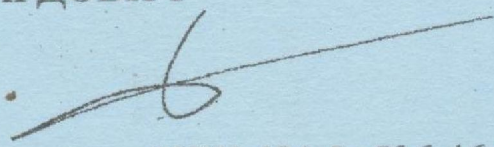


Автореферат
В. 20

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України

Одеський національний політехнічний університет

ВОЛКОВ ВІКТОР ЕДУАРДОВИЧ



УДК 681.5+536.464

МАТЕМАТИЧНЕ ТА ІНФОРМАЦІЙНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ
АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ
ПОТЕНЦІЙНО ВИБУХОНЕБЕЗПЕЧНИМИ
ОБ'ЄКТАМИ

05.13.07 – автоматизація процесів керування

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Одеса – 2012

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Одеській національній академії харчових технологій
Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України

Науковий консультант: доктор технічних наук, професор
Жуковський Едуард Йосипович,
Одеська національна академія харчових технологій,
головний редактор журналу «Автоматизація
технологічних і бізнес-процесів»

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор,
Ладанюк Анатолій Петрович,
Національний університет харчових технологій, м.Київ
завідувач кафедри автоматизації процесів управління

доктор технічних наук, професор
Максимов Максим Віталійович,
Одеський національний політехнічний університет,
завідувач кафедри автоматизації теплоенергетичних
процесів

доктор технічних наук, професор
Машков Олег Альбертович,

Одеська національна академія харчових технологій,
завідувач кафедри управління та управління роботами

30 години на засіданні
у національному
ченка, 1, ауд. 400 А.

ОНАХТ

Автореф

Математичне та інфор



v018256

Колесніков

спеціалізованої вченої ради

ОНАХТ

БІБЛІОТЕКА

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Аналіз статистичних даних показує, що кількість аварійних вибухів хімічної природи на промислових підприємствах та у транспортних системах постійно зростає, чому сприяє ряд об'єктивних і суб'єктивних факторів. Одним з головних суб'єктивних факторів є недосконалість автоматизованих систем керування (АСК) вибухонебезпечними об'єктами (ВНО), яка полягає в тім, що:

- формалізація завдань керування ВНО з метою підтримування їх у вибухобезпечному стані взагалі відсутня або спрощена до рівня підтримування пожежобезпечності;

- моделювання ВНО як складних організаційно-технічних об'єктів керування (КО) не спирається на сучасні досягнення математичної теорії горіння та вибуху;

- наявне математичне, інформаційне та програмне забезпечення АСК ВНО не дозволяють адекватно оцінювати (ідентифікувати) поточний стан ВНО з точки зору вибухобезпечності;

- системи підтримки прийняття рішень (СППР) з вибухонебезпечності або відсутні, або забезпечують підтримку прийняття рішень тільки з пожежобезпечності.

Вибухобезпечність об'єкта вважається високою, якщо можливість загоряння мінімальна, тобто якщо забезпечено максимальну пожежобезпечність об'єкта. У той же час, навіть при невисокій можливості загоряння об'єкт може перебувати в такому стані, що перехід горіння у вибух стає можливим або навіть неминучим, якщо випадкове загоряння все ж таки виникне. Подібний об'єкт (стан об'єкту) варто вважати відносно вибухонебезпечним. Таким чином необхідна кількісна переоцінка рівня безпеки багатьох сучасних технологій й устаткування. Така переоцінка неминуче повинна знайти своє відображення в підсистемі забезпечення АСК ВНО, у першу чергу – в математичному й інформаційному забезпеченні.

Має місце *науково-технічне протиріччя* між сучасними нормативними вимогами до пожежовибухобезпечності й засобами забезпечення цих вимог з одного боку та реальними можливостями виникнення вибухів на різноманітних ВНО промисловості й транспорту – з іншого.

Наукова проблема полягає у відсутності відповідного математичного та інформаційного забезпечення, яке враховує можливість розвинення вибуху при випадковому займанні ВНО з дотриманням технологічних та регламентних вимог.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Основу для підготовки дисертації склали науково-дослідні роботи (НДР): держбюджетна НДР «Теоретичні основи вибухобезпечних технологій у харчовій промисловості», №Д.Р. 0108U000060, №10/08-П (виконана в ОНАХТ, автор є науковим керівником цієї НДР); держбюджетна НДР «Числові дослідження процесів виникнення й поширення детонаційних і вибухових хвиль», №Д.Р. 0101U008296 (виконана в ІМЕМ ОНУ, автор є одним з

виконавців цієї НДР), держбюджетна НДР №179 «Застосування паралельних обчислень до проблеми числового моделювання процесів поширення детонаційних і вибухових хвиль у тривимірному просторі» (виконана в ІМЕМ ОНУ, автор є одним з виконавців цієї НДР).

Мета і задачі дослідження. Метою дослідження є створення та удосконалення засобів математичного й інформаційного забезпечення АСК вибухонебезпечними об'єктами, які гарантують підвищення безпеки й надійності їхнього функціонування.

Для досягнення поставленої мети в роботі були розв'язані наступні задачі:

- проаналізовано методи керування вибухонебезпечними об'єктами для підтримування їх у вибухобезпечному стані;
- розроблено математичні моделі вибухових процесів і потенційно вибухонебезпечних об'єктів як об'єктів керування;
- створено засоби математичного забезпечення інтелектуальних систем прийняття рішень (ІСППР) з вибухобезпечності;
- розроблено інформаційну модель потенційно вибухонебезпечного об'єкта як основу інформаційного забезпечення автоматизованої системи керування цим об'єктом;
- розроблено програмне забезпечення автоматизованої системи керування потенційно вибухонебезпечним об'єктом для конкретних об'єктів, яке впроваджено на вибухонебезпечних підприємствах.

Об'єкт дослідження – автоматизовані системи керування потенційно вибухонебезпечними промисловими й транспортними об'єктами.

Предмет дослідження – математичне й інформаційне забезпечення автоматизованих систем керування потенційно вибухонебезпечними об'єктами.

