\max}$ рівним 900 кПа; P_a — атмосферний тиск, кПа; m — маса горючого газу (ГГ) або парів легкозаймистих (ЛЗР) і горючих (ГР) рідин, що вийшли в результаті розрахункової аварії в приміщення, що обчислюється для парів ЛЗР і ГР по формулі (28), а для ГГ — по формулі (32), кг; Z —

коефіцієнт участі пального у вибуху, що може бути розрахований на основах характеру розподілу газів і пар в обсязі приміщення. Допускається приймати значення Z= 0,5 — для горючих газів, Z = 0,3 — для ЛЗР і ГР, нагрітих до температури спалаху й вище; $V_{св}$ — вільний об'єм приміщення, м^3; $\rho_{м(п)}$ — щільність газу або пари при розрахунковій температурі, кг/м^3, що обчислюється по формулі (4.17); $K_н$ — коефіцієнт, що враховує негерметичність приміщення й не адіабатичність процесу горіння. Допускається приймати $K_н$ рівним 3.

Величина $C_{СТ}$ — стехіометрична концентрація ГГ або парів ЛЗР і ГР, %(об.), що обчислюється за формулою

$$C_{СТ} = \frac{100}{1 + 4{,}84\beta}, \qquad (4.31)$$

де $\beta = n_C + \frac{n_H - n_X}{4} - \frac{n_O}{2}$ — стехіометричні коефіцієнти кисню в реакції згоряння; n_C, n_H , n_O , n_X — числа атомів С, Н, О и галоїдів у молекулі пального.

Маса горючого газу, що надійшов при аваріях у виробниче приміщення, визначається як сумарна маса газу, що вийшов з апарата й трубопроводу, по формулі

$$m = \rho_3 \left[0{,}01 P_1 V + q t_p + 0{,}01 \pi P_2 \sum_{i=1}^{n} \left(r_i^2 l_i \right) \right], \qquad (4.32)$$

де P_1 — тиск в апарату, кПа; V— об'єм апарата, м^3; q — витрата газу, обумовлена відповідно до технологічного регламенту залежно від тиску в трубопроводі, його діаметра, температури газового середовища, м^3/с; t_p — розрахунковий час відключення аварійної ділянки трубопроводу, с; P_2 — максимальний тиск у трубопроводі по технологічному регламенту, кПа; r_i — внутрішній радіус *i-oї* ділянки трубопроводу, м; l_i — довжина *i-oї* ділянки трубопроводу від аварійного апарата до засувок, м.

Вихідні дані:

- тиск в апараті;

- об’єм апарата;
- витрата газу;
- розрахунковий час відключення встаткування;
- максимальний тиск у трубопроводі;
- радіус трубопроводу;
- довжина трубопроводу;
- площа випару для ЛЗР (ГР);
- щільність газу (пари);
- вільний об’єм виробничого приміщення;
- максимальний тиск вибуху стехіометричної газоповітряної або пароповітряної суміші в замкнутому об’ємі.

Результати розрахунку:

- маса ЛЗР (ГР) або пального газу, що беруть участь у вибуху;
- надлишковий тиск вибуху.

Межа застосування моделі:

$\rho_{\text{п}} = (0{,}5 \div 5{,}0) \cdot 10^{-3}$ кг/м^3; $t_{\text{р}} = 1 \div 600$ с; $r_i = 0{,}01 \div 0{,}5$ м;

$q_r = 0{,}001 \div 1$ м^3/с; $l_i = 1 \div 100$ м.

4.1.7. Оцінка надлишкового тиску в ударній хвилі при вибуху резервуара з перегрітою легкозаймистою або горючою рідиною у вогнищі пожежі

Розрахунок надлишкового тиску й імпульсу в ударній хвилі, що утвориться при вибуху резервуара з перегрітою ЛЗР (ГР) у вогнищі пожежі, проводиться за формулами (30) і (32), при цьому $m_{пр}$ визначається співвідношенням

$$m_{пр} = E_{эфф} / H_0, \qquad (4.33)$$

де $E_{эфф}$ — ефективна енергія вибуху.

Величина $E_{эфф}$ розраховується за формулою:

$$E_{эфф} = C_{эфф} m (T_{ж} - T_{кип}), \qquad (4.34)$$

де $C_{эфф}$ — константа, рівна 500 Дж/(кг$\cdot K$); m — маса ЛЗР (ГР), що міститься в резервуарі, кг; $T_{ж}$ — температура рідкої фази ЛВЖ (ГЖ), що міститься в резервуарі, К; $T_{кип}$ — нормальна температура кипіння ЛВЖ (ГЖ), К; H_0 — константа, рівна $4{,}6\cdot 10^{4}$ кДж/кг.

При наявності в резервуарі запобіжного пристрою (клапана або мембрани) величина $T_{ж}$ визначається за формулою

$$T_{ж} = \frac{B}{A - \lg P_{пр}} - C + 273{,}15, \qquad (4.35)$$

де $P_{пр}$ — тиск спрацьовування запобіжного пристрою або тиск руйнування резервуара; A, B, C — константи рівняння залежності тиску насичених парів палива від температури (константи Антуана), що визначаються по довідковій літературі.

Вихідні дані:

- маса ЛЗР (ГР), що міститься в резервуарі;
- температура кипіння ЛЗР (ГР);
- константи Антуана для рідини;
- тиск спрацьовування запобіжного пристрою або тиск руйнування резервуара.

Результати розрахунку вихідних даних:

- надлишковий тиск в ударній хвилі;
- імпульс позитивної фази ударної хвилі.

Межа застосування моделі:

m = 10 ÷ 10 000 кг; r = 10 ÷ 1000 м;

$T_{кип}$ = 273 ÷ 573 К; $P_{пр}$ = 50 ÷ 500 кПа (надлишкового).

4.1.8. Оцінка інтенсивності теплового випромінювання

У даному розділі приводяться методи розрахунків інтенсивності теплового випромінювання від горіння пролитої рідини й горіння газу («вогненної кулі»).

Розлив небезпечної хімічної речовини (НХР) - витікання при розгерметизації з технологічних установок, ємностей для зберігання або транспортування небезпечної хімічної речовини або продукту в кількості, здатної викликати хімічну аварію.

«Вогненна куля» - хмара вибухонебезпечної речовини, що утворилося в результаті розгерметизації встаткування, що містить паливно-повітряну суміш у кількості, здатній привести до запалення (тобто перевищуючу нижню концентраційну межу запалення).

«Вогненна куля» вибуху характеризується утворенням світних розпечених продуктів вибуху.

Горіння пролитої рідини (“пожежа проливу”). Інтенсивність теплового випромінювання q, кВт/м^2, для пожежі на місці пролитої горючої рідини обчислюється за формулою

$$q = E_f F_q \chi \qquad (4.36)$$

де E_f — середньоповерхнева інтенсивність теплового випромінювання полум'я, квт/м^2; F_q — кутовий коефіцієнт опромінення; x — коефіцієнт пропущення атмосфери.

Значення E_f приймається на основах наявних експериментальних даних. При відсутності даних для нафтопродуктів допускається приймати величину E_f рівною 40 кВт/м^2.

Ефективний діаметр розливів d, м, розраховується по формулі

$$d = \sqrt{4F/\pi}, \qquad (4.37)$$

де F— площа розливів, м^2.

Висота полум'я H, м, обчислюється по формулі

$$H = 0{,}28d\sqrt{q'}, \qquad (4.38)$$

де q' — питомий тепловий потік, ккал/(м^2• с); для бензину, гасу, мазуту, нафти q' = 300 ккал/(м^2• с); для бензолу, толуолу, циклогексану q'=600 ккал/(м^{2}с).

Кутовий коефіцієнт опромінень F_q визначається зі співвідношення:

$$F_q = \sqrt{F_v^2 + F_h^2}\ , \qquad (4.39)$$

де F_v й F_h — коефіцієнти опромінень для вертикальної й горизонтальної площадок відповідно, обчислюються за допомогою виразів:

$$F_V = \frac{1}{\pi}\left\{\frac{1}{S}arctg\frac{h}{\sqrt{S^2-1}} + \frac{h}{S}\left[arctg\sqrt{\frac{S-1}{S+1}} - \frac{A}{\sqrt{A^2-1}}arctg\sqrt{\frac{(A+1)(S-1)}{(A-1)(S+1)}}\right]\right\}; \quad (4.40)$$

$$F_h = \frac{1}{\pi}\left[\frac{B-1/S}{\sqrt{B^2-1}}arctg\sqrt{\frac{(B+1)(S-1)}{(B-1)(S+1)}} - \frac{A-1/S}{\sqrt{A^2-1}}arctg\sqrt{\frac{(A+1)(S-1)}{(A-1)(S+1)}}\right]; \qquad (4.41)$$

$$A = \frac{h^2 + S^2 + 1}{2S}; \qquad (4.42)$$

$$B = \frac{1 + S^2}{2S}; \qquad (4.43)$$

$$S = 2r/d; \qquad (4.44)$$

$$h = 2H/d; \qquad (4.45)$$

де r — відстань від геометричного центру розливу до об'єкта, що опромінює, м. Коефіцієнт пропущення атмосфери χ визначається за формулою

$$\chi = \exp\left[-7{,}0\cdot10^{-4}(r - 0{,}5d)\right]. \qquad (4.46)$$

Вихідні дані:

- середньоповерхнева інтенсивність теплового випромінювання;
- площа розливу;
- щільність навколишнього повітря;
- відстань від геометричних центрів розливів до об'єкта, що опромінює.

Результати розрахунку:

- інтенсивність теплового випромінювання.

Межа застосування моделі:

E_f = 10 ÷ 200 кВт/м^2; F= 1 ÷ 10 000 м^2;

$\rho_в$ = 1,1 ÷ 1,3 кг/м^3; r= 1 ÷ 1000 м.

«Вогненна куля». Інтенсивність теплового випромінювання q, кВт/м^2, для «вогненної кулі» також розраховують за формулою (4.36).

Величина E_f визначається на основах наявних експериментальних даних. Допускається приймати E_f рівною 450 кВт/м^2.

Значення F_q визначається за формулою

$$F_q = \frac{(H_Ш / D_S) + 0{,}5}{4\left[(H_Ш / D_S + 0{,}5)^2 + (r / D_s)^2\right]^{1{,}5}}, \qquad (4.47)$$

де $H_Ш$ — висота центру «вогненної кулі», м; D_S — ефективний діаметр «вогненної кулі», м; r — відстань від об'єкта, що опромінює, до точки на поверхні землі, що перебуває безпосередньо під центром «вогненної кулі» , м.

Ефективний діаметр «вогненої кулі» D_S , визначається за формулою

$$D_s = 5{,}33m^{0{,}327}, \qquad (4.48)$$

де m — маса ЛЗР (ГР), що надійшла в навколишній простір, кг. Величину $H_Ш$ допускається приймати рівною $D_S/2$.

Час існування «вогненної кулі» t_s (с) знаходять зі співвідношення

$$t_s = 0{,}92m^{0{,}303}, \qquad (4.49)$$

Коефіцієнт пропущення атмосфери розраховується за формулою:

$$\chi = \exp\left[-7{,}01 \cdot 10^{-4}\left(\sqrt{r^2 + H^2} - D_S / 2\right)\right]. \qquad (4.50)$$

Вихідні дані:

- висота центру «вогненної кулі»;
- відстань від об'єкта, що опромінює, до точки на поверхні землі, що перебуває безпосередньо під центром «вогненної кулі»;
- маса ЛЗР (ГР) в «вогненної кулі».

Результати розрахунку:

- інтенсивність теплового випромінювання;
- час експозиції.

Межа застосування моделі:

$H_Ш$ = (0,5 ÷ 5,0) D_S; r = (0,5 ÷ 20,0) D_S; m =100 ÷ 10 000 кг.

4.1.9. Оцінка розльоту осколків при підривному руйнуванні технологічного встаткування

Існують різні методи розрахунків швидкостей і дальності розльоту осколків, що утворяться при вибуху сферичних і циліндричних оболонок. Зазначені методи багато в чому залежать від імовірності протікання аварій, при яких можуть виникати ситуації з розльотом осколків, а характеристики небезпеки цих ситуацій (швидкість, дальність розльоту, маса й форма осколків й ін.) багато в чому залежать від форми встаткування, величини тиску, що витримує це устаткування без руйнування, рівномірності товщини стінок устаткування тощо.

Аналіз результатів проведених розрахунків й аварій, що відбулися, та які супроводжувалися утворенням осколків, свідчить про наступне:

• 80 % аварій на технологічному встаткуванні з виникненням пожежі, що привела до руйнування цього встаткування, супроводжувалися утворенням осколків;

• аварії, пов'язані з руйнуванням ємності (резервуара) у результаті вибуху горючого середовища усередині нього, супроводжуються утворенням, як правило, більше чотирьох осколків; аварії, пов'язані з руйнуванням ємності в результаті знаходженні її у вогнищі пожежі, приводять до утворення чотирьох і менш осколків;

- дальність розльоту 80 % осколків не перевищує 200 м;
- при руйнуванні ємностей сферичної форми утвориться більша кількість осколків, ніж при руйнуванні ємностей, що мають форму циліндра або паралелепіпеда;
- при руйнуванні ємностей циліндричної форми найбільшу дальність розльоту мають осколки їх торцевих частин;
- із зменшенням розмірів ємностей дальність розльоту осколків при їх руйнуванні збільшується;
- осколки часто є джерелами запалювання в місцях їхнього падіння.

Дані об аваріях, що мали місця, свідчать про те, що дальність розльоту осколків може досягати 1000-1200 м.

Для оцінки поразок людей, а також ушкодження або руйнування будинків і споруджень необхідно керуватися рекомендаціями, запропонованими в методиці.

4.1.10. Випаровування рідини з розливів

В основи моделі випаровування покладена теорія стефанівського потоку. Основними якісними виводами цієї теорії є положення про те, що при температурах навколишнього повітря, низьких у порівнянні з температурою кипіння рідини, процес випару лімітується дифузією, а при високих — тепловіддачею. Для розглянутого нами случаю нафтопродуктів, серед яких одним з найбільше легколетучих компонентів є бензин, характерний перший зі згаданих режимів випаровування. При цьому інтенсивність випаровування W, кг/(м^{2}с), для ненагрітих рідин із задовільною точністю може бути описана наступним напівемпіричним виразом:

$$W = 10^{-6} \eta P_H \sqrt{M} \qquad (4.51)$$

де η — коефіцієнт, приймаємий по табл. 1 залежно від швидкості й температури повітряного потоку над поверхнею випару; M— молярна маса рідини, кг/кмоль; P_H — тиск насиченої пари при розрахунковій температурі рідини, кПа.

При більш високих швидкостях повітряного потоку величина η й далі зростає, однак через віднесення парів горючої рідини повітряним потоком об’єм вибухонебезпечної суміші з ростом цієї швидкості падає, тому розгляд випадків швидкості більше 1 м/с особливого інтересу не представляє.

Вихідні дані:

- молярна маса;
- коефіцієнт η;

- тиск насичених парів рідини.

Таблиця 1 Значення коефіцієнта η

Швидкість повітряного потоку, м/с	Значення коефіцієнта η при різні значення температури повітря				
	10ºС	15 ºС	20 ºС	30 ºС	35 ºС
0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
0,1	3,0	2,6	2,4	1,8	1,6
0,2	4,6	3,8	3,5	2,4	2,3
0,5	6,6	5,7	5,4	3,6	3,2
1,0	10,0	8,7	7,7	5,6	4,6

Результати розрахунків:

- інтенсивність випаровування рідини.

Межа застосування моделі:

η = 1,0÷10,0; M= (30÷300) кг/кмоль; P_H = 0,01÷50 кПа.

4.1.11. Утворення пароповітряної хмари

У моделі приймається, що пароповітряна хмара являє собою сукупність елементарних пароповітряних об’ємів, що дрейфують по вітру. Розподіл концентрацій горючої пари в кожному із цих об’ємів описується гауссовською моделлю з дисперсіями, що залежать від пройденої хмарою відстані. Результуюче поле концентрацій важких парів являє собою суперпозицію розподілів концентрацій зазначених вище елементарних об’ємів.

Таким чином, концентрація важкої пари C, кг/м^3, у точці з координатами x, y, z описується виразом:

$$C(x,y,z)=\frac{Q_j}{(2\pi)^{3/2}\sigma_{yj}^2\sigma_{zj}}\exp\left\{-\left[\frac{(x-x_j)^2}{2\sigma_{yj}^2}+\frac{y^2}{2\sigma_{yj}^2}+\frac{z^2}{2\sigma_{zj}^2}\right]\right\} \qquad (4.52)$$

Маса важкої пари в *j-ому* елементарному об’ємі Q_j, кг, описується співвідношенням

$$Q_j = W_j F t_j \qquad (4.53)$$

де W_j — інтенсивність випару при утворенні *j-го* об'єму, кг/(м^{3}с), що обчислюється по формулі (4.51) і відповідно до табл. 2.1; F — площа випаровування, м^2; t_j — час утворення *j-го* елементарного об'єму, с.

Координата центру *j-го* елементарного об'єму x_j, м, обчислюється за формулою

$$x_j = ut'_j \qquad (54)$$

де *u* — швидкість дрейфу *j-го* елементарного об'єму, м/с, прийнята рівної швидкості вітру; t'_j — час існування *j-го* елементарного об'єму, с.

Дисперсії розподілу концентрацій важкого газу в *j-м* елементарному об'ємі в горизонтальному й вертикальному напрямках —σ_{yj}, σ_{zj} , м, описуються емпіричними виразами:

$$\sigma_{yj} = 0{,}7(x - x_j)^{0{,}7} \qquad (4.55)$$

$$\sigma_{zj} = 0{,}44(x - x_j)^{0{,}7} \qquad (4.56)$$

Загалом кажучи, величини σ_y й σ_z залежать від класу стійкості атмосфери за Пасквіллом. Однак вплив класу стійкості найбільш істотний при малих концентраціях горючої пари (наприклад, у завданнях, де вивчається токсичний вплив парів рідини). При рішенні завдань про оцінку вражаючої дії вибуху пароповітряної хмари й пожежі-спалаху становлять інтерес частини хмари з концентраціями горючої пари вище нижньої концентраційної межі поширення полум'я (НКПР), що практично для всіх нафтопродуктів становить близько 40 г/м^3. При таких високих концентраціях вплив класу стійкості атмосфери відносно невеликий. Вирази для дисперсій (4.55) і (4.56) були отримані по відомим експериментальним даним і використані в описаній вище моделі при порівнянні з експериментом, виконаним у зовсім інших погодних умовах. Було отримано непогане узгодження розрахункових й експериментальних даних.

Для рішення ряду практичних завдань буває необхідно знати горизонтальний розмір вибухонебезпечної зони (зони, що обмежує пароповітряну хмару за рівнем НКПР) $X_{НКПР}$. Величина $X_{НКПР}$, м, може бути знайдена по наступній емпіричній формулі:

$$X_{НКПР} = 40(G/\rho u)^{1/2} \qquad (4.57)$$

де G — масова швидкість надходження горючих парів в атмосферу, кг/с, описувана співвідношенням

$$G = WF \qquad (4.58)$$

Вихідні дані:

- координати точки, у якій розраховують концентрацію;
- інтенсивність випаровування рідини;
- площа випаровування;
- час утворення елементарного парового об’єму;
- швидкість вітру;
- час від початку випаровування.