Методи дослідження. Аналіз існуючого досвіду автоматизованого й автоматичного керування ВНО з метою підтримування їх у вибухобезпечному стані виконано з позицій системного аналізу з використанням наукового узагальнення й систематизації. При розробці математичних моделей вибухових процесів і потенційно вибухонебезпечних об'єктів (ПВНО) використані методи класичної газової динаміки, у тому числі методи теорії гідродинамічної стійкості, теорії горіння й детонації, динаміки багатофазних середовищ, а також методи теорії звичайних диференціальних рівнянь і диференціальних рівнянь із частинними похідними. Для створення нових засобів математичного забезпечення ІСППР з вибухобезпечності використані методи класичної й нечіткої логіки. Розробку інформаційного забезпечення виконано методами об'єктно-орієнтованого аналізу (ООА). В основу розробленого програмного забезпечення покладено ідеологію об'єктно-орієнтованого програмування.

Наукова новизна одержаних результатів.

- вперше для автоматизованого керування потенційно вибухонебезпечними об'єктами обґрунтовано необхідність урахування можливості переходу повільного горіння у вибух і тривалості такого переходу, що дозволило коректно визначати способи та засоби керування;

– вперше задачу керування потенційно вибухонебезпечним об'єктом з метою підтримування його у вибухонебезпечному стані поставлено з позицій урахування можливості переходу горіння у вибух, що дозволило сформулювати основні теоретичні проблеми вибухонебезпечності та вимоги щодо математичного забезпечення АСК потенційно вибухонебезпечним об'єктом;

– вперше на базі аналітичного розв'язання задач теорії гідродинамічної стійкості хвиль полум'я та детонації розроблено математичну модель виникнення та розвитку вибуху, що дозволило ідентифікувати стан потенційно вибухонебезпечного об'єкта з точки зору вибухобезпечності та оцінювати можливість переходу повільного горіння у вибухову дефлаграцію або в детонацію, тривалість такого переходу та довжину переддетонаційної ділянки;

– вперше на підґрунті математичної моделі виникнення та розвитку вибуху розроблено універсальну математичну модель потенційно вибухонебезпечного об'єкта як об'єкта керування, що дозволило формалізувати завдання керування об'єктом, а також коректно визначати інерційність об'єкту по каналу збурень, принципові можливості керування та керуючі впливи для різних видів потенційно вибухонебезпечних об'єктів;

– вперше на основі математичних моделей вибухових процесів та потенційно вибухонебезпечних об'єктів створено засоби математичного забезпечення ІСПР з вибухобезпечності, які вирізняються поєднанням класичних методів прийняття рішень з методами прийняття рішень в умовах невизначеності, що дозволило ввести показники вибухонебезпечності та відносної вибухонебезпечності як нечіткі логічні змінні та розробити алгоритми обчислення цих показників, а також розробити алгоритми основних процедур, які забезпечують підтримку прийняття рішень з вибухобезпечності потенційно вибухонебезпечних об'єктів;

– вперше запропоновано та обґрунтовано універсальну інформаційну модель потенційно вибухонебезпечного об'єкта, яка спирається на розроблені математичні моделі, що дозволило створити нові засоби інформаційного забезпечення АСК потенційно вибухонебезпечними об'єктами;

– вперше розроблено методи оцінювання відносної вибухонебезпечності та вибухонебезпечності газових хмар та силосів, що дозволило удосконалити АСК підприємств по зберіганню й переробці зерна, а також підвищити безпеку та надійність функціонування цих підприємств шляхом впровадження нового програмного забезпечення.

Практичне значення одержаних результатів. Основна практична цінність *теоретичної частини роботи* полягає в розробці принципово нової підсистеми забезпечення (математичне й інформаційне забезпечення) АСК ПВНО. Користувачами цієї підсистеми можуть бути оператори технологічних процесів, проєктувальники й керівники вибухонебезпечних підприємств, інженери-технологи, а також інженери з охорони праці та техніки безпеки. Практична цінність *теоретичної частини роботи* полягає також у можливості використання її результатів фахівцями з фізики горіння й вибуху для оцінювання можливості автотурбулізації полум'я й переходу ламінарного горіння в розвинену дефлаграцію й детонацію, для описання структури хвиль

горіння й детонації, для оцінки довжини переддетонаційної ділянки, для теоретичного обґрунтування нових методик оцінювання вибухонебезпечності різних промислових і транспортних об'єктів. Практична цінність *прикладної частини роботи* полягає в тому, що внаслідок комплексного застосування розроблених математичних методів створені ІСППР з вибухобезпечності й програмне забезпечення АСК, що підтримує вибухобезпечність силосів і силосних корпусів зернових і комбікормових підприємств та інших ПВНО.

Результати дослідження впроваджені в експлуатацію державного підприємства «Укрспецконверсія» Державного департаменту адаптації військовослужбовців, звільнених у запас або у відставку, і конверсії колишніх військових об'єктів, Одеса, в експлуатацію ПП «Промэнерговат», Одеса, в експлуатацію Іллічівського морського торговельного порту, Іллічівськ, у пробну експлуатацію підприємства «Укртрансмарин», Одеса і його дочірнього підприємства «Зерно-Елеватор», Ізмаїл, у пробну експлуатацію ВАТ «Одеський припортовий завод» (Акт про впровадження від 15.02.2011 р.), у пробну експлуатацію АЕК «Київенерго», ПП «Вишніцька», Миколаївська обл., м. Новий Буг, в навчальний процес ОНАХТ в дисципліні «Основи охорони праці», в навчальний процес ОДАБтаА в дисципліні «Технічна механіка рідин і газів».

Особистий внесок здобувача. Здобувач є єдиним автором всіх теоретичних розробок і наукових положень, що виносяться на захист, а також всіх наукових ідей, що становлять основу математичного й інформаційного забезпечення АСК ПВНО. Роботи [1, 2, 4, 6 – 14, 16 – 18, 21, 24, 25, 29 – 31, 38 – 44, 47, 49, 52, 55, 57, 60, 61, 63, 68, 69] написані безпосередньо автором. У роботах, написаних у співавторстві з аспірантами та співробітниками, автором розроблено математичні моделі вибухових процесів і ПВНО [5, 32 – 37, 65, 70 – 72], створено засоби математичного забезпечення ІСППР з вибухобезпечності [26, 45, 46, 48, 51, 54, 56, 58, 62, 64], розроблено математичне, інформаційне та програмне забезпечення АСК зернопереробних підприємств [3, 15, 19, 20, 22, 23, 27, 28, 50, 53, 59].