Результат розрахунку:

- концентрація парів у заданій точці простору;
- розмір вибухонебезпечної зони по напрямку вітру.

Межа застосування моделі:

$W = 5{,}5 \cdot 10^{-8} \div 8{,}65 \cdot 10^{-3}$ кг/(м$^3 \cdot c$); $F = 1 \div 10\,000$ м^2; $t_j = 0 \div 30$з;

$t'_j = 0 \div 3600$ с; $i = 0 \div 10$ м/с.

4.1.12. Вибух пароповітряної суміші в резервуарі або виробничому приміщенні

Як резервуар, так і виробниче приміщення, у якому відбувається вибух пароповітряної суміші, характеризується певним ступенем негерметичності. У зв'язку із цим для розрахунку динаміки вибуху й максимального тиску вибуху варто розглядати згоряння пароповітряної суміші в ємності із скидними отворами.

Сформулюємо основні допущення, покладені в основі математичної моделі. Горюча пароповітряна суміш перебуває усередині обмеженого жорсткими конструкціями або оболонкою простору досить довільної форми, але з певним відношенням максимального і мінімального лінійних розмірів (не більш ніж 10:1). Передбачається, що градієнт тиску усередині ємності дорівнює нулю, тобто згоряння пароповітряної суміші відбувається із швидкостями, багато меншими швидкості звуку. Розкриття скидних отворів відбувається відразу ж після початку горіння або при досягненні деякого граничного тиску. У ємності перебуває суміш заданого складу з відомою нормальною швидкістю горіння. З певним запасом надійності можна прийняти, що суміш має стехіометричний склад.

Система звичайних диференціальних рівнянь, що описують динаміку вибуху пароповітряної суміші в негерметичній ємності, має вигляд (у безрозмірній формі):

$$\begin{cases} \dfrac{dn_n}{d\tau} = 3\left[\chi p^{\varepsilon+1/\gamma_c}(1-n_c p^{-1/\gamma_c})^{2/3} - AR_{II}W\right] \\ \dfrac{dn_c}{d\tau} = -3\left[\chi p^{\varepsilon+1/\gamma_c}(1-n_c p^{-1/\gamma_c})^{2/3} + (1-A)R_C W\right] \\ \dfrac{dn_n}{d\tau} = \dfrac{\chi Z p^{\varepsilon+1/\gamma_c}(1-n_c p^{-1/\gamma_c})^{2/3} - \gamma_n W\left[(1-A)R_C + AR_{II}\left(\dfrac{p^{1/\gamma_c}-n_c}{n_n}\right)\right]}{\left(p^{\varepsilon+1/\gamma_c} - \dfrac{\gamma_c-\gamma_n}{\gamma_c}n_c\right)\dfrac{1}{3p}} \end{cases} \quad (4.59)$$

$$Z = \gamma_n\left(E - \frac{\gamma_c}{\gamma_n}\frac{\gamma_n-1}{\gamma_c-1}\right)p^{(1-\gamma_c)/\gamma_c} + \frac{\gamma_n-\gamma_c}{\gamma_c-1} \quad (4.60)$$

$$W = \frac{\mu F C_0}{36\pi^{1/3}\sqrt{\gamma_c}V^{2/3}S_c} \quad (4.61)$$

де μ — коефіцієнт витікання; F— площа скидного перетину, м^2; R (R_{II} або R_C) — параметр, що характеризує масову швидкість витікання; індекси “п” й “с” ставляться до продуктів горіння й незгорілої суміші відповідно; n — масова частка продуктів згоряння або незгорілої суміші; τ — безрозмірний час, описуваний співвідношенням

$$\tau = S_C t / a \qquad (4.62)$$

S_C — нормальна швидкість горіння свіжої суміші при початкових параметрах стану (тиск, температура), м/с; t — час, с; a — характерний розмір ємності, м, обумовлений співвідношенням

$$a = \left(\frac{3V}{4\pi}\right)^{1/3} \qquad (4.63)$$

V – об'єм ємності, м^3; $p = P'/P_i$ — безрозмірний тиск; P', P_i — абсолютні тиски у гирлі скидного отвору та у ємності (апараті), Па; γ — показник адіабати парогазової суміші; E — коефіцієнт розширення продуктів згоряння; A — частка площі скидного перетину, м^2, яку займають продукти згоряння, описувана співвідношенням

$$A = r^2 \qquad (4.64)$$

r — відносний радіус полум'я, що обчислюється за формулою

$$r = \left(\frac{\delta_c - n_c}{\delta_c}\right)^{1/3} \qquad (4.65)$$

$\delta_c = \rho/\rho_i$ — безрозмірна щільність парогазового середовища; ρ, ρ_i — поточна й початкова щільність парогазового середовища, кг/м^3; C_0 — швидкість звуку пароповітряної суміші при початкових параметрах стану, м/с.

Параметр R описується формулами:

- для докритичного витікання

$$R = \psi(p) = \sqrt{\frac{2\gamma}{\gamma - 1}\left[p^{2/\gamma} - p^{(\gamma+1)/\gamma}\right]} \text{ при } p > \pi^* \qquad (4.66)$$

- для понадкритичного витікання

$$R = \psi(p) = \sqrt{\gamma\left(\frac{2\gamma}{\gamma+1}\right)^{(\gamma+1)/(\gamma-1)}} \text{ при } p \le \pi^* \qquad (4.67)$$

де π^* — критичне відношення тиску, дорівнює $\left(\frac{2}{\gamma+1}\right)^{\gamma/(\gamma-1)}$; ε - ступінь розширення газу при згорянні.

Ступінь розширення газів при згорянні ε в процесі поширення полум'я й підвищення тиску не залишається постійної. Зневажаючи зміною числа молей при згорянні, можна вважати, що

$$\varepsilon = T'/T \tag{4.68}$$

де T— температура газу перед згорянням; T' — температура газу після згоряння.

Зокрема, температура свіжого газу змінюється за законом адіабати:

$$T = T_0\left(\frac{P}{P_i}\right)^{(\gamma_c-1)/\gamma_c} \tag{4.69}$$

де T_0 — початкова температура газу в об’ємі.

Від динаміки поширення полум'я в замкнутому об’ємі легко перейти до динаміки росту в ньому тиску, якщо врахувати, що тиск підвищується прямо пропорційно кількості згорілого газу. Цю умову можна виразити рівнянням

$$P = P_i + (P_{\max} - P_i)n \tag{4.70}$$

де P — поточне значення тиску в об’ємі; P_i — початковий тиск в об’ємі; $P_{\max}$ — максимальний тиск при повному згорянні всієї суміші; n — частка суміші, що згоріла в цей момент часу.

Система рівнянь (4.59) може бути чисельно вирішена на ЕОМ, при цьому буде повністю описана динаміка тиску в негерметичній ємності.

Вихідні дані:

- поточний час;
- нормальна швидкість горіння парів;
- об’єм ємності, у якому відбувається згоряння пароповітряної суміші;
- швидкість звуку в парогазової суміші;
- показник адіабати;
- коефіцієнт витікання;
- початкові тиск і температура парогазовому середовищі;

- коефіцієнт розширення продуктів згоряння;

Результати розрахунку:

- тиск, температура у ємності залежно від часу;
- концентрації продуктів горіння та незгорівшої суміши залежно від часу

Межа застосування моделі:

t=0÷10 с; S_C = 0,2÷3,0 м/с; F= 1÷1000 м^3; C_0= 100÷500 м/с; γ = 1,1 ÷ 1,4; μ = 0,6÷1,0; P_i = 50÷200 кПа; T= 273÷323 К; E=3÷8.

4.1.13. Смолоскипове горіння струменя рідини

У випадку вертикального факелу інтенсивність його теплового випромінювання може бути розрахована по методу, описаному вище (у розділі 4.1.8). При цьому ефективний діаметр факела d і висота полум'я H можуть бути визначені за допомогою емпіричних формул:

$$\frac{H}{d_{отв}} = 220\left(\frac{u^2}{gd_{отв}}\right)^{0,2} \quad (4.71)$$

$$\frac{d}{d_{отв}} = 25\left(\frac{u^2}{gd_{отв}}\right)^{0,3} \quad (4.72)$$

де $d_{отв}$ — діаметр отвору, через який відбувається витікання рідини; g — прискорення вільного падіння (9,81 м/с^3); u — швидкість витікання рідини через отвір, м/с.

У випадку похилого факелу, для обчислення інтенсивності теплового випромінювання спочатку потрібно визначити геометричні параметри факелу.

Вихідні дані:

- діаметр отвору, через яке відбувається витікання рідини;
- швидкість витікання рідини через отвір.

Результати розрахунку:

- висота факелу;
- ефективний діаметр факелу.

Межа застосування моделі:

$d_{отв} = 0{,}005 \div 0{,}1$ м; $i = 1 \div 50$ м/с

4.2. ХІД ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Ознайомитися із темою і метою роботи. Вивчити основні теоретичні положення.

Отримати індивідуальне завдання і вказівки від викладача.

Включіть комп'ютер і запустіть програму «Моделирование процессов, происходящих при авариях на опасных производствах» вказаним викладачем способом.

Розрахувати надану за варіантом задачу, якій відповідає окремий модуль програмного комплексу.

Отримати результати та їх проаналізувати.

Представити результати роботи на комп'ютері викладачу.

Перейти до оформлення звіту.

В звіті послідовно надайте: № і назву лабораторної роботи, тему, мету, хід виконання роботи, наведіть тексти своїх програм для реалізації. Зробіть висновки щодо отриманих результатів отриманих при використанні програмного комплексу «Моделирование процессов, происходящих при авариях на опасных производствах».

4.3. АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ

Використання програмного комплексу «Моделирование процессов, происходящих при авариях на опасных производствах» надає можливість отримати показники небезпечності, і на їх основі робиться висновок про екологічну небезпечність промислового об'єкту.

Програмний комплекс має модульну структуру – кожній задачі відповідає окремий модуль. Програмою передбачена зручна робота із

протоколом розрахунків: хід усіх розрахунків відображається в ньому, є можливість збереження протоколу, та завантаження попередніх протоколів. Крім того для кожного модуля передбачена допомога, яка дає повну інформацію про застосовану модель та методи її розв'язання.

Основа програми – головна форма(рис. 4.1), з допомогою якої користувач може запустити будь-який модуль для моделювання задачі.

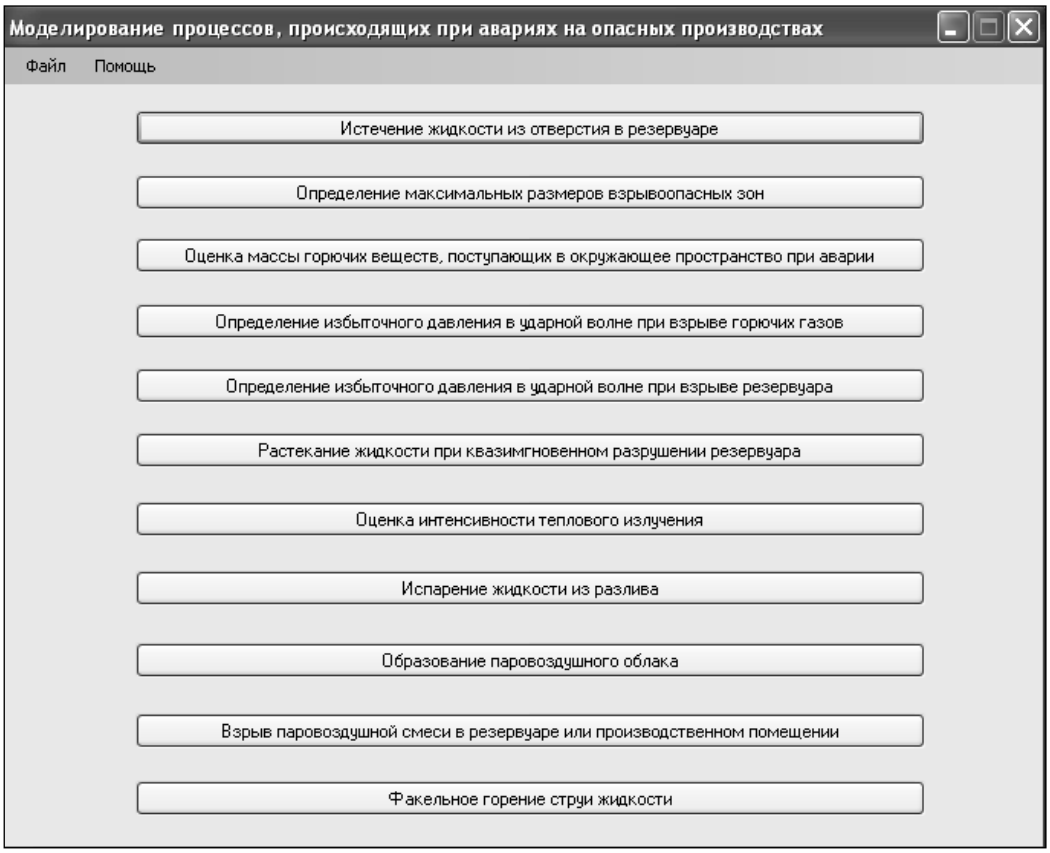

Рис. 4.1. Головна форма

Головна форма складається з меню та кнопок, за допомогою яких користувач викликає конкретний модуль.

Меню дозволяє користувачу завантажити звіт попередньої роботи(рис. 4.2), викликати допомогу(4.3), отримати інформацію про програму(4.4).

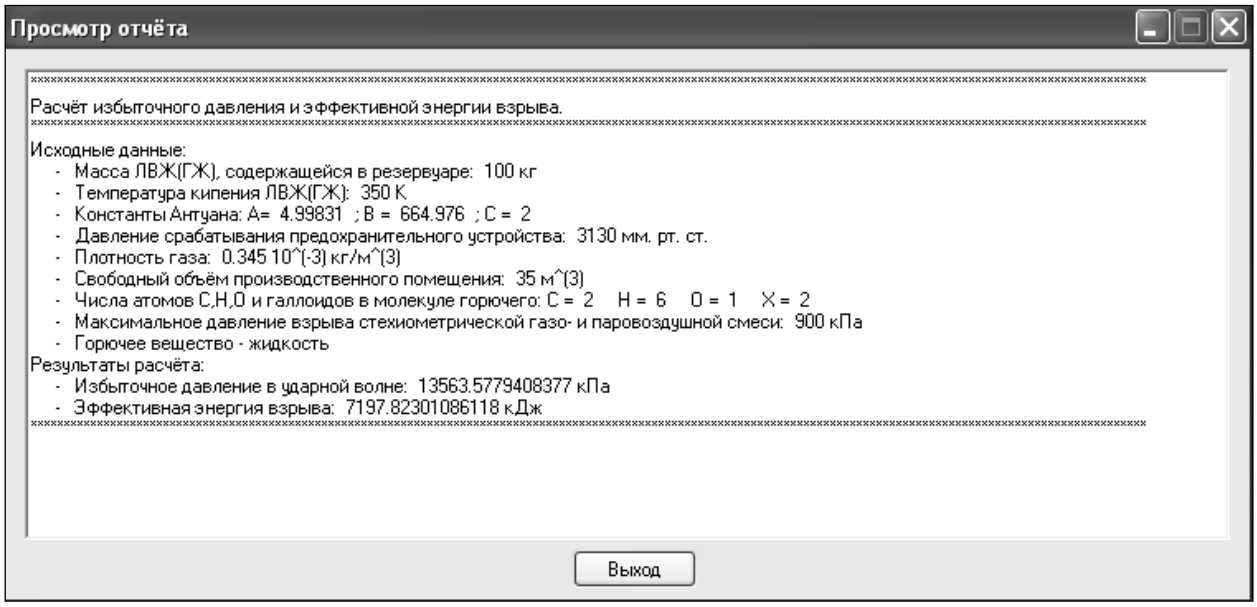

Рис. 4.2. Перегляд раніше збереженого звіту

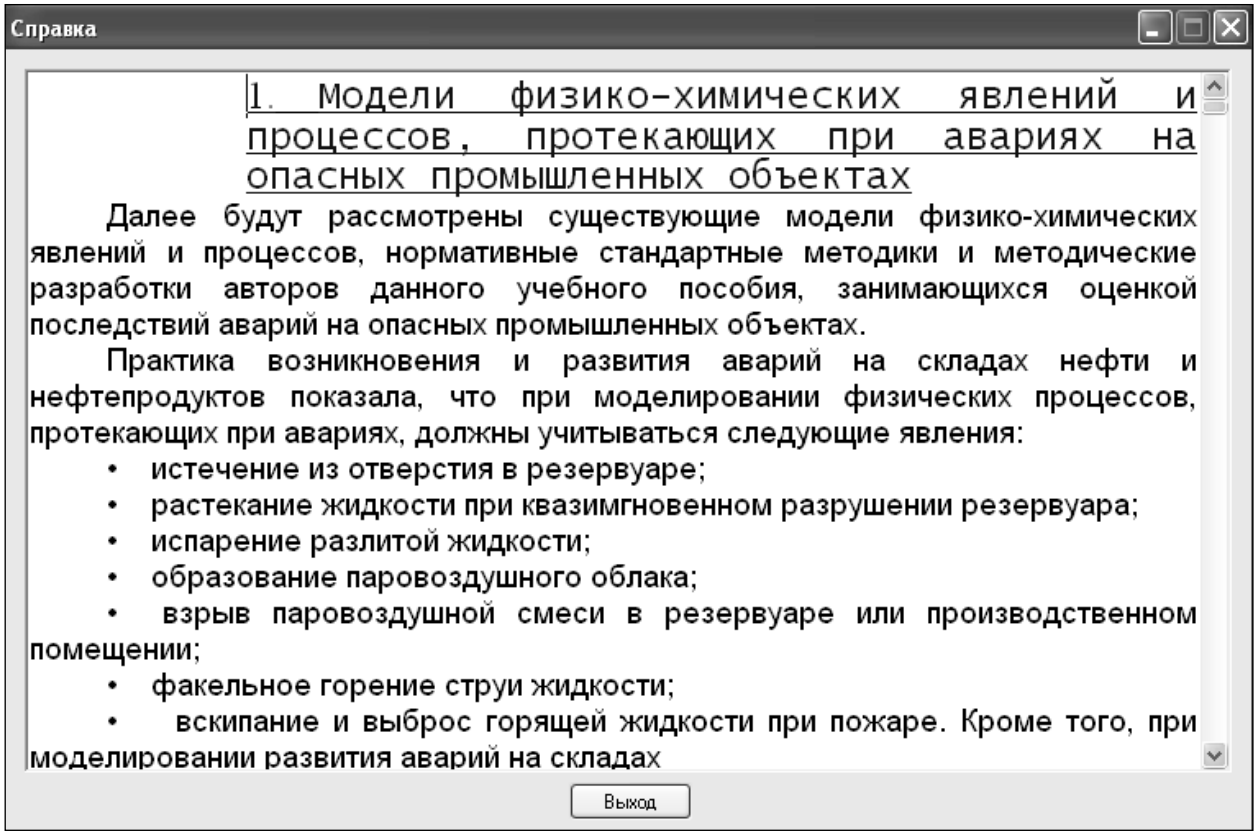

Рис. 4.3. Вікно допомоги

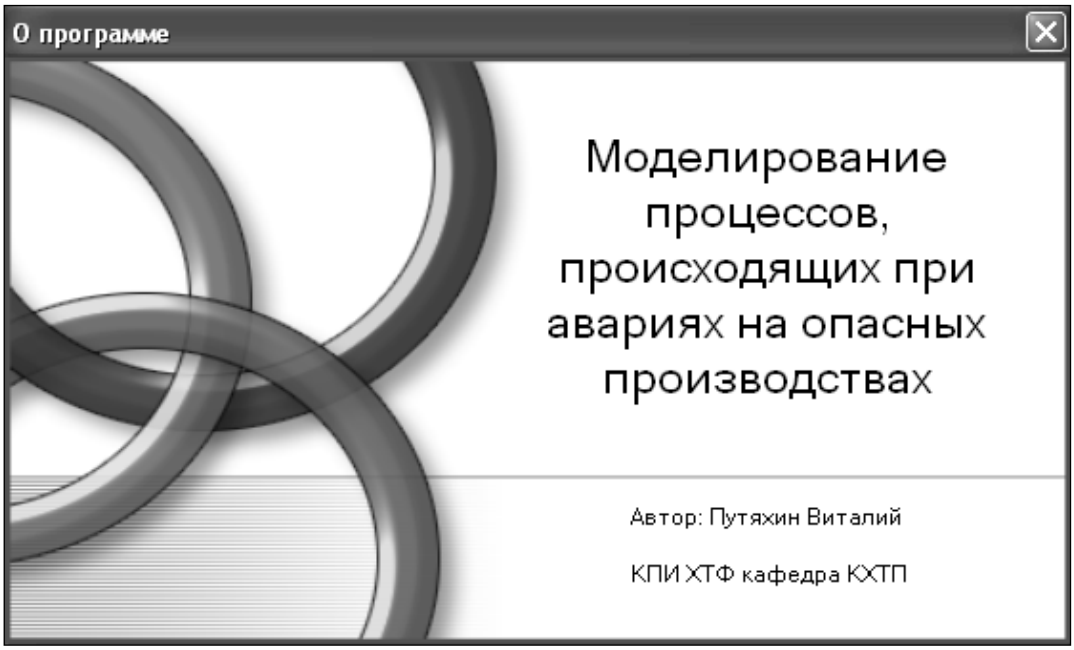

Рис. 4.4. Вікно інформації про програму

Розв’язання конкретної задачі моделювання реалізовано в окремому модулі. При виконанні обраної задачі буде відкрита відповідна форма. Користувачу потрібно ввести вихідні данні в поля вводу, а протокол розрахунків будуть виводитись у текстове вікно протоколу(рис. 4.5).