Апробація результатів дисертації. Основні результати дослідження доповідалися: а) на наукових симпозиумах і конференціях країн СНД: наукова конференція «Дисперсные системы», Одесса – XXII-ая (2004), XXIII-я (2006) и XXIV-ая (2008); «XIII-ый Симпозиум по горению и взрыву», Черноголовка, 2005; б) на міжнародних наукових, науково-технічних і науково-практичних симпозиумах, конференціях і колоквиумах: «Second International Symposium of Nonequilibrium Processes, Plasma, Combustion and Atmospheric Phenomena», Sochi (Russia), 2007; III-я і V-а Міжнародні конференції «Стратегия качества в промышленности и образовании» («Strategy of Quality in Industry and Education», Варна (Болгарія), 2007, 2009; IX-а Міжнародна науково-технічна конференція «Системный анализ и информационные технологии» («System analysis and information technologies»), Київ, 2007; «Seventh International Symposium on Hazards, Prevention and Mitigation of Industrial Explosions: Thirteenth International Colloquium on Dust Explosions & Eighth Colloquium on Gas, Vapor, Liquid, and Hybrid Explosions», St. Petersburg (Russia), 2008; в) на міжнародних науково-технічних конференціях з автоматичного керування

«Автоматика» – Одеса, 2008; Чернівці, 2009, Харків, 2010, Львів, 2011; «Сучасні методи, інформаційне, програмне та технічне забезпечення систем управління організаційно-технічними комплексами», Київ, 2009; г) на міжнародних наукових конференціях «Інтелектуальні системи прийняття рішень і проблеми обчислювального інтелекту (ISDMCI)» – Євпаторія, 2008-2012; д) на національних й міжнародних наукових семінарах і конференціях «Інформаційні системи й технології» (з 2007 – «Математичне моделювання й інформаційні технології») – Одеса, 2004-2008; е) на національній науково-практичній конференції «Інформаційні технології й автоматизація» – Одеса, 2009-2011.

Публікації. По темі дисертації опубліковано 92 наукові праці, у тому числі: 35 статей в журналах з переліку фахових видань України, 9 статей у закордонних виданнях, а також 44 доповіді в працях міжнародних та національних конференцій.

Структура й обсяг дисертації. Дисертація складається із вступу, 5 розділів, висновків, списку використаної літератури з 425 найменувань і 15 додатків. Обсяг основного тексту дисертації становить 307 сторінок. У роботу входять 42 рисунки й 11 таблиць.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

Вступ включає загальну характеристику роботи, розкриває її актуальність. Визначені об'єкт і предмет дослідження. Сформульовані мета та задачі дослідження, зазначені методи їхнього розв'язання. Висвітлені наукова новизна роботи та практичне значення отриманих результатів.

Перший розділ (Аналіз проблеми керування потенційно вибухонебезпечними об'єктами промисловості та транспорту) присвячений питанням керування вибухонебезпечними технологічними процесами й підприємствами, класифікації вибухів і вибухонебезпечних об'єктів, аналізу організаційних заходів підтримування вибухобезпечності й сучасних технічних засобів запобігання й заглушення вибухів. Розглянуто специфіку керування потенційно вибухонебезпечним об'єктом (ПВНО) з метою підтримування його у вибухобезпечному стані, зазначені керуючі параметри й можливі керуючі впливи. Обґрунтовано мету й завдання дослідження.

Технологічні процеси (ТП), які належать до потенційно вибухонебезпечних, умовно розділені на дві групи:

- 1) ТП, що забезпечують виробництво, зберігання, транспортування й цілеспрямоване використання горючих (легкозаймистих) і вибухових речовин;
- 2) ТП, у ході реалізації яких утворюються пожежо- і вибухонебезпечні речовини та суміші.

Розглянуто головним чином потенційно вибухонебезпечні ТП (ПВТП) першої групи, хоча зроблені теоретичні висновки так само стосуються будь-яких ПВТП. Першочергова вимога до організації ПВТП полягає в забезпеченні достатньо високого рівня їх вибухобезпечності, що в багатьох випадках – особливо для ПВТП другої групи – суперечить типовим вимогам до організації

ТП (випуск продукції відповідно до заданих показників якості або кількості, максимально можливе ресурсозбереження, відмовостійкість). Розв'язання цього протиріччя пов'язане із застосуванням такої АСК ТП, яка включає в себе підсистему підтримування вибухобезпечності процесу.

Вибух розглядається як швидке виділення значної кількості енергії в деякому обмеженому об'ємі (джерелі вибуху), що викликає поширення ударної хвилі. Як об'єкт вивчення особливо вирізняються випадкові вибухи хімічної природи. Хімічні вибухові процеси розділяються на дві групи – дефлаграційні й детонаційні, причому руйнівна дія останніх є вищою. Горіння (дефлаграція) та детонація розглянуті як динамічні процеси. Основні характеристики вибухових процесів і горіння зведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Основні характеристики вибухових процесів і горіння

Найменування процесу	Вид процесу	Швидкість розповсюдження хімічної реакції	Наявність ударної хвилі	Швидкість ударної хвилі
дифузійне горіння	невибуховий	визначається швидкістю дифузії; набагато менше швидкості звуку	немає	—
ламінарне горіння перемішаних сумішей	невибуховий	визначається тепловими процесами; набагато менше швидкості звуку	немає	—
горіння в потоці (факельний процес)	невибуховий	набагато менше швидкості звуку	немає	—
вібраційне й «повільне» турбулентне горіння	невибуховий; можливий перехід до дефлаграційного вибуху	визначається турбулентністю; суттєво менше швидкості звуку	можливе утворення дуже слабких ударних хвиль	для слабкої ударної хвилі – близька до швидкості звуку
дефлаграційний вибух («швидке» турбулентне горіння)	вибуховий; можливий перехід до детонації	визначається турбулентністю; менше швидкості звуку	є	суттєво більше швидкості звуку
детонація	вибуховий	дорівнює швидкості провідного ударного фронту; набагато більше швидкості звуку	є	набагато більше швидкості звуку

Невибухові процеси горіння є «повільними», вони допускають керування в оперативному режимі. Вибухові процеси – «швидкі» процеси; з цієї причини вони слабо контрольовані й погано керовані – керувати вибуховим процесом вже після утворення ударної хвилі практично неможливо, хоча певні засоби заглушення та послаблення вибухів існують. Отже при займанні треба мати можливість не допустити утворення ударної хвилі: необхідно керувати процесом розповсюдження полум'я з метою недопущення вибуху. Розв'язання задач керування процесами переходу горіння у вибух вимагає детального розгляду структури та властивостей дефлаграційних і детонаційних хвиль для створення математичних моделей горіння й ПВНО.

Потенційно вибухонебезпечним є тільки горюче середовище, множина можливих фізико-хімічних станів якого схематично зображена на рис. 1.



Рисунок 1 – Множина можливих фізико-хімічних станів горючого середовища

Для конкретних речовин будь-яка з областей «1»–«6» може бути відсутньою. Якщо тими чи іншими засобами керування горюче середовище підтримується в станах «1»–«4», то вибухобезпечність гарантовано.

Введено поняття потенційно вибухонебезпечного об'єкта (ПВНО). Об'єкт названий потенційно вибухонебезпечним, якщо він може вибухнути або із причин внутрішнього характеру, або внаслідок досить слабого зовнішнього впливу, який у жодному разі не обумовлений іншим вибухом. ПВНО керуються, як правило, АСК, причому за людиною залишається значна частина функцій керування.

Розроблено класифікацію ПВНО. Розмаїтість видів ПВНО вимагає створення універсальної математичної моделі переходу повільного горіння у вибух для розробки математичного забезпечення АСК ПВНО.

На теперішній час є необхідністю кількісна переоцінка рівня вибухобезпечності багатьох сучасних технологій й устаткування. Така переоцінка повинна знайти відображення в підсистемі забезпечення АСК потенційно вибухонебезпечним ТП або потенційно вибухонебезпечним підприємством, у першу чергу – в математичному й інформаційному забезпеченні АСК.

Розглянуто різноманітні заходи, призначені для зниження рівня вибухонебезпечності при виробництві, зберіганні та застосуванні горючих матеріалів.

Усі горючі речовини умовно розділені на речовини з “припустимим” і “неприпустимим” рівнями вибухонебезпечності (до останніх відносять такі речовини, що мають дуже нестійку молекулярну структуру та надзвичайно чутливі до зовнішніх впливів), а різноманітні методи забезпечення пожежо- і вибухобезпечності – теж умовно – розділені на пасивні й активні (рис. 2).

Пасивні методи забезпечення пожежо- і вибухобезпечності вимагають грамотного проектування будинків, підприємств, устаткування та інших систем, а також розумного розташування вогнеперепинувачів, пасток полум'я та детонації і т.п., що вимагає додаткових аналітичних досліджень і відповідного інструментарію, яким може бути ІСППР з вибухобезпечності. Розумне застосування пасивних методів якщо й не дозволяє дати абсолютну гарантію вибухобезпечності, то суттєво знижує ризик виникнення вибуху, а також суттєво зменшує його руйнівну дію.

Активні методи забезпечення пожежо- і вибухобезпечності вимагають оперативних рішень, які приймає оператор (або інша особа). При цьому бажано оснастити оператора ІСППР з вибухобезпечності; така ІСППР може бути використана також і для навчання самого оператора, кваліфікація котрого має бути досить високою. В деяких випадках активні методи відвернення (приглушення) пожежі або вибуху здійснюються системою автоматичного керування (САК) без участі оператора.

Ефективне поєднання активних та пасивних методів дозволяє майже гарантовано уникнути випадкових вибухів.



Рисунок 2 – Засоби для зниження вибухонебезпечності при виробництві, зберіганні й використанні горючих матеріалів

Уся розмаїтість численних положень, нормативів і правил дотримання пожежо- і вибухобезпечності не гарантує – навіть при їх виконанні – безпеку

підприємств, устаткування, транспортних систем та інших об'єктів. Це свідчить про необхідність створення ефективних АСК для підтримання вибухобезпечності. Такого роду АСК може розглядатися як підсистема автоматизованої системи керування технологічним процесом (АСК ТП) або автоматизованої системи керування підприємством (АСКП), або як відносно незалежна система. Існуючі в теперішній час САК і АСК, що підтримують вибухобезпечність об'єкта, мають своєю метою забезпечення винятково пожежобезпечності (шляхом відвернення можливості займання – на що спрямовані також всі методи організаційного керування ПВНО – або шляхом швидкого гасіння полум'я). Такі системи керування ПВНО є недостатньо ефективними при розв'язанні проблем гарантування саме вибухобезпечності, що в першу чергу пов'язано з відсутністю необхідного математичного та програмного забезпечення.

Розглянуто питання про інерційність ПВНО – як об'єкта керування (КО) – по каналу керування. Якщо зневажити часом передачі сигналів, то інерційність ПВНО по каналу керування в САК визначається інерційністю давачів, інерційністю керуючих впливів та часом, що витрачає обчислювальний пристрій на обробку сигналів давачів.

Детектори полум'я та давачі тиску мають малу інерційність ($\sim 0,1$ с). Час роботи обчислювального пристрою (якщо він взагалі передбачений в САК у вигляді окремої компоненти) становить мілі- або мікросекунди, тому що визначається часом обчислення значень однієї або декількох найпростіших логічних функцій. Через те, що інерційність давачів та обчислювальних пристроїв мала в порівнянні з інерційністю виконавчих пристроїв у САК ПВНО, інерційність КО по каналу керування фактично визначається інерційністю відповідного виконавчого механізму (керуючого впливу).

У таблиці 2 наведені характерні часи реалізації різноманітних керуючих впливів на ПВНО.