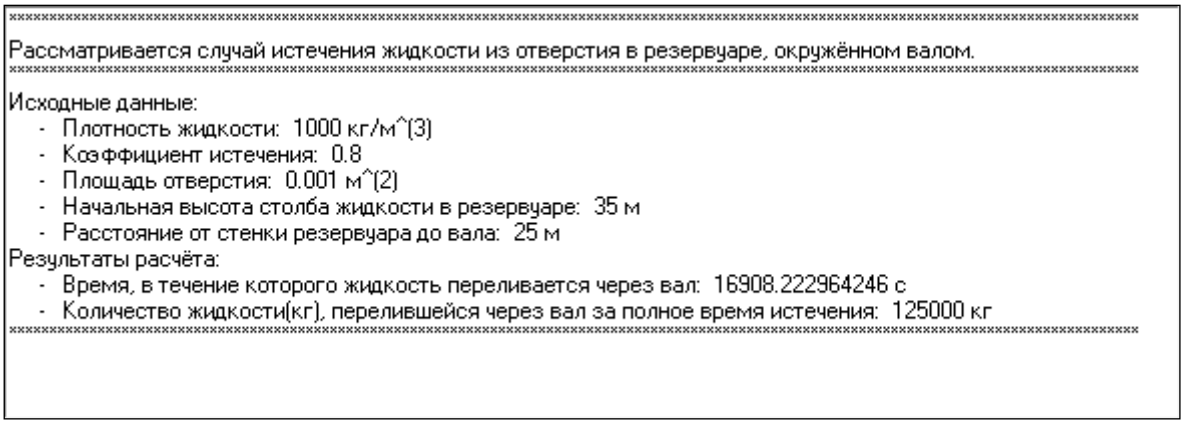

Рис. 4.5. Протокол розрахунків

Кожний модуль місить ряд основних кнопок(рис. 4.6): для введення тестового прикладу, для виклику допомоги, для очищення вікна протоколу, для збереження протоколу у текстовий файл.

Рис. 4.6. Основні елементи кожного модуля

Приклад розрахунку. Перейдемо тепер безпосередньо до описання кожної конкретної задачі.

Витікання рідини з отвору в резервуарі

Розглянемо моделювання витікання рідини з отвору в резервуарі на наступних вихідних даних:

- Густина рідини: 1000 кг/м^3
- Коефіцієнт витікання: 0,8
- Площа отвору: 0,001 м^2
- Початкова висота стовпа рідини в резервуарі: 35 м
- Відстань від стінки резервуара до вала: 25 м

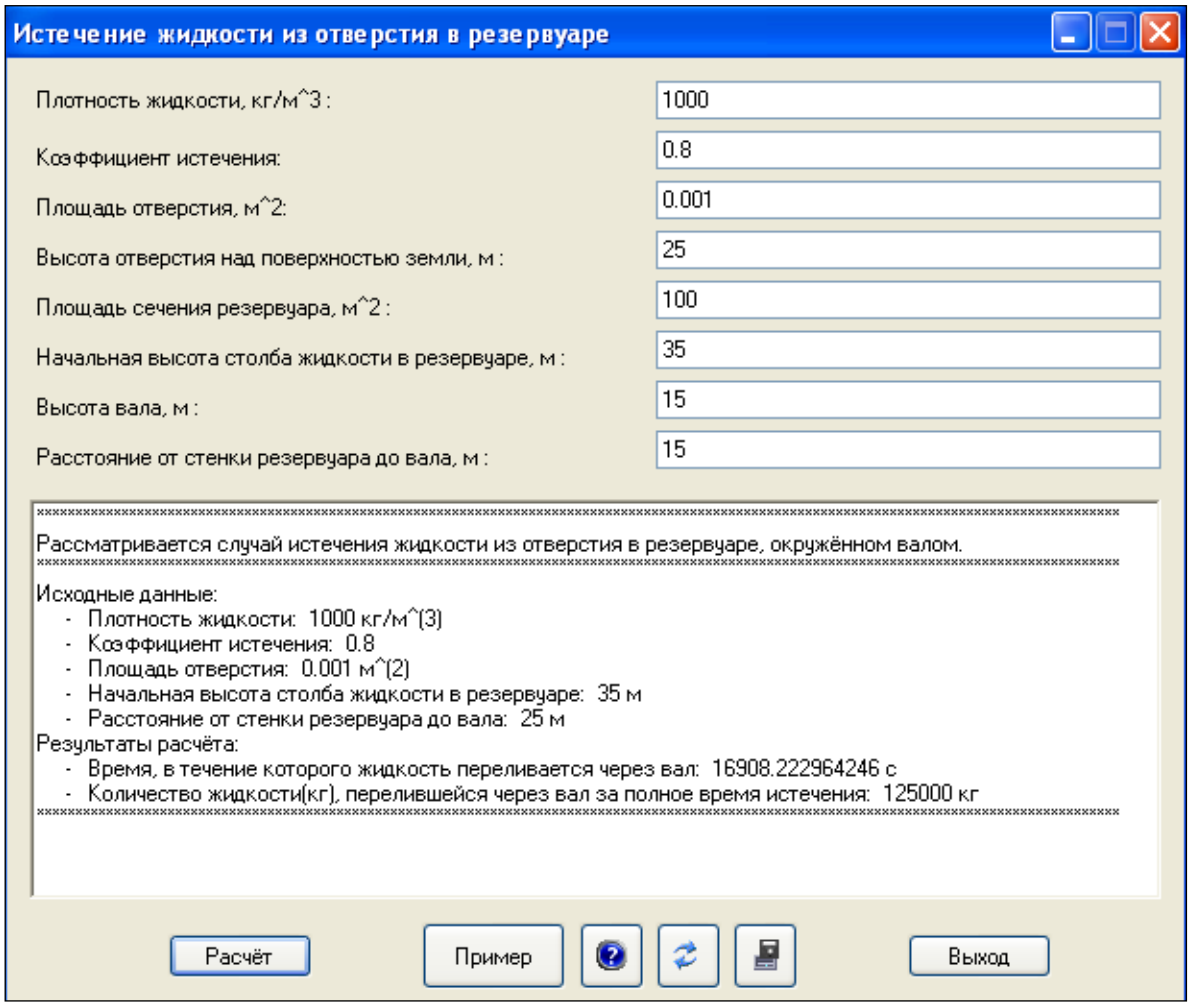

Рис. 4.6. Моделювання витікання рідини з отвору в резервуарі

Результати роботи програми:

- Час, протягом якого рідина переливалася через вал: 16908 с

- Кількість рідини, що перелилася за повний час витікання: 125000 кг

Визначення максимальних розмірів вибухонебезпечних зон

Розглянемо моделювання на наступних вихідних даних:

- Час повного випаровування рідини: 1000 с
- Нижня концентраційна границя поширення полум'я: 2 % об.
- Густина пара: 3 кг/м^3
- Тиск насичених парів рідини: 10 кПа
- Площа випаровування: 50 м^2
- Молярна маса парів: 80 кг/кмоль
- Вільний об'єм приміщення: 50 м^3
- Рухомість повітряного середовища: 0 м/с
- Габарити приміщення, м: L=30; S =20; H =2

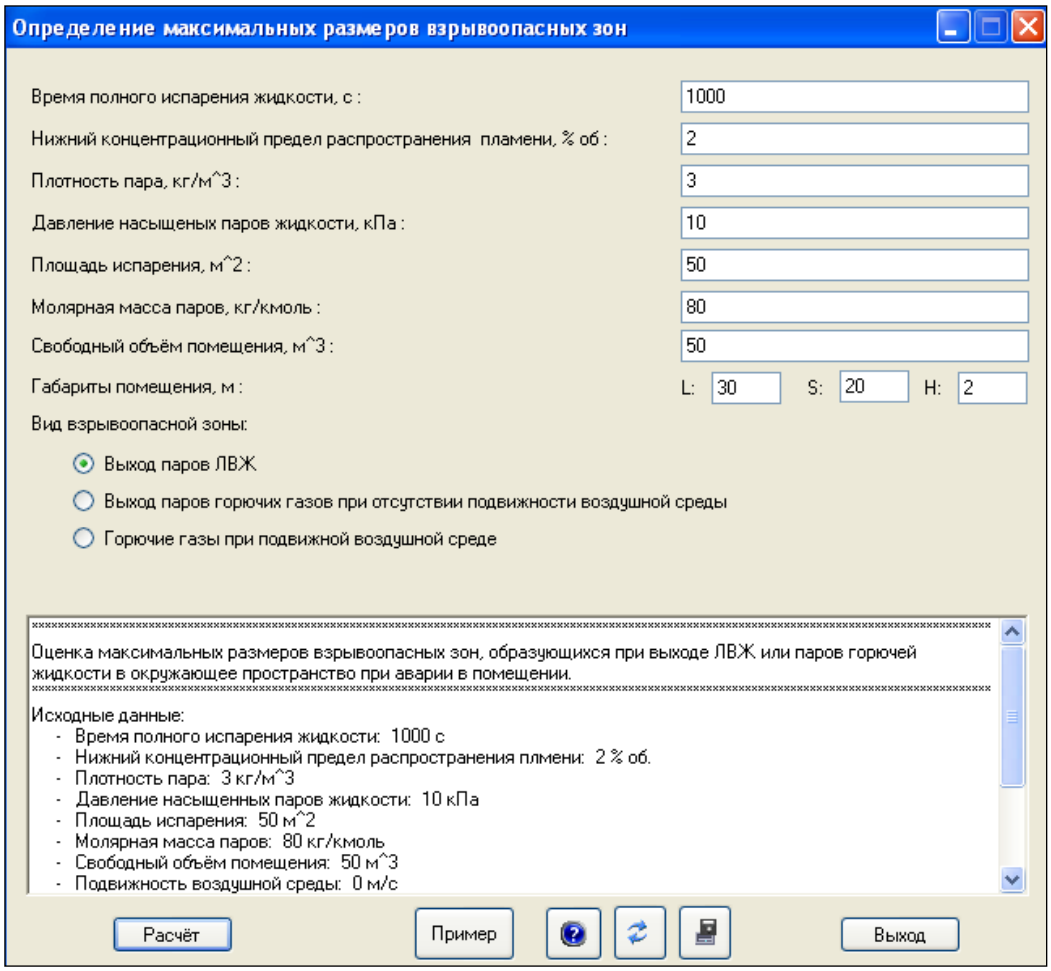

Рис. 4.2. Визначення максимальних розмірів вибухонебезпечних зон

Результати роботи програми:

- Максимальні розміри вибухонебезпечної зони, м :

X =38,13; Y =25,42; Z =0,10

Розтікання рідини при квазіміттєвому руйнуванні резервуара

Розглянемо моделювання на наступних вихідних даних:

- Початкова висота стовпа рідини : 7,5 м
- Висота вала : 10 м
- Радіус резервуара : 1,5 м
- Час розливу : 1,5 с
- Густина рідини : 1000 кг/м^3

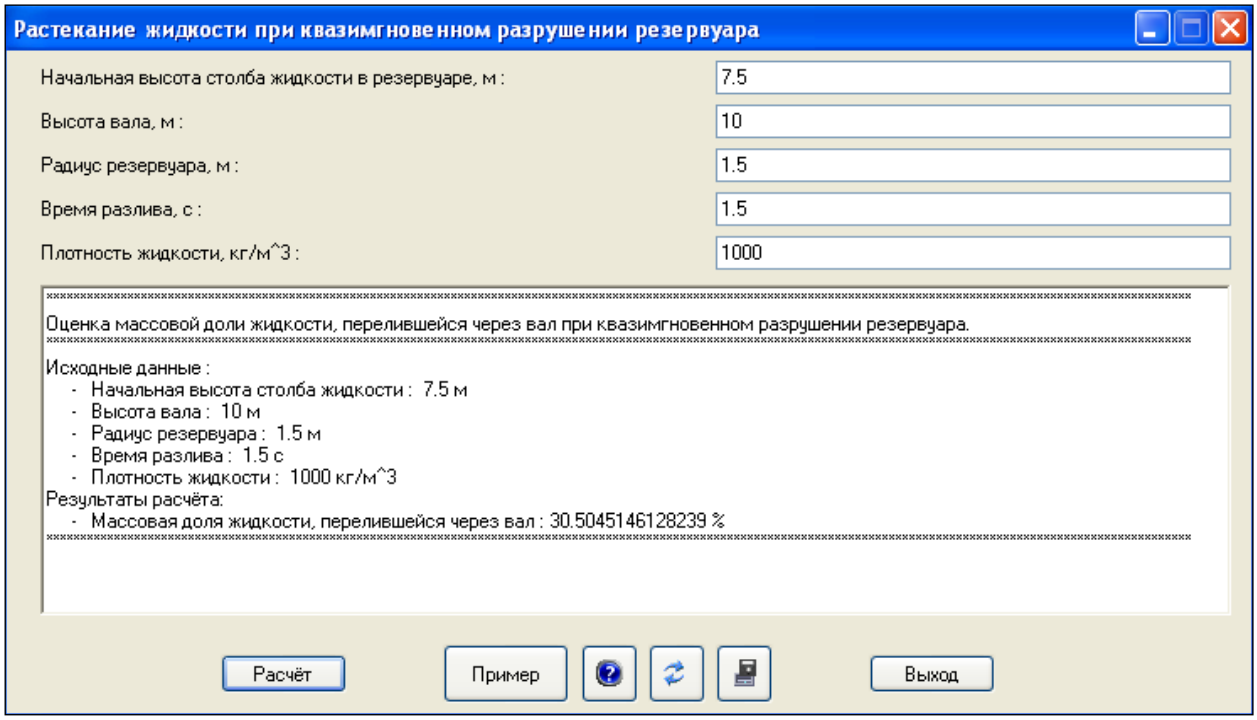

Рис. 4.3. Моделювання розтікання рідини при квазіміттєвому руйнуванні резервуара

Результати роботи програми:

- Масова доля рідини, що перелилася через вал : 30,5 %

Кількісна оцінка маси горючих речовин, що надходять у навколишній простір у результаті виникнення аварійних ситуацій

а) Розглянемо моделювання розгерметизації наземного резервуару на наступних вихідних даних:

- Густина ЛЗР: 0,45 кг/м^3
- Номінальний об’єм резервуара: 2,5 м^3

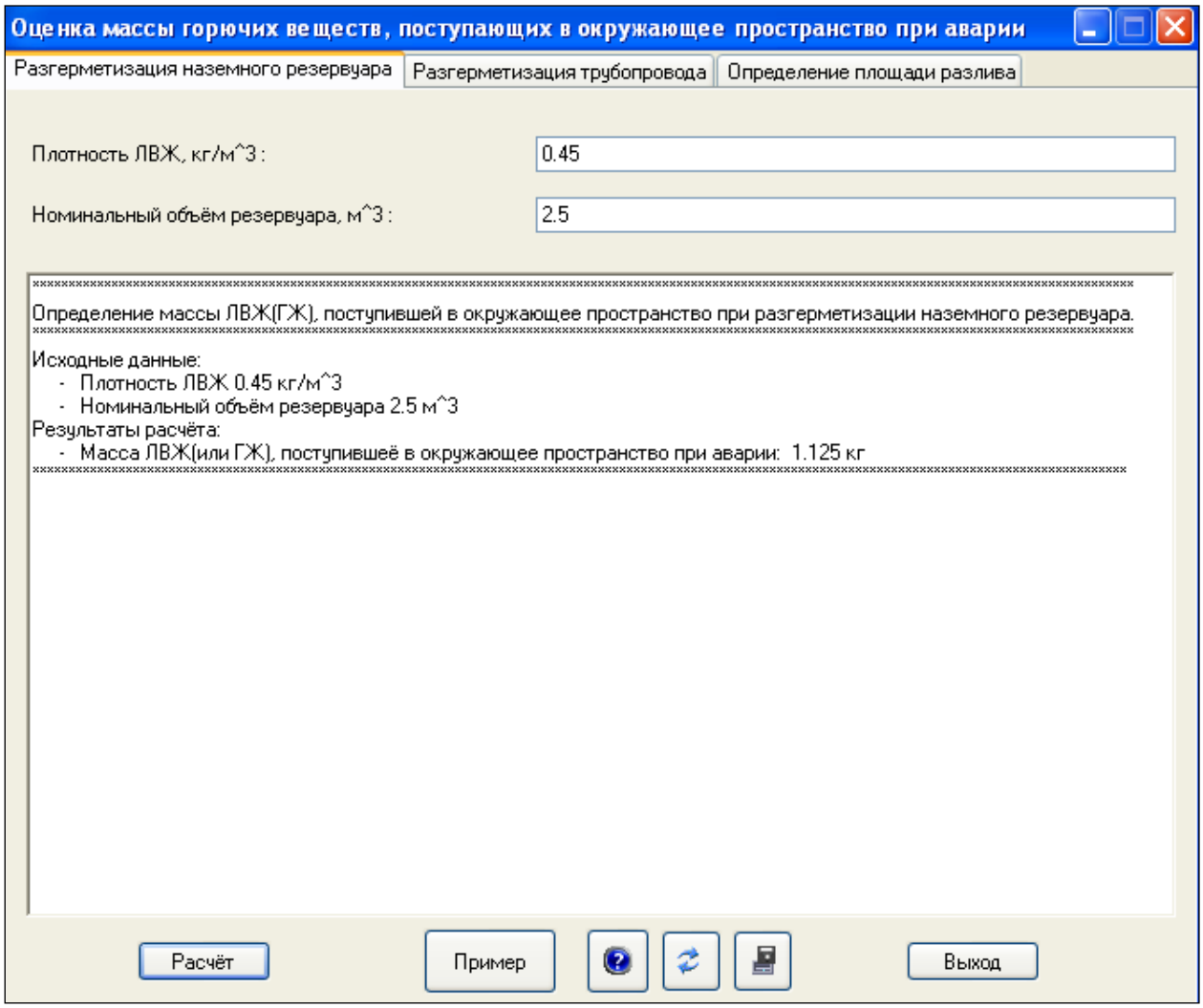

Рис. 4.4. Моделювання розгерметизації наземного резервуару

Результати роботи програми:

- Маса ЛЗР(ГР), що поступила в навколишнє середовище: 1,125 кг

б) Розглянемо моделювання розгерметизації трубопроводу на наступних вихідних даних:

- Густина ЛЗР: 0,45 м^3
- Продуктивність насосу: 50 кг/с

- Сумарна довжина трубопроводу: 50 м
- Діаметр трубопроводу: 0,1 м
- Тиск стовпа рідини в резервуарі: 2000 Па
- Розрахунковий час відключення трубопроводу: 15 с
- Висота стовпа рідини: 3 м

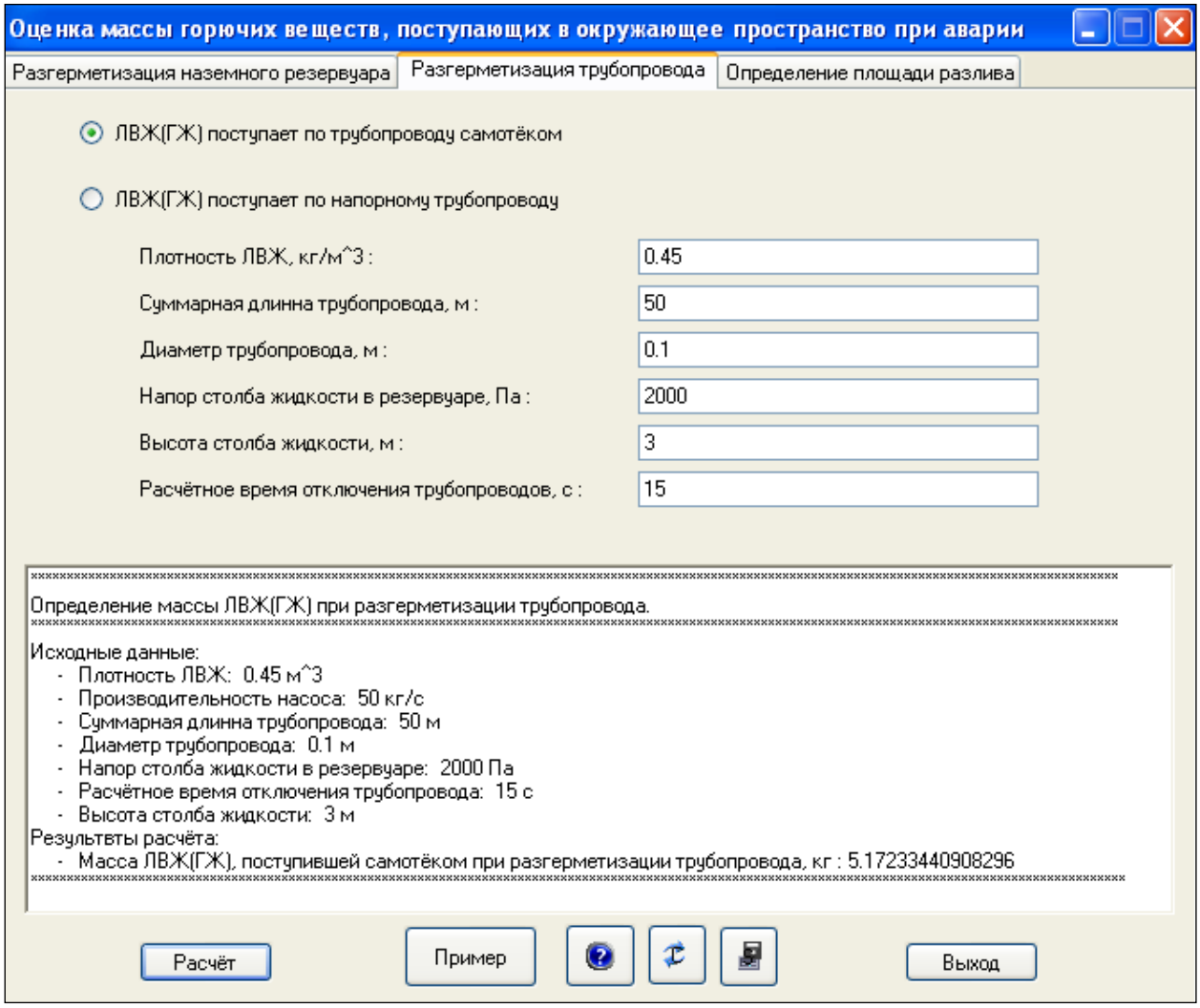

Рис. 4.5. Моделювання розгерметизації трубопроводу

Результати роботи програми:

- Маса ЛЗР(ГР), що поступила самопливом в навколишнє середовище: 5,17 кг

в) Розглянемо визначення площі розливу на наступних вихідних даних:

- Маса ЛЗР, що поступила в навколишнє середовище: 1,15 кг
- Коєфіцієнт локалізації ЛЗР(ГР): 0,19 м^2/кг

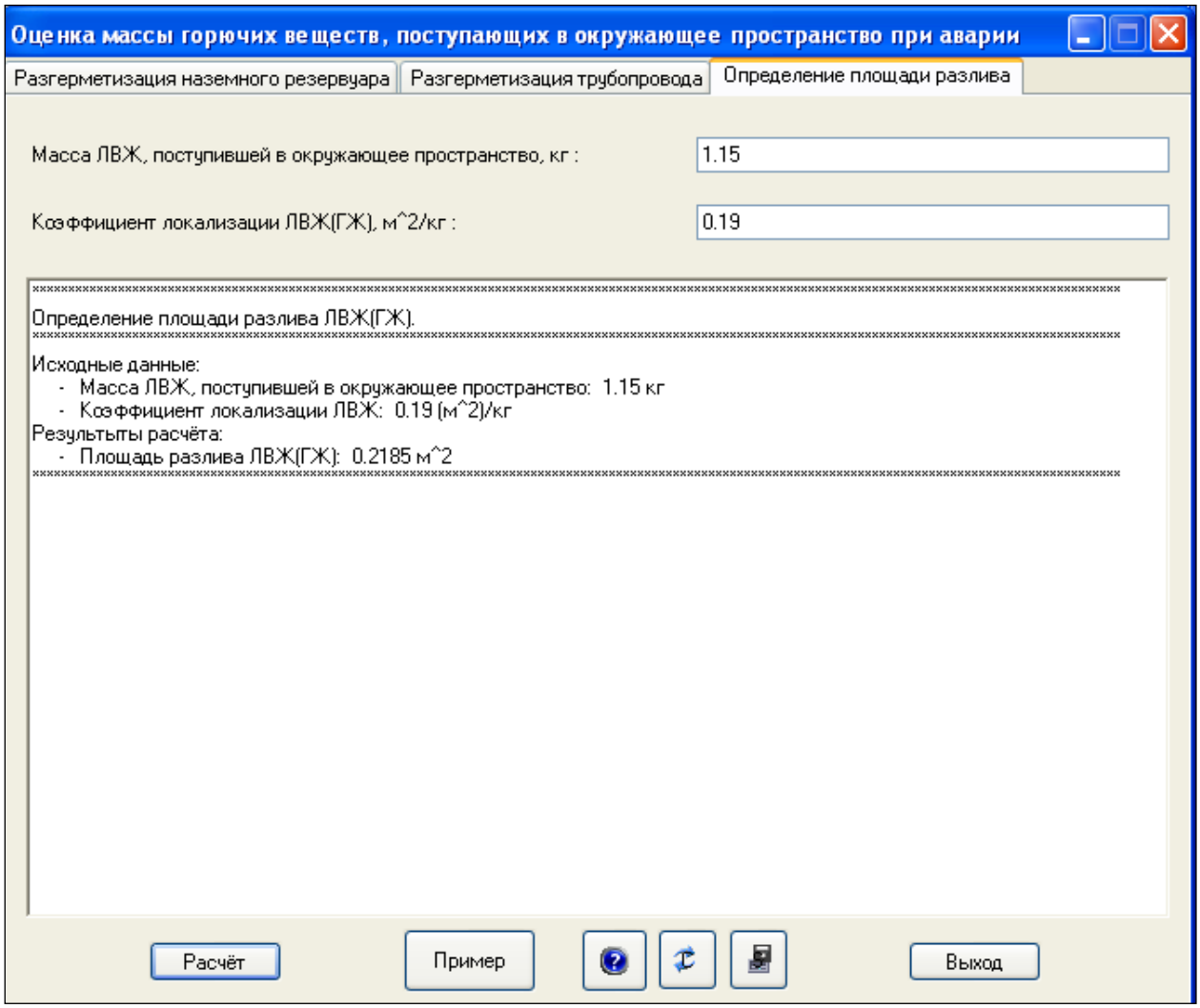

Рис. 4.6. Визначення площі розливу

Результати роботи програми:

- Площа розливу ЛЗР(ГР): 0,2185 м^2

Визначення надлишкового тиску в ударній хвилі при вибуху горючих газів, парів легкозаймистих і горючих рідин

Розглянемо визначення надлишкового тиску в ударній хвилі при вибуху горючих газів на наступних вихідних даних:

- Тиск в апараті: 5 кПа
- Об’єм апарата: 3 м^3
- Витрати газа: 0,1 м^3 / с
- Розрахунковий час відключення устаткування: 4 с
- Максимальний тиск в трубопроводі 10 кПа

- Густина газа: 0.345 10^{-3} кг/$м^3$
- Вільний об’єм виробничого приміщення: 35 $м^3$
- Максимальний тиск вибуху стехіометричної газоповітряної суміші:

  900 кПа
- Чмсла атомів С,Н,О та галоїдів в молекулі пального:

  С = 2 Н = 6 О = 1 Х = 2
- Довжини та радіуси і-ої ділянки трубопровода, м :

  l(1)=5; r(1)=0,4

  l(2)=15; r(2)=0,12
- Пальна речовина - рідина

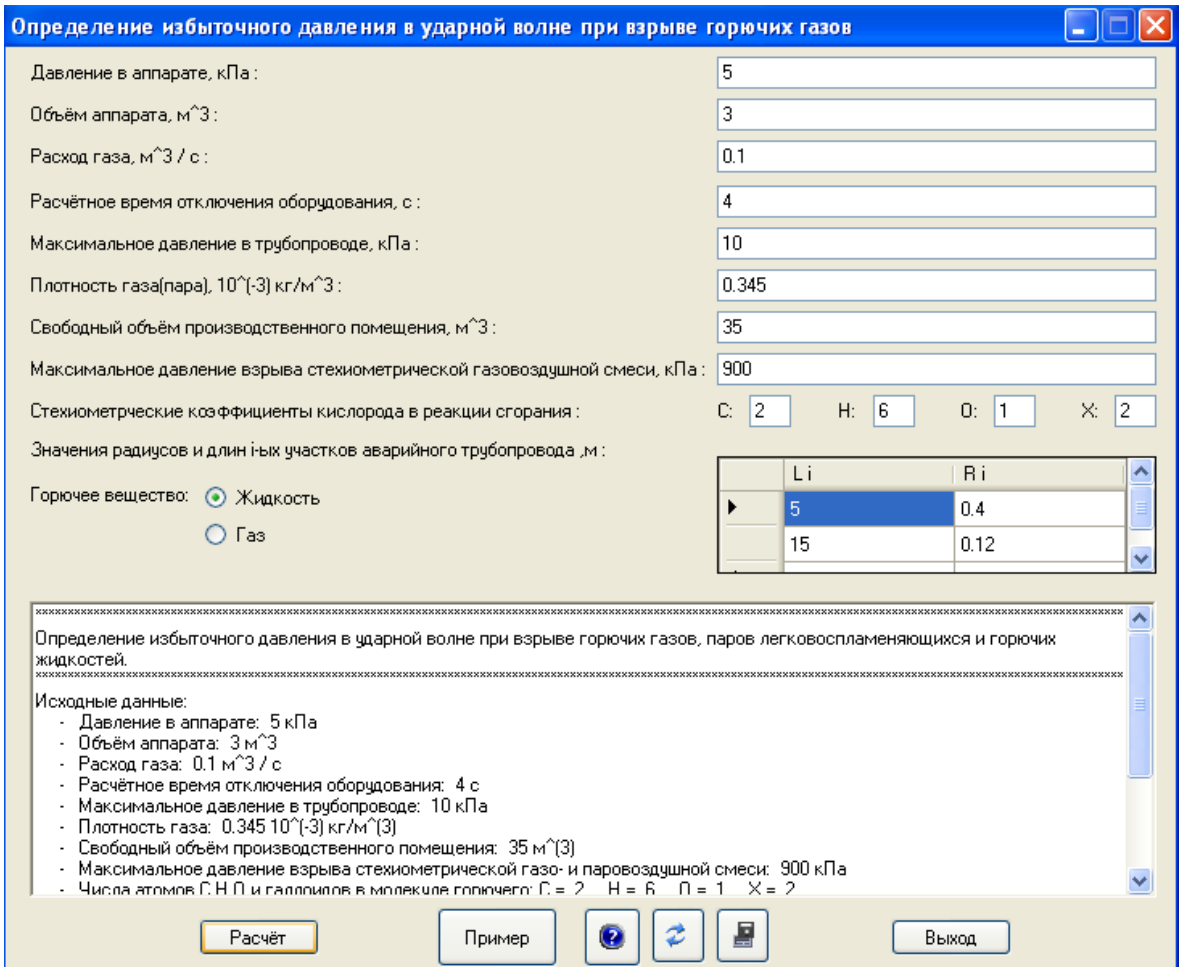

Рис. 4.7. Визначення надлишкового тиску в ударній хвилі при вибуху горючих газів

Результати роботи програми:

- Маса горючої пари, що поступила при аварії у виробниче приміщення, кг : 0,2998
- Надлишковий тиск вибуху, кПа : 25,98

Оцінка надлишкового тиску в ударній хвилі при вибуху резервуара з перегрітою легкозаймистою або горючою рідиною у вогнищі пожежі

Розглянемо оцінку надлишкового тиску в ударній хвилі при вибуху резервуара на наступних вихідних даних:

- Маса ЛЗР(ГР), що міститься у резервуарі: 100 кг
- Температура кипіння ЛЗР(ГР): 350 К
- Константи Антуана: A= 4.99831 ; B = 664.976 ; C = 2
- Тиск спрацьовування запобіжного пристрою: 3130 мм. рт. ст.
- Густина пари: 0,345 10^{-3} кг/$м^3$
- Вільний об'єм приміщення: 35 $м^3$
- Числа атомів C,H,O та галоїдів у молекулі пального :

  C=2; H=6; O=1; X=2
- Максимальний тиск вибуху стехіометричної пароповітряної суміші:

  900 кПа
- Горюча речовина - рідина

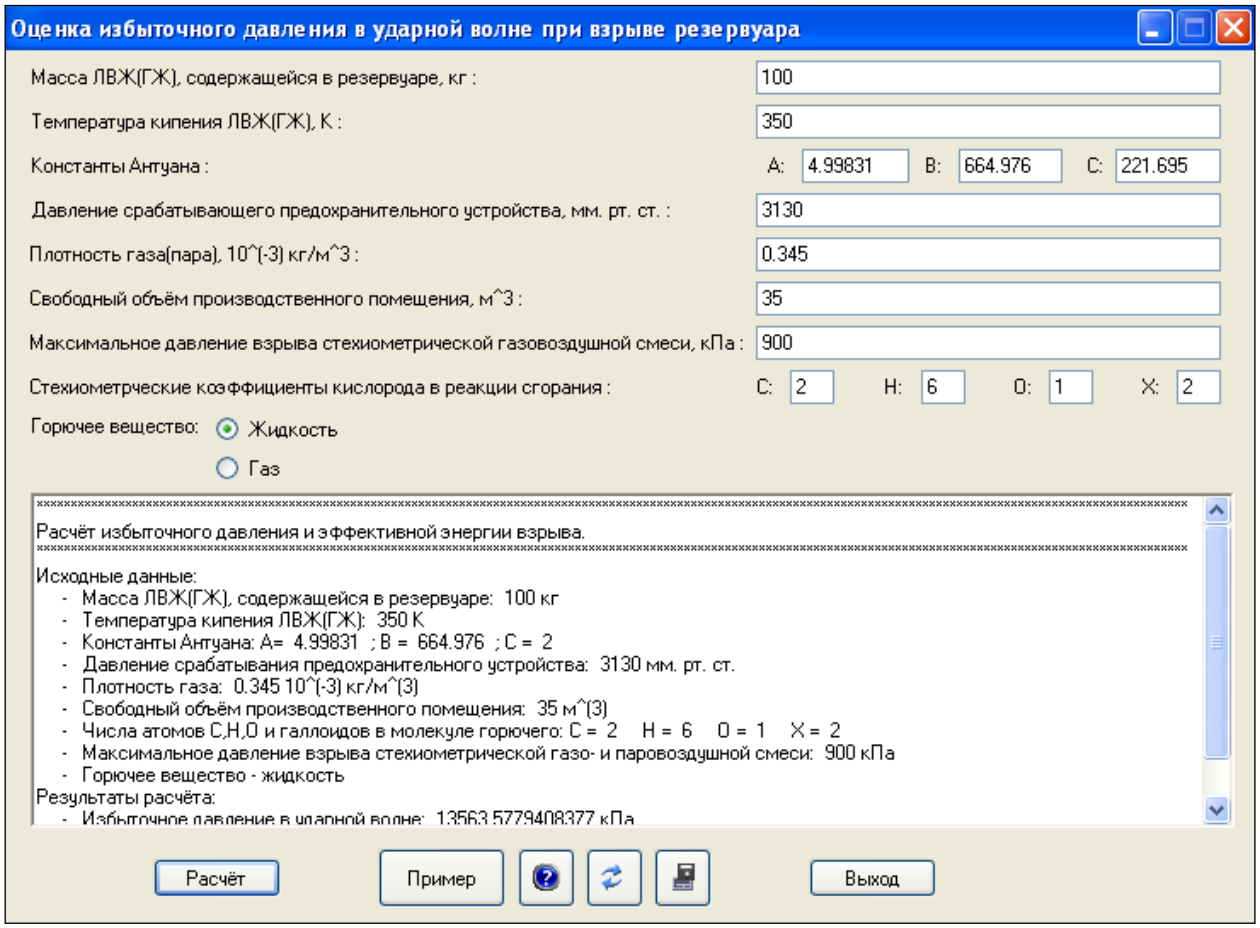

Рис. 4.8**.** Оцінка надлишкового тиску в ударній хвилі при вибуху резервуара

Результати роботи програми:

- Надлишковий тиск в ударній хвилі: 13563,57 кПа
- Ефективна енергія вибуху: 7197,82 кДж

Оцінка інтенсивності теплового випромінювання

а) Розглянемо оцінку інтенсивності теплового випромінювання у випадку “пожару пролива” на наступних вихідних даних:

- Середньоповерхнева інтенсивність випромінювання : 40 кВт/м^2
- Площа розливу: 50 м^2
- Відстань від геометричного центру розливу до опроміненого об’єкту: 25 м
- густина отчуючого повітря: 1,15 кг/м^3
- Тип горячої рідини: бензин, керосин, мазут, нафта

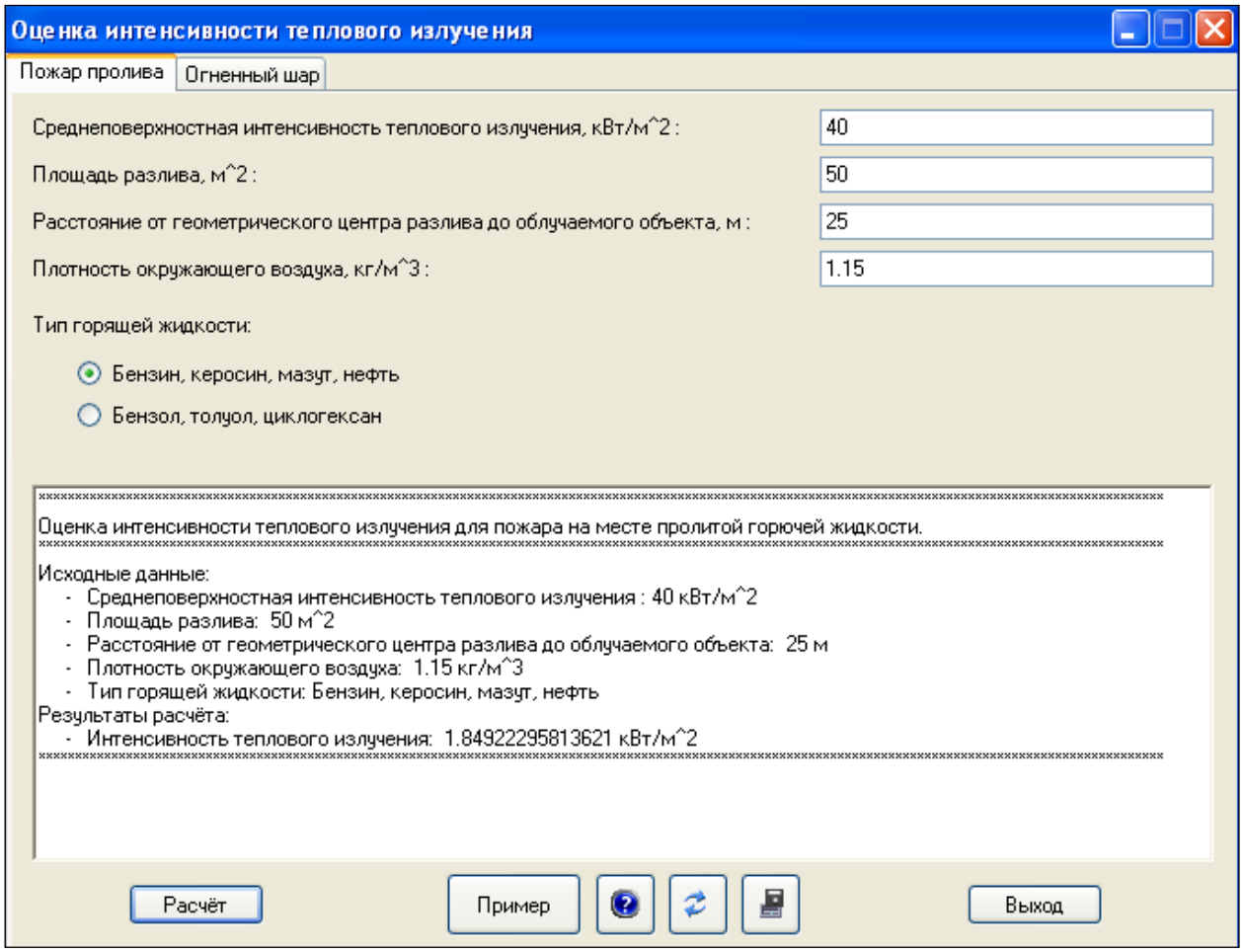

Рис. 4.9. Оцінка інтенсивності теплового випромінювання у випадку “пожару пролива”

Результати роботи програми:

- Інтенсивність теплового опромінення: 1,849 кВт/м^2

б) Розглянемо оцінку інтенсивності теплового випромінювання у випадку “вогненного шару” на наступних вихідних даних:

- Висота центру “вогненного шару”: 500 м
- Маса ЛЗР(ГР) у вогненному шарі : 1000 кг
- Відстань від опроміненого об’єкта до центру “вогненного шару” :100 м

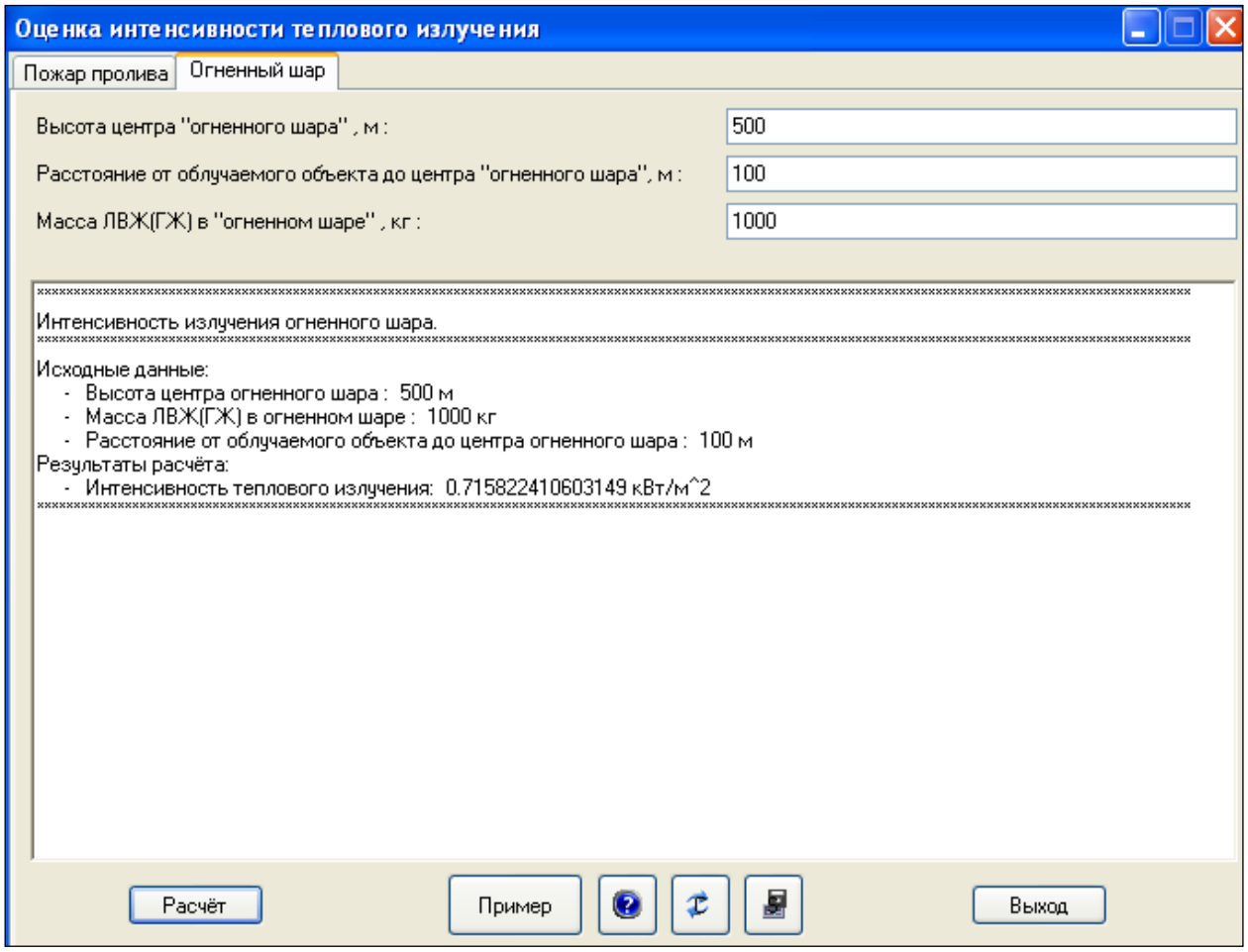

Рис. 4.10. Оцінка інтенсивності теплового випромінювання у випадку “вогненного шару”

Результати роботи програми:

- Інтенсивність теплового опромінення: 0.7158 кВт/м^2

Випаровування рідини з розливів

Розглянемо моделювання випаровування рідини з розливів на наступних вихідних даних:

- Молярна маса : 80 кг/кмоль
- Коефецієнт інтенсивності: 2,4
- Тиск насичених парів рідини : 2 кПа

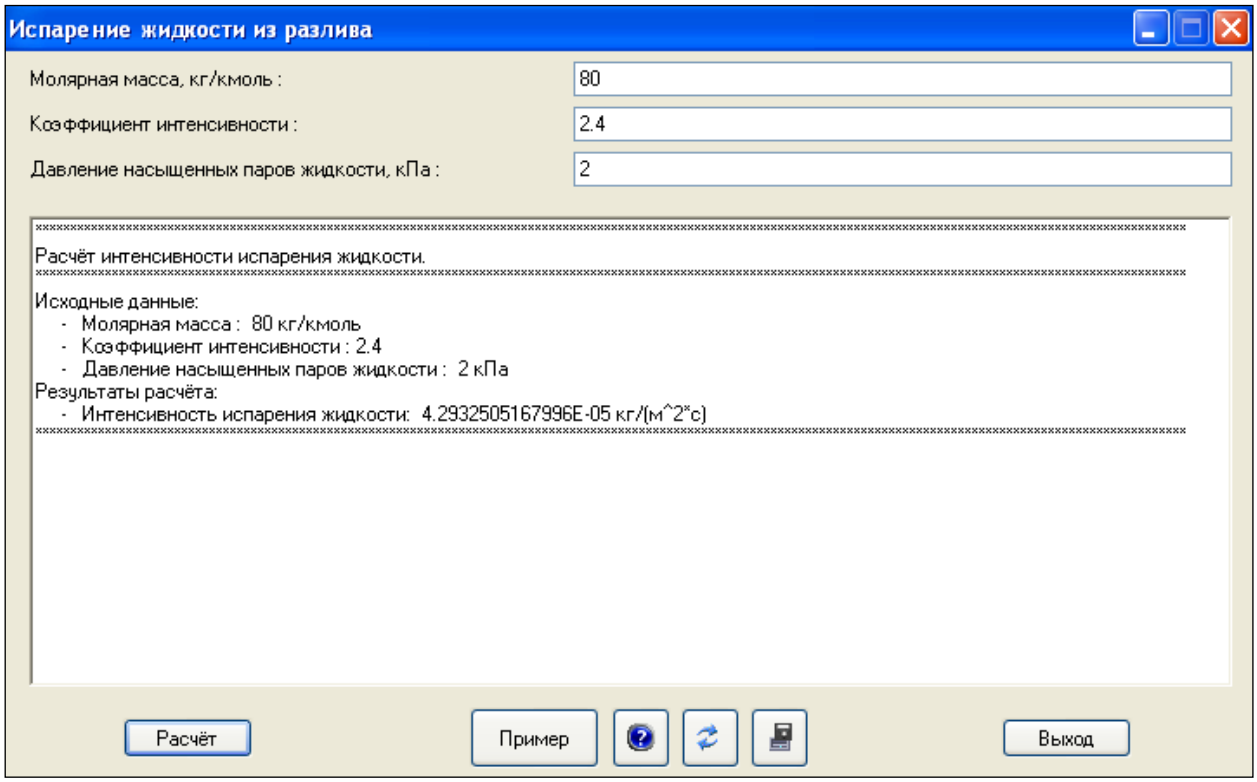

Рис. 4.11. Моделювання випаровування рідини з розливів

Результати роботи програми:

- Інтенсивність випаровування рідини: 4.293E-05 кг/(м^2*с)

Утворення пароповітряної хмари

Розглянемо моделювання утворення пароповітряної хмари на наступних вихідних даних:

- Координати точки розрахунку, м: X=770; Y=15; Z=1
- Інтенсивність випаровування рідини: 0.00065 кг/(м^2*с)
- Площа випаровування: 150 м^2
- Час утворення елементарного об’єму: 2 с
- Швидкість вітру: 0,5 м/с
- Час від початку випаровування: 1500 с

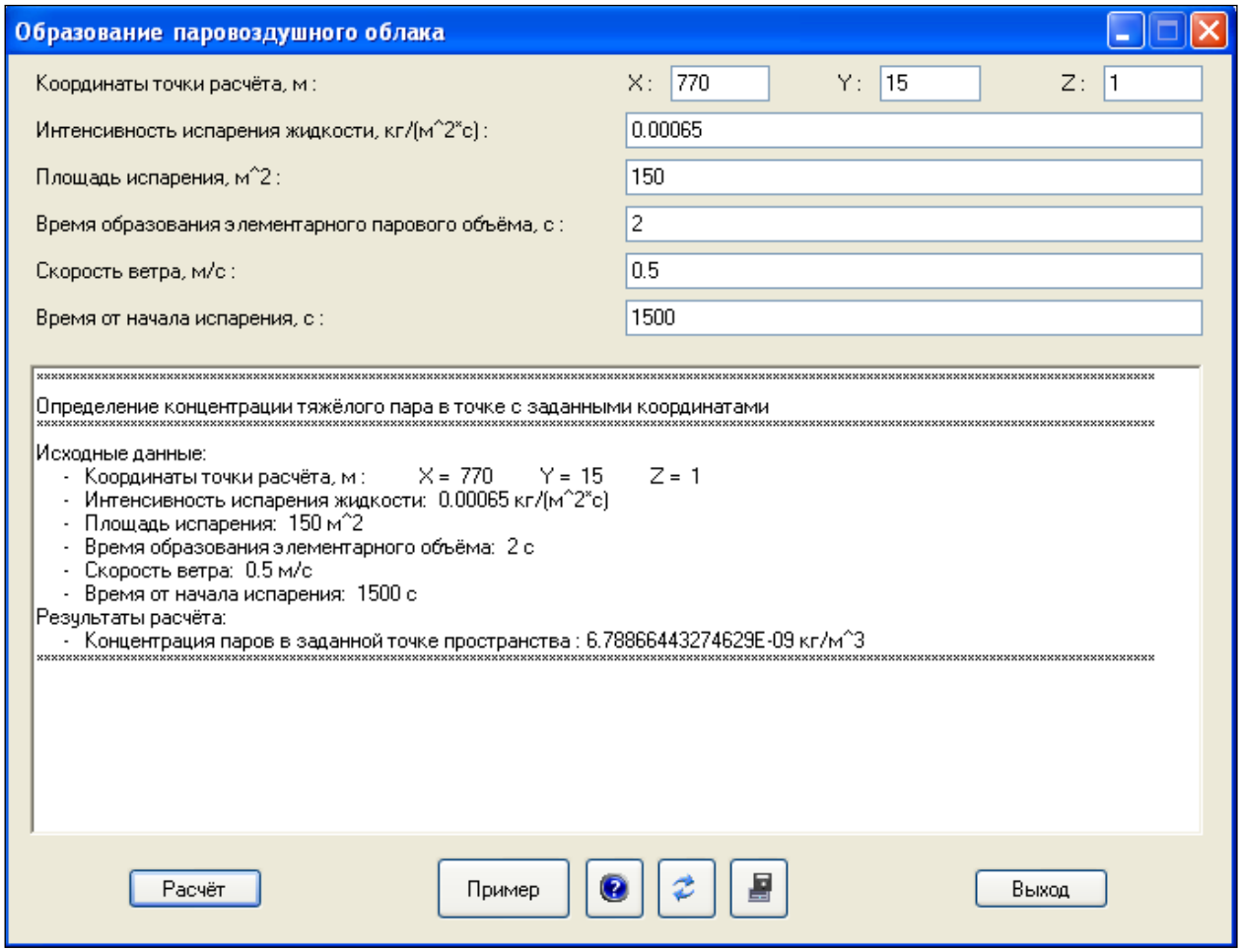

Рис. 4.12. Моделювання утворення пароповітряної хмари

Результати роботи програми:

- Концентрація парів в заданій точці простору : 6.79E-09 кг/м^3

Вибух пароповітряної суміші в резервуарі або виробничому приміщенні

Розглянемо моделювання вибуху пароповітряної суміші в резервуарі або виробничому приміщенні на наступних вихідних даних:

- Нормальна швидкість горіння парів : 1,4 м/с
- Об’єм сосуда, в якому проходить горіння пароповітряної суміші: 1,5 м^3
- Швидкість звуку в пароповітряній суміші : 300 м/с
- Показник адібати продукта горіння: 1,35
- Показник адіабати незгорівшої суміши: 1,25

- Коефіцієнт витікання : 0,8
- Початковий тиск парогазового середовища : 100000 Па
- Початкова температура парогазового середовища : 313 К

•Коефіцієнт розширення продуктів згорання : 5

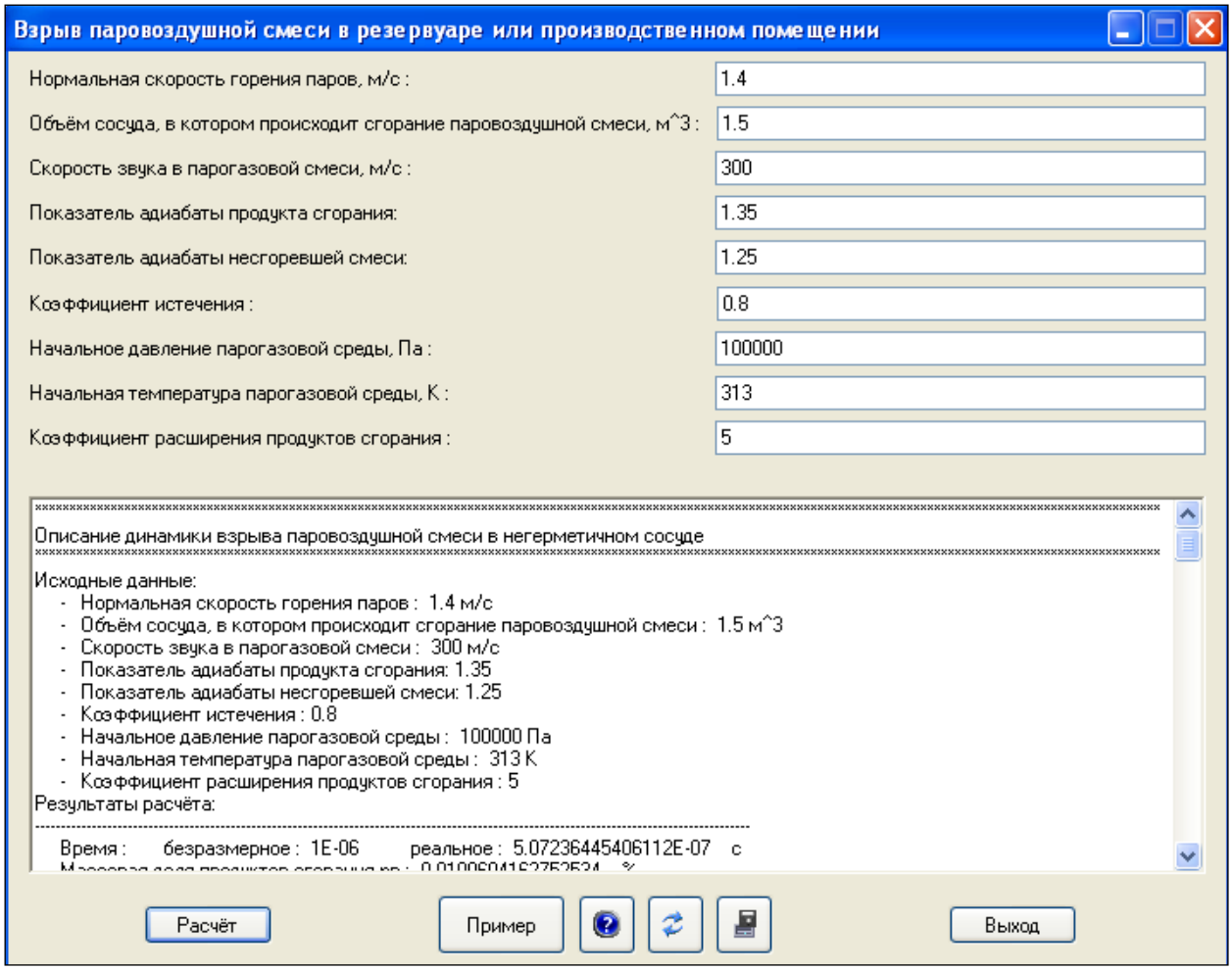

Рис. 4.13. Моделювання вибуху пароповітряної суміші в резервуарі або виробничому приміщенні

Результати роботи програми приведені в додатку Б. На рис. 4.14 приведені графічні залежності температури та тиску в об’ємі, концентрацій продуктів горіння та незгорівшої суміші.

Для розв’язку моделі потрібно отримати розв’язок системи диференційних рівнянь, для цього був застосований метод Рунге-Кутта.

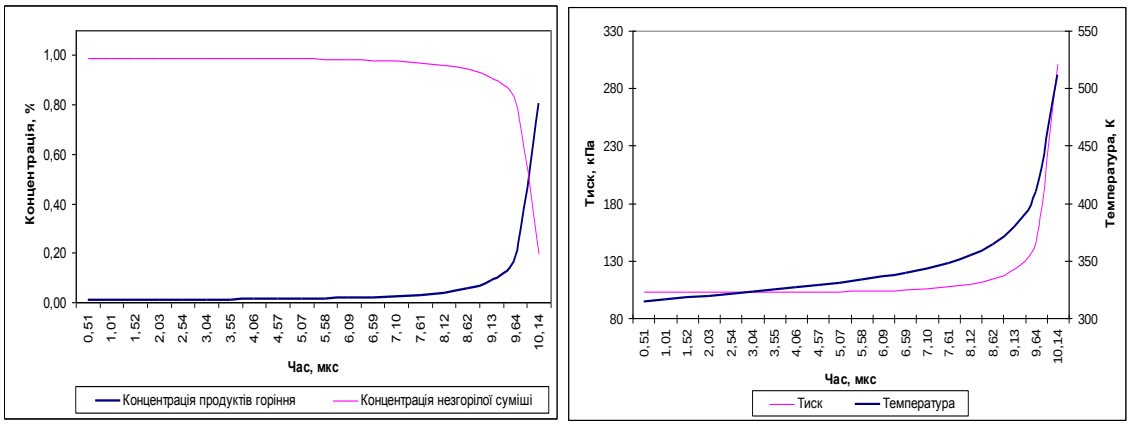

Рис. 4.14. Графіки залежностей температури та тиску в об’ємі, концентрацій продуктів горіння та незгорівшої суміші

Смолоскипове горіння струменя рідини

Розглянемо моделювання смолоскипового горіння струменя рідини на наступних вихідних даних:

- Діаметр отвору, крізь який проходить витікання рідини : 0,02 м
- Швидкість витікання рідини через отвір : 20 м/с

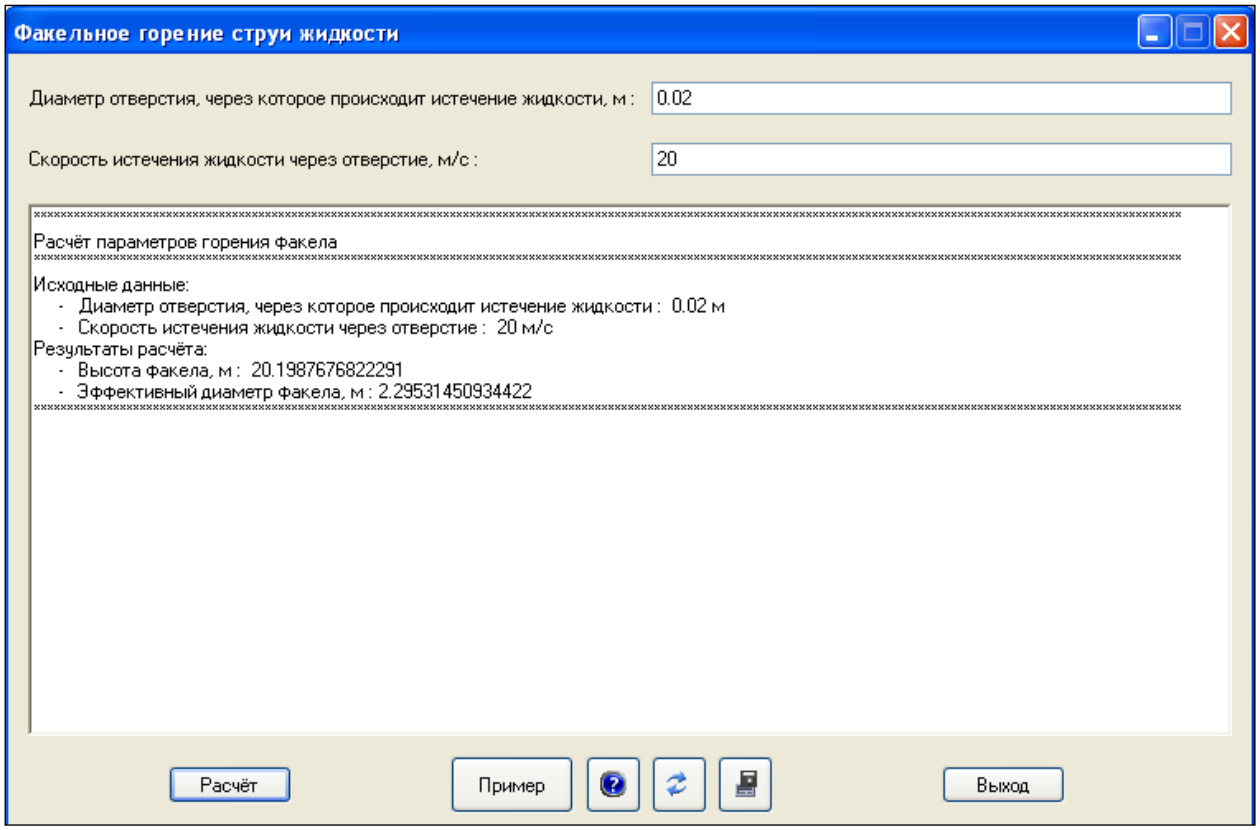

Рис. 4.14. Моделювання смолоскипового горіння струменя рідини

Результати роботи програми:

- Висота факела, м : 20,19
- Ефективний діаметр факела, м : 2,29

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ ДО РОБОТИ № 4

1. Які явища повинні враховуватись при моделюванні фізичних процесів, що протікають при аваріях?
2. При моделюванні розвитку аварій на складах нафти й нафтопродуктів необхідно оцінювати?
3. Які вводяться допущення в процесі витікання рідини з отвору в резервуарі, оточеному валом?
4. Які приймаються припущення для запису математичної моделі що дозволяє оцінити частку рідини, що перелилася через вал при квазіміттєвому руйнуванні резервуара?
5. Які умови треба врахувати для оцінки кількість речовин, що надходять у замкнутий або вільний простір, які можуть утворити вибухонебезпечні пароповітряні суміші або протоки горючих рідин?
6. За яким співвідношенням слід проводити оцінку максимальних розмірів вибухонебезпечних зон, що утворяться при виході ЛЗР або парів горючої рідини в навколишній простір при аварії у виробничому приміщенні у формі прямокутного паралелепіпеда з відношенням довжини (L, м) до ширини (S, м) не більше 5?
7. За якою формулою визначається надлишковий тиск в ударній хвилі при вибуху горючих газів, парів легкозаймистих і горючих рідин?
8. Що називають константою Антуана?
9. Що називають вогненною кулею?
10. Що називають розливом небезпечної хімічної речовини (НХР)?
11. Що називають пожежею проливу?.
12. Про що свідчить аналіз результатів проведених розрахунків й аварій, що відбулися, та які супроводжувалися утворенням осколків?

13. Яку теорію покладено в основу моделі випаровування?
14. Які умови приймаються в моделі утворення пароповітряної хмари?
15. Які основні припущення покладені в основі математичної моделі розрахунку динаміки вибуху й максимального тиску вибуху?

Додаток А

Результати комп’ютерного моделювання вибуху пароповітряної суміші в резервуарі або виробничому приміщенні

Описание динамики взрыва паровоздушной смеси в негерметичном сосуде
****
****

Исходные данные:

- Нормальная скорость горения паров : 1.4 м/с
- Объём сосуда, в котором происходит сгорание паровоздушной смеси : 1.5 м^3
- Скорость звука в парогазовой смеси : 300 м/с
- Показатель адиабаты продукта сгорания: 1.35
- Показатель адиабаты несгоревшей смеси: 1.25
- Коэффициент истечения : 0.8
- Начальное давление парогазовой среды : 100000 Па
- Начальная температура парогазовой среды : 313 K
- Коэффициент расширения продуктов сгорания : 5

Результаты расчёта:

Время : безразмерное : 1E-06 реальное : 5.07236445406112E-07 c
Массовая доля продуктов сгорания пр : 0.0100604162752534 %
Массовая доля несгоревшей смеси пс : 0.989939542262923 %
Безразмерное давление рр : 0.987751743079653
Температура газа : 314.558850374013 K
Давление в объёме : 102515.104068813 Па

Время : безразмерное : 2E-06 реальное : 1.01447289081222E-06 c
Массовая доля продуктов сгорания пр : 0.0101501122792885 %
Массовая доля несгоревшей смеси пс : 0.989849804873158 %
Безразмерное давление рр : 0.987809162686472
Температура газа : 316.139292925251 K
Давление в объёме : 102537.528069822 Па

Время : безразмерное : 3E-06 реальное : 1.52170933621834E-06 c
Массовая доля продуктов сгорания пр : 0.0102772322639366 %
Массовая доля несгоревшей смеси пс : 0.989722643598509 %
Безразмерное давление рр : 0.987879791660162
Температура газа : 317.74736867793 K
Давление в объёме : 102569.308065984 Па

Время : безразмерное : 4E-06 реальное : 2.02894578162445E-06 c
Массовая доля продуктов сгорания пр : 0.0104529825540852 %
Массовая доля несгоревшей смеси пс : 0.989546852136434 %
Безразмерное давление рр : 0.987965419811159
Температура газа : 319.390980522933 K
Давление в объёме : 102613.245638521 Па

Время : безразмерное : 5E-06 реальное : 2.53618222703056E-06 c
Массовая доля продуктов сгорания пр : 0.0106919087500283 %
Массовая доля несгоревшей смеси пс : 0.989307884912196 %
Безразмерное давление рр : 0.988068234982208
Температура газа : 321.080461653427 K
Давление в объёме : 102672.977187507 Па

Время : безразмерное : 6E-06 реальное : 3.04341867243667E-06 c
Массовая доля продуктов сгорания пр : 0.0110131790527235 %
Массовая доля несгоревшей смеси пс : 0.988986573754372 %
Безразмерное давление рр : 0.988190936789283
Температура газа : 322.82936361729 K
Давление в объёме : 102753.294763181 Па

Время : безразмерное : 7E-06 реальное : 3.55065511784278E-06 c
Массовая доля продуктов сгорания пр : 0.0114424816309252 %
Массовая доля несгоревшей смеси пс : 0.988557230528723 %
Безразмерное давление рр : 0.988336896904847
Температура газа : 324.655569692632 K
Давление в объёме : 102860.620407731 Па

Время : безразмерное : 8E-06 реальное : 4.0578915632489E-06 c
Массовая доля продуктов сгорания пр : 0.0120149075049611 %
Массовая доля несгоревшей смеси пс : 0.987984764255757 %

Безразмерное давление pp : 0.98851038897445
Температура газа : 326.582903340107 K
Давление в объёме : 103003.72687624 Па

Время : безразмерное : 9E-06 реальное : 4.56512800865501E-06 c
Массовая доля продуктов сгорания пр : 0.012779464625339 %
Массовая доля несгоревшей смеси пс : 0.98722016703396 %
Безразмерное давление pp : 0.988716925864568
Температура газа : 328.643512813566 K
Давление в объёме : 103194.866156335 Па

Время : безразмерное : 1E-05 реальное : 5.07236445406112E-06 c
Массовая доля продуктов сгорания пр : 0.0138063922531643 %
Массовая доля несгоревшей смеси пс : 0.986193199661957 %
Безразмерное давление pp : 0.988963767920175
Температура газа : 330.881514407612 K
Давление в объёме : 103451.598063291 Па

Время : безразмерное : 1.1E-05 реальное : 5.57960089946723E-06 c
Массовая доля продуктов сгорания пр : 0.0151994940752556 %
Массовая доля несгоревшей смеси пс : 0.984800058527135 %
Безразмерное давление pp : 0.989260714170272
Температура газа : 333.35875820668 K
Давление в объёме : 103799.873518814 Па

Время : безразмерное : 1.2E-05 реальное : 6.08683734487334E-06 c
Массовая доля продуктов сгорания пр : 0.0171179392061586 %
Массовая доля несгоревшей смеси пс : 0.982881574609226 %
Безразмерное давление pp : 0.989621382934279
Температура газа : 336.164342353208 K
Давление в объёме : 104279.48480154 Па

Время : безразмерное : 1.3E-05 реальное : 6.59407379027946E-06 c
Массовая доля продуктов сгорания пр : 0.0198170690591694 %
Массовая доля несгоревшей смеси пс : 0.980182406618005 %
Безразмерное давление pp : 0.990065385370923
Температура газа : 339.431126314085 K
Давление в объёме : 104954.267264792 Па

Время : безразмерное : 1.4E-05 реальное : 7.10131023568557E-06 c
Массовая доля продуктов сгорания пр : 0.0237304007725495 %
Массовая доля несгоревшей смеси пс : 0.976269037581386 %
Безразмерное давление pp : 0.99062223869209
Температура газа : 343.366239150551 K
Давление в объёме : 105932.600193137 Па

Время : безразмерное : 1.5E-05 реальное : 7.60854668109168E-06 c
Массовая доля продуктов сгорания пр : 0.0296500471854899 %
Массовая доля несгоревшей смеси пс : 0.970349354894453 %
Безразмерное давление pp : 0.991338959280345
Температура газа : 348.312103660372 K
Давление в объёме : 107412.511796372 Па

Время : безразмерное : 1.6E-05 реальное : 8.11578312649779E-06 c
Массовая доля продуктов сгорания пр : 0.039174161027629 %
Массовая доля несгоревшей смеси пс : 0.960825206177377 %
Безразмерное давление pp : 0.992296312019734
Температура газа : 354.881960778602 K
Давление в объёме : 109793.540256907 Па

Время : безразмерное : 1.7E-05 реальное : 8.62301957190391E-06 c
Массовая доля продуктов сгорания пр : 0.0560168626206546 %
Массовая доля несгоревшей смеси пс : 0.943982471674841 %
Безразмерное давление pp : 0.99364854689984
Температура газа : 364.307495021613 K
Давление в объёме : 114004.215655164 Па

Время : безразмерное : 1.8E-05 реальное : 9.13025601731002E-06 c
Массовая доля продуктов сгорания пр : 0.090915477487277 %
Массовая доля несгоревшей смеси пс : 0.909083826902636 %
Безразмерное давление pp : 0.995741272125622
Температура газа : 379.539912284865 K
Давление в объёме : 122728.869371819 Па

Время : безразмерное : 1.9E-05 реальное : 9.63749246271613E-06 c

Массовая доля продуктов сгорания np : 0.189366471011112 %
Массовая доля несгоревшей смеси nc : 0.810632808860758 %
Безразмерное давление pp : 0.99958722943089
Температура газа : 410.130945921281 K
Давление в объёме : 147341.617752778 Па

Время : безразмерное : 2E-05 реальное : 1.01447289081222E-05 c
Массовая доля продуктов сгорания np : 0.804416873902949 %
Массовая доля несгоревшей смеси nc : 0.195582398318826 %
Безразмерное давление pp : 1.01033536965887
Температура газа : 511.288362351576 K
Давление в объёме : 301104.218475737 Па

Взрыв окончен

****

Додаток Б

Варіанти індивідуальних завдань

Варіант 1

1)Розрахувати витік рідини з отвору резервуарі.
Початкові дані:
- Щільність рідини:1200(кг/м^3)
- Коефіцієнт витікання:0,7
- Площа отвору:0,002 (м^2)
- Висота отвору над поверхнею землі: 20 (м)
- Площа перерізу резервуара: 80 (м^2)
- Початкова висота стовпа рідини в резервуарі: 30 (м)
- Висота вала: 10 (м)
- Відстань від стінки резервуара до вала: 12 (м)

Розрахувати:
- Час, протягом якого рідина переливається через вал: (с)
- Кількість рідини (кг), яка перелилась через вал за повне час витоку

2) Визначити максимальний розмір вибухонебезпечних зон.
Початкові дані:
- Час повного випаровування рідини: 600(с)
- Нижня концентраційна межа поширення полум'я: 2% об.
- Щільність пари: 2 (кг/м^3)
- Тиск насичених парів рідини: 12 (кПа)
- Площа випаровування: 25 (м^2)
- Молярна маса парів:90 (кг/кмоль)
- Вільний об'єм приміщення: 60(м^3)
- Рухливість повітряного середовища: 2 (м/с)
- Габарити приміщення (м):

L = 30; S = 20; H =2,5

Розрахувати:
- Максимальні розміри вибухонебезпечної зони (м) які утворюються при виході ЛЗР або парів горючої рідини в навколишній простір при аварії в приміщенні.

3) Розрахувати інтенсивність випаровування рідини
Початкові дані:
- Молярна маса: 80(кг/кмоль)
- Коефіцієнт інтенсивності: 2,8
- Тиск насичених парів рідини: 4 (кПа)

Розрахувати:
- Інтенсивність випаровування рідини (кг/(м^{2}с)

Варіант 2

1)Визначення маси горючих рідин, що надійшла в навколишній простір при аварії.