Таблиця 2 – Інерційність різних видів керуючих впливів на ПВНО

Керуючий вплив	Час T_n реалізації керуючого впливу (у секундах)
Аварійна зупинка процесу (загальне знеструмлення)	$0,1 \div 2$
Введення інгібітору або флегматизатору	$0,5 \div 2$
Скидання тиску через отвори, що відкриваються примусово	$1 \div 3$
Блокування місця вибуху відсічними пристроями	$3 \div 10$
Блокування місця вибуху інертними зонами	$1 \div 5$

Інерційність ПВНО по каналу керування в АСК за участю оператора (рис. 3) визначається – в першу чергу – часом прийняття рішення самим оператором.

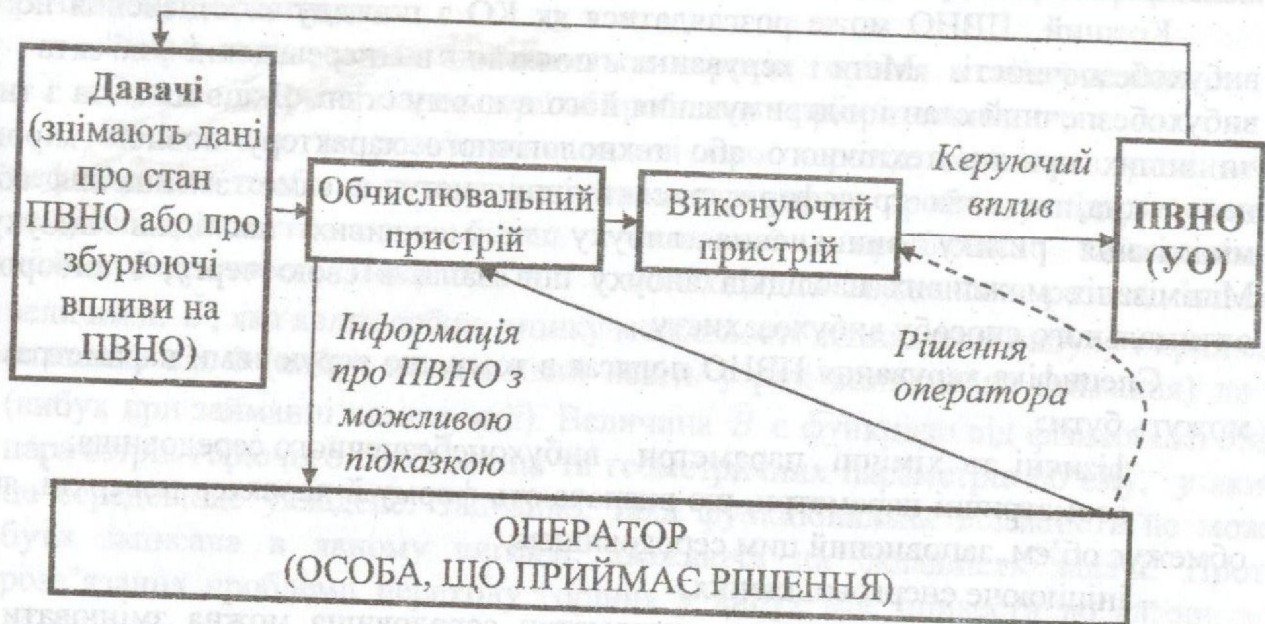


Рисунок 3 – Схема автоматизованої системи керування ПВНО за участю оператора

Оператор, отримавши інформацію про стан ПВНО або про збурюючий вплив на ПВНО (найбільш потужним збурюючим впливом є виникнення осередку полум'я), приймає рішення, яке через обчислювальний пристрій передається тому або іншому виконавчому пристрою для надання керуючого впливу на ПВНО. Час ухвалення рішення навіть підготовленим та уважним оператором складає не менш 10с. Тому бажано, щоб обчислювальний пристрій АСК реалізовував основну функцію ІСПР, тобто генерував відповідні підказки операторові. Ці підказки повинні обов'язково містити інформацію:

- про рівень вибухонебезпечності ПВНО;
- про час (можливого) переходу горіння у вибух.

Підказка (підтримка рішення) від обчислювального пристрою дозволяє операторові оцінити наявний в його розпорядженні час для прийняття рішення, а також прийняти вірне рішення максимально швидко. У випадку виникнення осередку полум'я АСК може автоматично реалізувати керуючий вплив на ПВНО, якщо оператор спізниться з ухваленням рішення.

Очевидно, що інерційність ПВНО по каналу керування для АСК за участю оператора досить велика в порівнянні з інерційністю для САК. Єдиний спосіб зниження інерційності ПВНО по каналу керування у випадку АСК складається в зменшенні часу, затрачуваного на прийняття рішення оператором.

Питання про можливості функціонування АСК ПВНО за участю оператора й про застосовність тих або інших керуючих впливів на ПВНО тісно пов'язане з оцінкою часу переходу горіння у вибух при загорянні, або, у термінах теорії автоматичного керування, з оцінкою інерційності ПВНО по

каналу збурень. АСК ПВНО повинна мати таке математичне забезпечення, що дозволяє адекватно оцінювати рівень вибухонебезпечності об'єкта та час можливого переходу горіння у вибух (інерційність об'єкта по каналу збурень).

Кожний ПВНО може розглядатися як КО з погляду забезпечення його вибухобезпечності. Мета керування полягає в переведенні об'єкта у вибухобезпечний стан і підтримування його в цьому стані. Якщо ця мета з тих чи інших причин технічного або технологічного характеру повною мірою недосяжна, то вона трансформується в іншу мету, а саме: зменшення або мінімізація ризику виникнення вибуху та можливих наслідків вибуху. Мінімізація можливих наслідків вибуху пов'язана, в свою чергу, з вибором оптимального способу вибухозахисту.

Специфіка керування ПВНО полягає в тому, що керуючими параметрами можуть бути:

- фізичні та хімічні параметри вибухонебезпечного середовища;
- геометричні параметри, що визначають форму й характер поверхні, яка обмежує об'єм, заповнений цим середовищем;
- ініціююче енерговиділення.