а) при розгерметизації наземного резервуара:

Початкові дані:

- Щільність ЛЗР: 0,5 (кг/м^3)
- Номінальний обсяг резервуара: 3 (м^3)

Розрахувати:

- Маса ЛЗР (або ГР), які поступили в навколишній простір при аварії (кг)

б) при розгерметизації трубопроводу

Початкові дані:

- Щільність ЛЗР: 0,4 (кг/м^3)
- Продуктивність насоса: 50 кг/с
- Сумарна довжина трубопроводу: 50 (м)
- Діаметр трубопроводу: 0,15(м)
- Напір стовпа рідини в резервуарі: 1500 (Па)
- Розрахунковий час відключення трубопроводу: 15(с)
- Висота стовпа рідини: 2,5(м)

Розрахувати:

- Маса ЛЗР (ГР), що надійшла самопливом при розгерметизації трубопроводу (кг):
- Маса у випадку відсутності зворотного потоку рідини з резервуара: (кг)
- Маса у випадку виникнення зворотного потоку рідини з резервуара (кг)

в) Визначення площі розливу

Початкові дані:

- Маса ЛЗР, що надійшла в навколишній простір: 1,3 (кг)
- Коефіцієнт локалізації ЛЗР: 0,2 (м^2/кг)

Розрахувати:

- Площу розливу ЛЗР (ГР) (м^2)

2)Розрахувати розтікання рідини при квазімитевому руйнуванні резервуара.

Початкові дані :

- Початкова висота стовпа рідини: 9 (м)
- Висота валу: 12 (м)
- Радіус резервуара: 3 (м)
- Час розливу: 2 с
- Щільність рідини: 1200 (кг/м^3)

Розрахувати:

- Масову частку рідини, перелиту через вал (%)

3) Розрахувати параметри факельного горіння струї рідини.

Початкові дані:

- Діаметр отвору, через яке відбувається витікання рідини: 0,01 (м)
- Швидкість витікання рідини через отвір: 18 (м/с)

Розрахувати:

- Висоту факела, м
- Ефективний діаметр факела, м

Варіант 3

1)Розрахувати надлишковий тиск в ударній хвилі при вибуху горючих газів.

Початкові дані:

- Тиск в апараті: 8 (кПа)
- Об’єм апарату: 4 ($м^3$)
- Витрата газу: 0,1 ($м^3/с$)
- Розрахунковий час відключення обладнання: 3 (с)
- Максимальний тиск в трубопроводі: 12 (кПа)
- Щільність газу: 0,4 ($кг/м^3$)
- Вільний обсяг виробничого приміщення: 30 ($м^3$)
- Максимальний тиск вибуху стехіометричної газо- і пароповітряної суміші: 900 (кПа)
- Числа атомів С, Н, О і галлоідів в молекулі пального:

  С = 2; Н = 6; О = 1; Х = 2
- Довжини і радіуси і-тої ділянки трубопроводу, м:
  - l (1) = 5; r (1) = 0.4
  - l (2) = 15; r (2) = 0.12
- Пальна речовина – рідина
- Пальна речовина - газ

Розрахувати:

- Масу пального газу, що надійшов при аварії в виробниче приміщення, кг.
- Надмірний тиск вибуху, кПа.

2) Розрахувати утворення пароповітряної хмари.

Початкові дані:

- Координати точки розрахунку, м: X = 770 Y = 15 Z = 1
- Інтенсивність випаровування рідини: 0,0007 ($кг/м^2с$)
- Площа випаровування: 100 ($м^2$)
- Час освіти елементарного об'єму: 3 (с)
- Швидкість вітру: 0,6 (м/с)
- Час від початку випаровування: 1000 (с)

Розрахувати:

- Концентрацію парів в заданій точці простору, $кг/м^3$

3) Розрахувати інтенсивність випаровування рідини.

Початкові дані:

- Молярна маса: 60(кг/кмоль)
- Коефіцієнт інтенсивності: 2,5
- Тиск насичених парів рідини: 4 (кПа)

Розрахувати:

- Інтенсивність випаровування рідини ($кг/(м^2с)$

Варіант 4

1)Розрахунок надлишкового тиску в ударній хвилі при вибуху резервуара.
Початкові дані:

- Маса ЛЗР (ГР), що міститься в резервуарі: 120 (кг)
- Температура кипіння ЛЗР (ГР): 300 (К)
- Константи Антуана: A = 4,99831; B = 664,976; C = 221,695
- Тиск спрацьовування запобіжного пристрою: 3130 (мм.рт.ст.)
- Щільність газу: 0,3 (кг/м^3)
- Вільний обсяг виробничого приміщення: 40 (м^3)
- Числа атомів C, H, O і галлоідов в молекулі пального: C = 2 H = 6 O = 1 X = 2
- Максимальний тиск вибуху стехіометричної газо- і пароповітряної суміші: 800 (кПа)
- Пальне речовина – рідина
- Пальне речовина – газ

Розрахувати:

- Надмірний тиск в ударній хвилі, кПа
- Ефективну енергію вибуху, кДж

2) Розрахувати вибух пароповітряної суміші в резервуарі або виробничому приміщені.
Початкові дані:

- Нормальна швидкість горіння парів: 2 (м/с)
- Обсяг судини, в якому відбувається згорання пароповітряної суміші: 1 (м^3)
- Швидкість звуку в парогазової суміші: 280 (м/с)
- Показник адіабати продукту згоряння: 1,4
- Показник адіабати незгорівшої суміші: 1,25
- Коефіцієнт закінчення: 0,9
- Початковий тиск парогазової середовища: 120000 (Па)
- Початкова температура парогазової середовища: 320 (К)
- Коефіцієнт розширення продуктів згоряння: 4

Розрахувати:

- Час: безрозмірний та реальний, с
- Масову частку продуктів згоряння *пр, %*
- Масову частку незгорівшої суміші *пс,%*
- Безрозмірний тиск *рр.*
- Температуру газу, К
- Тиск в об’ємі, Па

3) Розрахувати параметри факельного горіння струї рідини.
Початкові дані:

- Діаметр отвору, через яке відбувається витікання рідини: 0,03 (м)
- Швидкість витікання рідини через отвір: 35 (м/с)

Розрахувати:

- Висоту факела, м
- Ефективний діаметр факела, м

Варіант 5

1)Розрахувати витік рідини з отвору резервуарі.
Початкові дані:

- Щільність рідини:1500(кг/м^3)
- Коефіцієнт витікання:1
- Площа отвору:0,002 (м^2)
- Висота отвору над поверхнею землі: 20 (м)
- Площа перерізу резервуара: 100 (м^2)
- Початкова висота стовпа рідини в резервуарі: 30 (м)
- Висота вала: 15 (м)
- Відстань від стінки резервуара до вала: 1 (м)

Розрахувати:

- Час, протягом якого рідина переливається через вал: (с)
- Кількість рідини (кг), яка перелилась через вал за повне час витоку

2) оцінити інтенсивність теплового випромінювання.
Початкові дані:
а) при пожежі витоку:

- Середньоповерхнева інтенсивність теплового випромінювання: 35 (кВт/м^2)
- Площа розливу: 50(м^2)
- Відстань від геометричного центру розливу до об'єкта, що опромінюється: 30 (м)
- Щільність навколишнього повітря: 1,2 (кг/м^3)
- Тип рідини, що горить: Бензин, гас, мазут, нафту
- Тип рідини, що горить: Бензол, толуол, циклогексан

б) у разі вогняної кулі:

- висота центра вогненної кулі: 450 (м)
- маса ЛЗР (або ГР) у вогненній кулі: 1200 (кг)
- відстань від випромінювального об’єкта до центра вогненної кулі: 120 (м)

Розрахувати:

- Інтенсивність теплового випромінювання, кВт/м^2

3) Розрахувати інтенсивність випаровування рідини.
Початкові дані:

- Молярна маса: 60(кг/кмоль)
- Коефіцієнт інтенсивності: 2,1
- Тиск насичених парів рідини: 2 (кПа)

Розрахувати:

- Інтенсивність випаровування рідини (кг/(м^{2}с)

Варіант 6

1) Визначити максимальний розмір вибухонебезпечних зон.

Початкові дані:

- Час повного випаровування рідини: 1500(с)
- Нижня концентраційна межа поширення полум'я: 2% об.
- Щільність пари: 2 (кг/м^3)
- Тиск насичених парів рідини: 10 (кПа)
- Площа випаровування: 30 (м^2)
- Молярна маса парів:90 (кг/кмоль)
- Вільний об'єм приміщення: 50(м^3)
- Рухливість повітряного середовища: 5 (м/с)
- Габарити приміщення (м):

L = 30; S = 20; H =2,5

Розрахувати:

- Максимальні розміри вибухонебезпечної зони (м) які утворюються при виході ЛЗР або парів горючої рідини в навколишній простір при аварії в приміщенні.

2)Розрахувати розтікання рідини при квазімитевому руйнуванні резервуара.

Початкові дані :

- Початкова висота стовпа рідини: 9 (м)
- Висота валу: 10 (м)
- Радіус резервуара: 2 (м)
- Час розливу: 7 с
- Щільність рідини: 1500 (кг/м^3)

Розрахувати:

- Масову частку рідини, перелиту через вал (%)

3) Розрахувати інтенсивність випаровування рідини.

Початкові дані:

- Молярна маса: 80(кг/кмоль)
- Коефіцієнт інтенсивності: 2,1
- Тиск насичених парів рідини: 3(кПа)

Розрахувати:

- Інтенсивність випаровування рідини (кг/(м^{2}с)

Варіант 7

1)Розрахувати витік рідини з отвору резервуарі.

Початкові дані:

- Щільність рідини:1000(кг/м^3)
- Коефіцієнт витікання:0,7
- Площа отвору:0,0015 (м^2)
- Висота отвору над поверхнею землі: 15 (м)
- Площа перерізу резервуара: 80 (м^2)
- Початкова висота стовпа рідини в резервуарі:40 (м)
- Висота вала: 10 (м)
- Відстань від стінки резервуара до вала: 20 (м)

Розрахувати:

- Час, протягом якого рідина переливається через вал: (с)
- Кількість рідини (кг), яка перелилась через вал за повне час витоку

2)Визначення маси горючих рідин, що надійшла в навколишній простір при аварії.

а) при розгерметизації наземного резервуара:

Початкові дані:

- Щільність ЛЗР: 0,35 (кг/м^3)
- Номінальний обсяг резервуара : 3 (м^3)

Розрахувати:

- Маса ЛЗР (або ГР), які поступили в навколишній простір при аварії (кг)

б) при розгерметизації трубопроводу

Початкові дані:

- Щільність ЛЗР: 0,5 (кг/м^3)
- Продуктивність насоса: 50кг/с
- Сумарна довжина трубопроводу: 50 (м)
- Діаметр трубопроводу: 0,2(м)
- Напір стовпа рідини в резервуарі: 2000(Па)
- Розрахунковий час відключення трубопроводу: 20(с)
- Висота стовпа рідини: 3,5 (м)

Розрахувати:

- Маса ЛЗР (ГР), що надійшла самопливом при розгерметизації трубопроводу (кг):
- Маса у випадку відсутності зворотного потоку рідини з резервуара: (кг)
- Маса у випадку виникнення зворотного потоку рідини з резервуара (кг)

в) Визначення площі розливу

Початкові дані:

- Маса ЛЗР, що надійшла в навколишній простір: 1,5 (кг)
- Коефіцієнт локалізації ЛЗР: 0,15 (м^2/кг)

Розрахувати:

- Площу розливу ЛЗР (ГР) (м^2)

3) Розрахувати утворення пароповітряної хмари.

Початкові дані:

- Координати точки розрахунку, м: X = 770 Y = 15 Z = 1
- Інтенсивність випаровування рідини: 0,0006 (кг/м^{2}с)
- Площа випаровування: 120 (м^2)
- Час освіти елементарного об'єму: 2 (с)
- Швидкість вітру: 0,6 (м/с)
- Час від початку випаровування: 1200 (с)

Розрахувати:

- Концентрацію парів в заданій точці простору, кг/м^3

Варіант 8

1)Розрахувати надлишковий тиск в ударній хвилі при вибуху горючих газів.

Початкові дані:

- Тиск в апараті: 9 (кПа)
- Об'єм апарату: 5 ($м^3$)
- Витрата газу: 0,2 ($м^3/с$)
- Розрахунковий час відключення обладнання: 2 (с)
- Максимальний тиск в трубопроводі: 14 (кПа)
- Щільність газу: 0,45 ($кг/м^3$)
- Вільний обсяг виробничого приміщення: 40 ($м^3$)
- Максимальний тиск вибуху стехіометричної газо- і пароповітряної суміші: 800 (кПа)
- Числа атомів С, Н, О і галлоідів в молекулі пального:
  C = 2; H = 6; O = 1; X = 2
- Довжини і радіуси і-тої ділянки трубопроводу, м: l (1) = 5; r (1) = 0.4
  l (2) = 15; r (2) = 0.12
- Пальна речовина – рідина, газ
- Розрахувати:Масу пального газу, що надійшов при аварії в виробниче приміщення, кг.
- Надмірний тиск вибуху, кПа.

2) Розрахувати вибух пароповітряної суміші в резервуарі або виробничому приміщені.

Початкові дані:

- Нормальна швидкість горіння парів: 1,5 (м/с)
- Обсяг судини, в якому відбувається згорання пароповітряної суміші: 2 ($м^3$)
- Швидкість звуку в парогазової суміші: 300 (м/с)
- Показник адіабати продукту згоряння: 1,3
- Показник адіабати незгорівшої суміші: 1,25
- Коефіцієнт закінчення: 0,8
- Початковий тиск парогазової середовища: 100000 (Па)
- Початкова температура парогазової середовища: 300 (К)
- Коефіцієнт розширення продуктів згоряння: 5

Розрахувати:

- Час: безрозмірний та реальний, с
- Масову частку продуктів згоряння *пр, %*
- Масову частку незгорівшої суміші *пс,%*
- Безрозмірний тиск *рр.*
- Температуру газу, К
- Тиск в об'ємі, Па

3)Розрахувати витік рідини з отвору резервуарі.

Початкові дані:

- Щільність рідини:800($кг/м^3$)
- Коефіцієнт витікання:0,5
- Площа отвору:0,001 ($м^2$)
- Висота отвору над поверхнею землі:15 (м)
- Площа перерізу резервуара: 80 ($м^2$)
- Початкова висота стовпа рідини в резервуарі: 40 (м)
- Висота вала: 10 (м)
- Відстань від стінки резервуара до вала: 10 (м)

Розрахувати:

- Час, протягом якого рідина переливається через вал: (с)
- Кількість рідини (кг), яка перелилась через вал за повне час витоку

Варіант 9

1)Розрахунок надлишкового тиску в ударній хвилі при вибуху резервуара.
Початкові дані:

- Маса ЛЗР (ГР), що міститься в резервуарі: 100 (кг)
- Температура кипіння ЛЗР (ГР): 320 (К)
- Константи Антуана: А = 4,99831; В = 664,976; С = 221,695
- Тиск спрацьовування запобіжного пристрою: 3130 (мм.рт.ст.)
- Щільність газу: 0,4 (кг/м^3)
- Вільний обсяг виробничого приміщення: 45 (м^3)
- Числа атомів С, Н, О і галлоідов в молекулі пального: С = 2 Н = 6 О = 1 Х = 2
- Максимальний тиск вибуху стехіометричної газо- і пароповітряної суміші: 950 (кПа)
- Пальне речовина – рідина
- Пальне речовина – газ

Розрахувати:

- Надмірний тиск в ударній хвилі, кПа
- Ефективну енергію вибуху, кДж

2) Розрахувати інтенсивність випаровування рідини.
Початкові дані:

- Молярна маса: 70(кг/кмоль)
- Коефіцієнт інтенсивності: 2,1
- Тиск насичених парів рідини: 5 (кПа)

Розрахувати:

- Інтенсивність випаровування рідини (кг/(м^{2}с)

3) Розрахувати параметри факельного горіння струї рідини.
Початкові дані:

- Діаметр отвору, через яке відбувається витікання рідини: 0,01 5(м)
- Швидкість витікання рідини через отвір: 23 (м/с)

Розрахувати:

- Висоту факела, м
- Ефективний діаметр факела, м

Варіант 10

1) оцінити інтенсивність теплового випромінювання

Початкові дані:

а) при пожежі витоку:

- Середньоповерхнева інтенсивність теплового випромінювання: 30(кВт/м^2)
- Площа розливу: 40 (м^2)
- Відстань від геометричного центру розливу до об'єкта, що опромінюється: 28 (м)
- Щільність навколишнього повітря: 1.15 (кг/м^3)
- Тип рідини, що горить: Бензин, гас, мазут, нафту
- Тип рідини, що горить: Бензол, толуол, циклогексан

б) у разі вогняної кулі:

- висота центра вогненної кулі: 480 (м)
- маса ЛЗР (або ГР) у вогненній кулі:1000 (кг)
- відстань від випромінювального об’єкта до центра вогненної кулі: 80 (м)

Розрахувати:

- Інтенсивність теплового випромінювання, кВт/м^2

2) Розрахувати параметри факельного горіння струї рідини.

Початкові дані:

- Діаметр отвору, через яке відбувається витікання рідини: 0,025 (м)
- Швидкість витікання рідини через отвір: 30 (м/с)

Розрахувати:

- Висоту факела, м
- Ефективний діаметр факела, м

3)Розрахувати витік рідини з отвору резервуарі.

Початкові дані:

- Щільність рідини:1000(кг/м^3)
- Коефіцієнт витікання:0,5
- Площа отвору:0,001 (м^2)
- Висота отвору над поверхнею землі: 10 (м)
- Площа перерізу резервуара: 100 (м^2)
- Початкова висота стовпа рідини в резервуарі: 40 (м)
- Висота вала: 5 (м)
- Відстань від стінки резервуара до вала: 10 (м)

Розрахувати:

- Час, протягом якого рідина переливається через вал: (с)
- Кількість рідини (кг), яка перелилась через вал за повне час витоку

Варіант 11

1) Визначити максимальний розмір вибухонебезпечних зон.
Початкові дані:

- Час повного випаровування рідини: 1400(с)
- Нижня концентраційна межа поширення полум'я: 2% об.
- Щільність пари: 3 (кг/м^3)
- Тиск насичених парів рідини: 8 (кПа)
- Площа випаровування: 70 (м^2)
- Молярна маса парів:70(кг/кмоль)
- Вільний об'єм приміщення: 45(м^3)
- Рухливість повітряного середовища: 4 (м/с)
- Габарити приміщення (м):

L = 40; S = 25; H =3
Розрахувати:

- Максимальні розміри вибухонебезпечної зони (м) які утворюються при виході ЛЗР або парів горючої рідини в навколишній простір при аварії в приміщенні.

2) Розрахувати утворення пароповітряної хмари.
Початкові дані:

- Координати точки розрахунку, м: X = 770 Y = 15 Z = 1
- Інтенсивність випаровування рідини: 0,0008 (кг/м^{2}с)
- Площа випаровування: 150 (м^2)
- Час освіти елементарного об'єму: 4 (с)
- Швидкість вітру: 0,5 (м/с)
- Час від початку випаровування: 1300 (с)

Розрахувати:

- Концентрацію парів в заданій точці простору, кг/м^3

3) Розрахувати параметри факельного горіння струї рідини.
Початкові дані:

- Діаметр отвору, через яке відбувається витікання рідини: 0,04 (м)
- Швидкість витікання рідини через отвір: 45 (м/с)

Розрахувати:

- Висоту факела, м
- Ефективний діаметр факела, м

Варіант 12

1)Визначення маси горючих рідин, що надійшла в навколишній простір при аварії.