При цьому фізико-хімічні параметри середовища можна змінювати в режимі оперативного керування, тоді як геометричні параметри обмежуючої поверхні, як правило, задаються на стадії проектування й можуть змінюватися тільки при реконструкції об'єкта. Керування ініціюючим енерговиділенням пов'язане із твердим дотриманням правил і норм техніки безпеки, тобто з організаційним керуванням. Таким чином, керування вибухобезпечністю об'єкта повинно бути як технологічним, так й організаційним. Сам ПВНО з точки зору керування можна розглядати як організаційно-технічну або організаційно-технологічну систему.

В результаті декомпозиції загальної мети керування ПВНО, яка полягає в забезпеченні його вибухобезпечності, виділені дві окремі задачі (мети):

- підтримання параметрів стану ПВНО в діапазонах, що забезпечують неможливість розвитку вибуху при виникненні загоряння;
- зміна загального стану ПВНО при виникненні загоряння (наприклад, шляхом флегматизування або інгібування).

Перша задача є задачею регулювання, друга – задачею логічного керування. Для коректного розв'язання як першої, так і другої задачі необхідні відповідне математичне й програмне забезпечення, призначені для оцінювання можливості виникнення вибуху та часу переходу горіння у вибух.

В АСК ПВНО особливу роль відіграє математичне забезпечення. Сучасне математичне забезпечення АСК ПВНО надзвичайно спрощене, тому що математичні моделі, які становлять його основу, досить слабо спираються на сучасну фізико-математичну теорію вибуху. Програмно реалізовані алгоритми зводяться до виконання досить простих логічних операцій і не оцінюють фактичний рівень вибухонебезпечності КО. У ряді випадків рівень математичного забезпечення АСК ПВНО вже не відповідає рівню розвитку сучасних технологій. Створення ефективного математичного забезпечення АСК ПВНО вимагає побудови принципово нової математичної моделі процесу

переходу горіння у вибух, застосування якої дозволяє розв'язати наступні актуальні теоретичні проблеми забезпечення вибухобезпечності:

– при яких умовах «повільне» (ламінальне) горіння переростає в розвинену дефлаграцію;

– при яких умовах здійснюється перехід горіння в стійку детонацію.

При цьому розв'язання першої проблеми є пріоритетним.

Постановка та розв'язання задачі про перехід горіння в розвинену дефлаграцію та/або в детонацію дозволяє виділити проблему підтримування вибухобезпечності з більш загальної проблеми забезпечення пожежобезпечності. Показано, що є необхідність введення в розгляд певної величини. $\tilde{B}$, яка являє собою оцінку можливості виникнення вибуху і приймає значення від 0 (вибух неможливий навіть у разі виникнення займання) до 1 (вибух при займанні неминучий). Величина $\tilde{B}$ є функцією від фізико-хімічних параметрів горючого середовища та геометричних параметрів об'єму, у який це середовище укладене. Звичайно, така функціональна залежність не може бути записана в явному вигляді, зважаючи на складність задачі. Проте розв'язання проблеми переходу горіння у вибух має привести до алгоритму обчислення $\tilde{B}$.

Розв'язання задачі про перехід горіння в дефлаграційний вибух або в детонацію дозволяє визначити:

- рівень вибухобезпечності об'єкта;
- можливості керування процесом переходу горіння у вибух;
- можливі рішення та керуючі впливи на об'єкт для підтримання його у вибухобезпечному стані або для його повернення у вибухобезпечний стан при випадковому загорянні.

Математичний аналіз розповсюдження хвиль горіння й детонації повинен бути виконаний без використання складних обчислювальних методів розв'язання систем диференціальних рівнянь із частинними похідними, програмна реалізація яких вимагає значних витрат машинного часу. В протилежному випадку практичне застосування такого аналізу в математичному та програмному забезпеченні АСК є вкрай ускладненим або взагалі неможливим, тому що інерційність ПВНО по каналу керування, який включає обчислювальний пристрій, буде занадто великою (детальний розрахунок утворення комірчастої структури полум'я та переходу горіння у вибух числовими методами, реалізованими на сучасних потужних комп'ютерах, навіть у простих випадках газових сумішей забирає принаймні десятки хвилин, що є неприпустимим для керування ПВНО). В той же час, математичний апарат дослідження хвиль горіння й детонації повинен бути досить універсальним, щоб охопити різноманітні середовища та системи.

Таким чином, проведений аналіз довів, що існуючі в теперішній час АСК ПВНО мають своєю метою забезпечення виключно пожежобезпечності об'єкта, а не саме вибухобезпечності. Удосконалення АСК ПВНО може досягатися новими засобами математичного та інформаційного забезпечення. АСК ПВНО повинна мати математичне забезпечення, яке дозволяє адекватно оцінювати

можливість переходу горіння у вибух (рівень власне вибухобезпечності об'єкта) та час такого переходу (інерційність об'єкта по каналу збурень), що дає змогу коректно визначати засоби керування. Сформульовано задачу керування ПВНО з метою підтримування його у вибухобезпечному стані навіть при виникненні випадкових загорянь. Обґрунтовано необхідність розробки нового математичного та інформаційного забезпечення АСК ПВНО.

Отже першочерговою задачею для досягнення поставленої мети дисертаційного дослідження є формалізація проблеми керування ПВНО для підтримування його у вибухонебезпечному стані та розробки математичних моделей вибухових процесів як основи нового математичного забезпечення.

Другий розділ (Математичне моделювання потенційно вибухонебезпечного об'єкта) присвячений розробці математичних моделей вибухових процесів та математичного забезпечення АСК ПВНО.

Розробка математичної моделі ПВНО як КО неможливе без моделювання процесів розповсюдження полум'я та переходу горіння у вибух.

Проблему переходу горіння у вибух розглянуто з позицій теорії гідродинамічної стійкості полум'я. Запропоновано наступну фізичну модель такого переходу (рис. 4):

- 1) хвиля горіння може бути нестійкою;
- 2) наслідком розвитку нестійкості фронту полум'я є його скривлення та турбулізація процесу горіння;
- 3) скривлений фронт полум'я прискорюється, тому що збільшується площа поверхні горіння;
- 4) перед фронтом прискорюваного полум'я утворюється ударна хвиля, що означає виникнення дефлаграційного вибуху;
- 5) якщо інтенсивність ударної хвилі досить велика, щоб запалити горючу суміш, то має місце детонація.