а) при розгерметизації наземного резервуара:

Початкові дані:

- Щільність ЛЗР: 0,4 (кг/м^3)
- Номінальний обсяг резервуара: 2 (м^3)

Розрахувати:

- Маса ЛЗР (або ГР), які поступили в навколишній простір при аварії (кг)

б) при розгерметизації трубопроводу

Початкові дані:

- Щільність ЛЗР: 0,5 (кг/м^3)
- Продуктивність насоса: 50кг/с
- Сумарна довжина трубопроводу: 80 (м)
- Діаметр трубопроводу: 0,2(м)
- Напір стовпа рідини в резервуарі: 1800(Па)
- Розрахунковий час відключення трубопроводу: 10 (с)
- Висота стовпа рідини: 4(м)

Розрахувати:

- Маса ЛЗР (ГР), що надійшла самопливом при розгерметизації трубопроводу (кг):
- Маса у випадку відсутності зворотного потоку рідини з резервуара: (кг)
- Маса у випадку виникнення зворотного потоку рідини з резервуара (кг)

в) Визначення площі розливу

Початкові дані:

- Маса ЛЗР, що надійшла в навколишній простір: 1,05 (кг)
- Коефіцієнт локалізації ЛЗР: 0,23 (м^2/кг)

Розрахувати:

- Площу розливу ЛЗР (ГР) (м^2)

2) Розрахувати вибух пароповітряної суміші в резервуарі або виробничому приміщені.

Початкові дані:

- Нормальна швидкість горіння парів: 1,8 (м/с)
- Обсяг судини, в якому відбувається згорання пароповітряної суміші: 1,5 (м^3)
- Швидкість звуку в парогазової суміші: 320 (м/с)
- Показник адіабати продукту згоряння: 1,35
- Показник адіабати незгорівшої суміші: 1,3
- Коефіцієнт закінчення: 0,7
- Початковий тиск парогазової середовища: 110000 (Па)
- Початкова температура парогазової середовища: 315 (К)
- Коефіцієнт розширення продуктів згоряння: 3

Розрахувати:

- Час: безрозмірний та реальний, с
- Масову частку продуктів згоряння *пр, %*
- Масову частку незгорівшої суміші *пс,%*
- Безрозмірний тиск *рр.*
- Температуру газу, К
- Тиск в об'ємі, Па

3) Розрахувати інтенсивність випаровування рідини.

Початкові дані:

- Молярна маса: 55(кг/кмоль)
- Коефіцієнт інтенсивності: 2,8
- Тиск насичених парів рідини: 1 (кПа)

Розрахувати: Інтенсивність випаровування рідини (кг/(м^{2}с)

Варіант 13

1)Розрахувати надлишковий тиск в ударній хвилі при вибуху горючих газів.

Початкові дані:

- Тиск в апараті: 6 (кПа)
- Об'єм апарату: 4 ($м^3$)
- Витрата газу: 0,1 ($м^3/с$)
- Розрахунковий час відключення обладнання: 5 (с)
- Максимальний тиск в трубопроводі: 9 (кПа)
- Щільність газу: 0,35 ($кг/м^3$)
- Вільний обсяг виробничого приміщення: 35 ($м^3$)
- Максимальний тиск вибуху стехіометричної газо- і пароповітряної суміші: 700 (кПа)
- Числа атомів С, Н, О і галлоідів в молекулі пального:

  C = 2; H = 6; O = 1; X = 2
- Довжини і радіуси і-тої ділянки трубопроводу, м:
  - l (1) = 5; r (1) = 0.4
  - l (2) = 15; r (2) = 0.12
- Пальна речовина – рідина
- Пальна речовина - газ
- Розрахувати:Масу пального газу, що надійшов при аварії в виробниче приміщення, кг.
- Надмірний тиск вибуху, кПа.

2)Розрахувати розтікання рідини при квазімитевому руйнуванні резервуара.

Початкові дані :

- Початкова висота стовпа рідини: 5 (м)
- Висота валу: 7 (м)
- Радіус резервуара: 1,3 (м)
- Час розливу: 3 с
- Щільність рідини: 1000 ($кг/м^3$)

Розрахувати:

- Масову частку рідини, перелиту через вал (%)

3) Розрахувати інтенсивність випаровування рідини.

Початкові дані:

- Молярна маса: 70(кг/кмоль)
- Коефіцієнт інтенсивності: 3
- Тиск насичених парів рідини: 1 (кПа)

Розрахувати:

- Інтенсивність випаровування рідини ($кг/(м^2с)$

Варіант 14

1)Розрахунок надлишкового тиску в ударній хвилі при вибуху резервуара.
Початкові дані:

- Маса ЛЗР (ГР), що міститься в резервуарі: 150 (кг)
- Температура кипіння ЛЗР (ГР): 350 (К)
- Константи Антуана: A = 4,99831; B = 664,976; C = 221,695
- Тиск спрацьовування запобіжного пристрою: 3130 (мм.рт.ст.)
- Щільність газу: 0,345 (кг/м^3)
- Вільний обсяг виробничого приміщення: 50 (м^3)
- Числа атомів C, H, O і галлоідов в молекулі пального: C = 2 H = 6 O = 1 X = 2
- Максимальний тиск вибуху стехіометричної газо- і пароповітряної суміші: 1000 (кПа)
- Пальне речовина – рідина
- Пальне речовина – газ

Розрахувати:

- Надмірний тиск в ударній хвилі, кПа
- Ефективну енергію вибуху, кДж

2) Розрахувати утворення пароповітряної хмари.
Початкові дані:

- Координати точки розрахунку, м: X = 770 Y = 15 Z = 1
- Інтенсивність випаровування рідини: 0,00065 (кг/м^{2}с)
- Площа випаровування: 140 (м^2)
- Час освіти елементарного об'єму: 5 (с)
- Швидкість вітру: 0,3 (м/с)
- Час від початку випаровування: 1500 (с)

Розрахувати:

- Концентрацію парів в заданій точці простору, кг/м^3

3) Розрахувати параметри факельного горіння струї рідини.
Початкові дані:

- Діаметр отвору, через яке відбувається витікання рідини: 0,0109 (м)
- Швидкість витікання рідини через отвір: 10 (м/с)

Розрахувати:

- Висоту факела, м
- Ефективний діаметр факела, м

Варіант 15

1) оцінити інтенсивність теплового випромінювання.

Початкові дані:

а) при пожежі витоку:

- Середньоповерхнева інтенсивність теплового випромінювання: 40 (кВт/м^2)
- Площа розливу: 55 (м^2)
- Відстань від геометричного центру розливу до об'єкта, що опромінюється: 10(м)
- Щільність навколишнього повітря: 1,15 (кг/м^3)
- Тип рідини, що горить: Бензин, гас, мазут, нафту
- Тип рідини, що горить: Бензол, толуол, циклогексан

б) у разі вогняної кулі:

- висота центра вогненної кулі: 500 (м)
- маса ЛЗР (або ГР) у вогненній кулі: 1500 (кг)
- відстань від випромінювального об’єкта до центра вогненної кулі: 150 (м)

Розрахувати:

- Інтенсивність теплового випромінювання, кВт/м^2

2)Розрахувати витік рідини з отвору резервуарі.

Початкові дані:

- Щільність рідини:800(кг/м^3)
- Коефіцієнт витікання:0,5
- Площа отвору:0,002 (м^2)
- Висота отвору над поверхнею землі: 5 (м)
- Площа перерізу резервуара: 100 (м^2)
- Початкова висота стовпа рідини в резервуарі: 40 (м)
- Висота вала: 5 (м)
- Відстань від стінки резервуара до вала: 10 (м)

Розрахувати:

- Час, протягом якого рідина переливається через вал: (с)
- Кількість рідини (кг), яка перелилась через вал за повне час витоку

3)Розрахувати розтікання рідини при квазімитевому руйнуванні резервуара.

Початкові дані :

- Початкова висота стовпа рідини: 8 (м)
- Висота валу: 10 (м)
- Радіус резервуара: 2,5 (м)
- Час розливу: 1,5 с
- Щільність рідини: 1100 (кг/м^3)

Розрахувати:

- Масову частку рідини, перелиту через вал (%)

Варіант 16

1) Визначити максимальний розмір вибухонебезпечних зон.

Початкові дані:

- Час повного випаровування рідини: 900(с)
- Нижня концентраційна межа поширення полум'я: 2% об.
- Щільність пари: 3 (кг/м^3)
- Тиск насичених парів рідини: 10 (кПа)
- Площа випаровування: 45 (м^2)
- Молярна маса парів:70 (кг/кмоль)
- Вільний об'єм приміщення: 50(м^3)
- Рухливість повітряного середовища: 2 (м/с)
- Габарити приміщення (м):

L = 40; S = 25; H =3

Розрахувати:

- Максимальні розміри вибухонебезпечної зони (м) які утворюються при виході ЛЗР або парів горючої рідини в навколишній простір при аварії в приміщенні.

2) Розрахувати вибух пароповітряної суміші в резервуарі або виробничому приміщені.

Початкові дані:

- Нормальна швидкість горіння парів: 1,3 (м/с)
- Обсяг судини, в якому відбувається згорання пароповітряної суміші: 1,2 (м^3)
- Швидкість звуку в парогазової суміші: 250 (м/с)
- Показник адіабати продукту згоряння: 1,3
- Показник адіабати незгорівшої суміші: 1,25
- Коефіцієнт закінчення: 0,9
- Початковий тиск парогазової середовища: 130000 (Па)
- Початкова температура парогазової середовища: 313 (К)
- Коефіцієнт розширення продуктів згоряння: 2

Розрахувати:

- Час: безрозмірний та реальний, с
- Масову частку продуктів згоряння *пр, %*
- Масову частку незгорівшої суміші *пс,%*
- Безрозмірний тиск *рр.*
- Температуру газу, К
- Тиск в об'ємі, Па

3) Розрахувати параметри факельного горіння струї рідини.

Початкові дані:

- Діаметр отвору, через яке відбувається витікання рідини: 0,02 (м)
- Швидкість витікання рідини через отвір: 25 (м/с)

Розрахувати:

- Висоту факела, м

Ефективний діаметр факела, м

Варіант 17

1)Визначення маси горючих рідин, що надійшла в навколишній простір при аварії.

а) при розгерметизації наземного резервуара:

Початкові дані:

- Щільність ЛЗР: 0,4 (кг/м^3)
- Номінальний обсяг резервуара: 3 (м^3)

Розрахувати:

- Маса ЛЗР (або ГР), які поступили в навколишній простір при аварії, кг

б) при розгерметизації трубопроводу

Початкові дані:

- Щільність ЛЗР: 0,3 (кг/м^3)
- Продуктивність насоса: 50 кг/с
- Сумарна довжина трубопроводу: 30 (м)
- Діаметр трубопроводу: 0,1 (м)
- Напір стовпа рідини в резервуарі: 1600 (Па)
- Розрахунковий час відключення трубопроводу: 30(с)
- Висота стовпа рідини: 3,3 (м)

Розрахувати:

- Маса ЛЗР (ГР), що надійшла самопливом при розгерметизації трубопроводу, кг
- Маса у випадку відсутності зворотного потоку рідини з резервуара, кг
- Маса у випадку виникнення зворотного потоку рідини з резервуара, кг

в) Визначення площі розливу

Початкові дані:

- Маса ЛЗР, що надійшла в навколишній простір: 1,1 (кг)
- Коефіцієнт локалізації ЛЗР: 0,1 (м^2/кг)

Розрахувати:

- Площу розливу ЛЗР (ГР), м^2

2) Розрахувати інтенсивність випаровування рідини.

Початкові дані:

- Молярна маса: 80(кг/кмоль)
- Коефіцієнт інтенсивності: 3
- Тиск насичених парів рідини: 1 (кПа)

Розрахувати:

- Інтенсивність випаровування рідини (кг/(м^{2}с)

3)Розрахувати розтікання рідини при квазімитевому руйнуванні резервуара.

Початкові дані :

- Початкова висота стовпа рідини: 3 (м)
- Висота валу: 8 (м)
- Радіус резервуара: 1,1 (м)
- Час розливу: 2 с
- Щільність рідини: 1000 (кг/м^3)

Розрахувати:

- Масову частку рідини, перелиту через вал, %

Варіант 18

1)Розрахувати витік рідини з отвору резервуарі.

Початкові дані:

- Щільність рідини:1400(кг/м^3)
- Коефіцієнт витікання:1
- Площа отвору:0,002 (м^2)
- Висота отвору над поверхнею землі: 5 (м)
- Площа перерізу резервуара: 100 (м^2)
- Початкова висота стовпа рідини в резервуарі: 35 (м)
- Висота вала: 5 (м)
- Відстань від стінки резервуара до вала: 15 (м)

Розрахувати:

- Час, протягом якого рідина переливається через вал, с
- Кількість рідини (кг), яка перелилась через вал за повне час витоку

2)Розрахувати надлишковий тиск в ударній хвилі при вибуху горючих газів.

Початкові дані:

- Тиск в апараті: 10 (кПа)
- Об'єм апарату: 6 (м^3)
- Витрата газу: 0,3 (м^3/с)
- Розрахунковий час відключення обладнання: 4 (с)
- Максимальний тиск в трубопроводі: 10 (кПа)
- Щільність газу: 0,345 (кг/м^3)
- Вільний обсяг виробничого приміщення: 45 (м^3)
- Максимальний тиск вибуху стехіометричної газо- і пароповітряної суміші: 1000 (кПа)
- Числа атомів С, Н, О і галлоідів в молекулі пального:
  C = 2; H = 6; O = 1; X = 2
- Довжини і радіуси і-тої ділянки трубопроводу, м:l (1) = 5; r (1) = 0.4
  l (2) = 15; r (2) = 0.12
- Пальна речовина – рідина
- Пальна речовина - газ
- Розрахувати:Масу пального газу, що надійшов при аварії в виробниче приміщення, кг.
- Надмірний тиск вибуху, кПа.

3) Розрахувати параметри факельного горіння струї рідини.

Початкові дані:

- Діаметр отвору, через яке відбувається витікання рідини: 0,035 (м)
- Швидкість витікання рідини через отвір: 40 (м/с)

Розрахувати:

- Висоту факела, м
- Ефективний діаметр факела, м

Варіант 19

1)Розрахувати витік рідини з отвору резервуарі.
Початкові дані:

- Щільність рідини:1000(кг/м^3)
- Коефіцієнт витікання:1
- Площа отвору:0,001 (м^2)
- Висота отвору над поверхнею землі: 5 (м)
- Площа перерізу резервуара: 80 (м^2)
- Початкова висота стовпа рідини в резервуарі: 30 (м)
- Висота вала: 5 (м)
- Відстань від стінки резервуара до вала: 20 (м)

Розрахувати:

- Час, протягом якого рідина переливається через вал, с
- Кількість рідини (кг), яка перелилась через вал за повне час витоку

2)Розрахунок надлишкового тиску в ударній хвилі при вибуху резервуара.
Початкові дані:

- Маса ЛЗР (ГР), що міститься в резервуарі: 90 (кг)
- Температура кипіння ЛЗР (ГР): 250 (К)
- Константи Антуана: A = 4,99831; B = 664,976; C = 221,695
- Тиск спрацьовування запобіжного пристрою: 3130 (мм.рт.ст.)
- Щільність газу: 0,35 (кг/м^3)
- Вільний обсяг виробничого приміщення: 35 (м^3)
- Числа атомів C, H, O і галлоідов в молекулі пального: C = 2 H = 6 O = 1 X = 2
- Максимальний тиск вибуху стехіометричної газо- і пароповітряної суміші: 900 (кПа)
- Пальне речовина – рідина
- Пальне речовина – газ

Розрахувати:

- Надмірний тиск в ударній хвилі, кПа
- Ефективну енергію вибуху, кДж

3)Розрахувати розтікання рідини при квазімитевому руйнуванні резервуара.
Початкові дані :

- Початкова висота стовпа рідини: 7,5 (м)
- Висота валу: 8 (м)
- Радіус резервуара: 1,5 (м)
- Час розливу: 2,5 с
- Щільність рідини: 1200 (кг/м^3)

Розрахувати:

- Масову частку рідини, перелиту через вал, %

Варіант 20

1)Розрахувати розтікання рідини при квазімитевому руйнуванні резервуара.

Початкові дані :

- Початкова висота стовпа рідини: 9 (м)
- Висота валу: 10 (м)
- Радіус резервуара: 2 (м)
- Час розливу: 2 с
- Щільність рідини: 1500 (кг/м^3)

Розрахувати:

- Масову частку рідини, перелиту через вал (%)

2) оцінити інтенсивність теплового випромінювання.

Початкові дані:

а) при пожежі витоку:

- Середньоповерхнева інтенсивність теплового випромінювання: 50(кВт/м^2)
- Площа розливу: 60 (м^2)
- Відстань від геометричного центру розливу до об'єкта, що опромінюється: 15 (м)
- Щільність навколишнього повітря: 1,3 (кг/м^3)
- Тип рідини, що горить: Бензин, гас, мазут, нафту
- Тип рідини, що горить: Бензол, толуол, циклогексан

б) у разі вогняної кулі:

- висота центра вогненної кулі: 520 (м)
- маса ЛЗР (або ГР) у вогненній кулі: 800 (кг)
- відстань від випромінювального об’єкта до центра вогненної кулі: 100 (м)

Розрахувати:

- Інтенсивність теплового випромінювання, кВт/м^2

3) Розрахувати утворення пароповітряної хмари.

Початкові дані:

- Координати точки розрахунку, м: X = 770 Y = 15 Z = 1
- Інтенсивність випаровування рідини: 0,0007 (кг/м^{2}с)
- Площа випаровування: 150 (м^2)
- Час освіти елементарного об'єму: 1 (с)
- Швидкість вітру: 0,5 (м/с)
- Час від початку випаровування: 1200 (с)

Розрахувати:

- Концентрацію парів в заданій точці простору, кг/м^3

ЛІТЕРАТУРА

1. Егоров А.Ф. Савицкая Т.В. Управление безопасностью химических приозводств на основе новых информационных технологий. М., Химия, 2006.
2. В. Маршалл. Основные опасности химических производств. М., Мир. 1989. 670с.
3. Егоров А.Ф. Савицкая Т.В. и др. Современное состояние проблемы контроля, прогнозирования и управления качеством атмосферного воздуха.- ВИНИТИ, выпуск N12, 2000, 73с.
4. Рева Г. В., Борисов П. Ф., Дранишников Л. В., Жартовский В.М., Найверт А.В. Управление технической безопасностью объектов повышенной опасности : Киев, 2005,-483с
5. Егоров А.Ф., Савицкая Т.В., Макарова А.С., Разработка моделей оценки риска для предприятий химической промышленности // Химическая промышленность,1998,N7,с.55-63.
6. Методика оценки последствий аварийных взрывов топливо-воздушных смесей.- НТЦ ”Промышленная безопасность”.1996. 22с.
7. Тищенко Н.Ф. Охрана атмосферного воздуха. Расчет содержания вредных веществ и их распределение в воздухе. Справочник. М. Химия. 1991.364с.
8. Онищенко В.Я. Классификация и сравнительная оценка факторов риска // Безопасность труда в промышленности. – 1995. – №7. – С.23–27.
9. Охрана труда и экологическая безопасность в химической промышленности: Учебник для вузов/А.С.Бобков, А.А.Блинов, И.А.Родин, Е.И.Хабарова. М.Химия,1997.400с