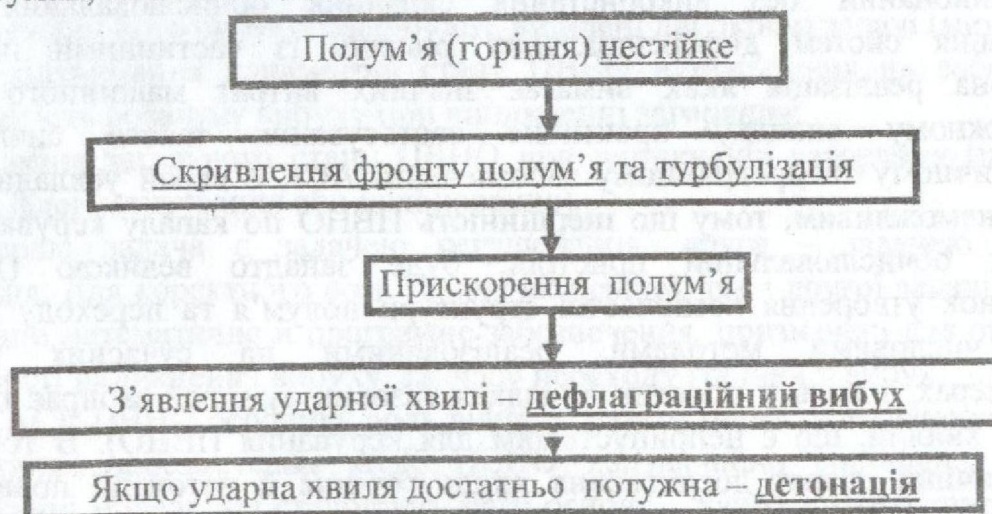


Рисунок 4 – Схема переходу горіння у вибух

Отже головною математичною проблемою дослідження переходу горіння у вибух є проблема стійкості полум'я при його розповсюдженні у горючому середовищі.

Розглянуто ряд задач про стійкість полум'я, що розповсюджується як у відкритому просторі, так й у напіввідкритих і замкнутих об'ємах (каналах прямокутного перетину, круглих трубах). Горюче середовище та продукти згоряння моделюються як в'язка нестислива рідина або як ідеальний (нев'язкий) стисливий газ, течії яких описуються рівняннями Нав'є-Стокса та Ейлера відповідно. Полум'я розглядається як поверхня розриву в ідеальному середовищі або як зона кінцевої довжини L у в'язкому середовищі. Малі збурення, які накладаються на стаціонарний потік і на фронт полум'я, задані у вигляді $\sim \exp(-i\omega t)$, де t – час, ω – власне число (комплексна величина).

В якості основної розглянута така модель горіння (рис. 5): плоске ламінарне полум'я кінцевої довжини L розповсюджується по в'язкій нестисливій суміші. Розрізняють три області течії – вихідної горючої суміші "1" ($x < -L$), продуктів згоряння "2" ($x > 0$) і властиво полум'я "3" ($-L \leq x \leq 0$). Фізичні параметри в зонах "1" і "2" приймаються постійними, а безперервна течія усередині зони полум'я "3", детальний характер якої невідомий через складність процесу, осереднюється по ширині цієї зони.

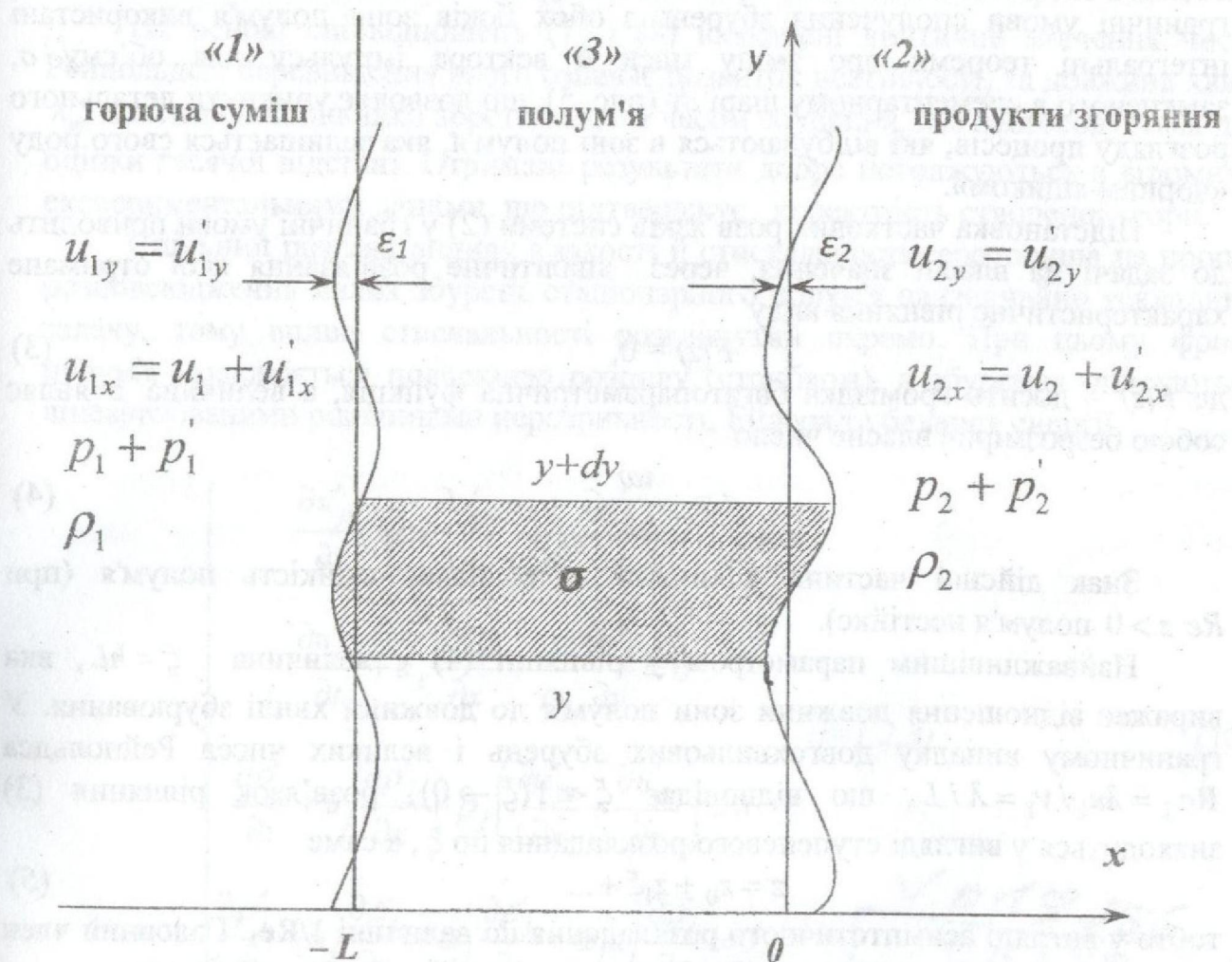


Рисунок 5 – Нестационарное полум'я з виділенням елементарним шаром dy

Задача про збурення тиску p'_j і складових швидкості u'_{jx} , u'_{jy} типу

$$p'_j, u'_{jx}, u'_{jy} \sim \exp(kx + ihy + \omega t), \quad \lambda = 2\pi/h \quad (1)$$

поставлена для лінеаризованої системи рівнянь нерозривності та Нав'є-Стокса (2), де ν_j — кінематичний коефіцієнт в'язкості.

$$\begin{cases} \frac{\partial u'_{jx}}{\partial t} + u_j \frac{\partial u'_{jx}}{\partial x} + \frac{1}{\rho_j} \frac{\partial p'_j}{\partial x} = \nu_j \left(\frac{\partial^2 u'_{jx}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u'_{jx}}{\partial y^2} \right) \\ \frac{\partial u'_{jy}}{\partial t} + u_j \frac{\partial u'_{jy}}{\partial x} + \frac{1}{\rho_j} \frac{\partial p'_j}{\partial y} = \nu_j \left(\frac{\partial^2 u'_{jy}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u'_{jy}}{\partial y^2} \right) \quad (j=1,2,3) \\ \frac{\partial u'_{jx}}{\partial x} + \frac{\partial u'_{jy}}{\partial y} = 0 \end{cases} \quad (2)$$

З урахуванням заданого виду збурень (1) система (2) зведена до системи звичайних лінійних однорідних диференціальних рівнянь і розв'язана аналітично. Граничними умовами при $x = \pm\infty$ є умови обмеженості збурень. Як граничні умови сполучення збурень з обох боків зони полум'я використані інтегральні теореми про зміну маси й вектора імпульсу для об'єму σ , замкненого в елементарному шарі dy (рис. 5), що дозволяє уникнути детального розгляду процесів, які відбуваються в зоні полум'я, яка залишається свого роду «чорним ящиком».

Підстановка часткових розв'язків системи (2) у граничні умови приводить до задачі на власні значення, через аналітичне розв'язання якої отримане характеристичне рівняння виду

$$F(z) = 0, \quad (3)$$

де $F(z)$ — досить громіздка багатопараметрична функція, а величина z являє собою безрозмірне власне число

$$z = -\frac{i\omega}{hu_1} \quad (4)$$

Знак дійсної частини величини z визначає стійкість полум'я (при $\text{Re } z > 0$ полум'я нестійке).

Найважливішим параметром у рівнянні (4) є величина $\xi = hL$, яка виражає відношення довжини зони полум'я до довжини хвилі збурювання. У граничному випадку довгохвильових збурень і великих чисел Рейнольдса $\text{Re}_\lambda = \lambda u_1 / \nu_1 \approx \lambda / L$, що відповідає $\xi \ll 1$ ($\xi \rightarrow 0$), розв'язок рівняння (3) знаходиться у вигляді ступеневого розкладання по ξ , а саме

$$z = z_0 + z_1 \xi + \dots \quad (5)$$

тобто у вигляді асимптотичного розкладання по величині $1/\text{Re}_\lambda$. Головний член асимптотичного розкладання (5) збігається з нестійким коренем Ландау

$$z_0 = \frac{\delta}{1+\delta} \left(-1 + \sqrt{1 + \delta - \frac{1}{\delta}} \right), \quad z_0 > 0, \quad (6)$$

а знайдений аналітично член $z_1 \xi$ визначається зі співвідношення

$$-\left(1+\frac{\delta_2}{\delta_2+1}z_0\right)z_1=z_0\left[\frac{1}{2}\left(1+\frac{z_0}{2}\right)(2\delta_2+1)+\left(\frac{\delta_2}{\delta_3}-1\right)+\delta_2^m\left(\frac{\delta_2+1}{\delta_2}z_0+\delta_3+3\right)\right]+$$

$$+\frac{1}{2}(\delta_2-1)\left(1+2z_0+\frac{z_0^2}{\delta_3}\right), \quad (7)$$

де

$$\delta_2=\delta, \quad \delta_3=\delta_2-\frac{\delta_2-1}{e}, \quad (8)$$

причому $\delta=\delta_2=\frac{\rho_1}{\rho_2}>1$ є відношенням густини вихідної горючої суміші до густини продуктів згоряння, а величина $m(0,5\leq m\leq 1)$ – показник ступеня в ступеневій залежності динамічного коефіцієнту в'язкості від абсолютної температури. З рівняння (7) очевидно, що

$$z_1 < 0 \quad (9)$$

Від'ємність додаткового члена $z_1\xi$ свідчить про стабілізуючий ефект в'язкості.

На основі співвідношень (7) і (8) визначені критичне значення числа Рейнольдса, перевищення якого означає розвиток нестійкості, та довжина хвилі λ_m максимально швидко зростаючого з часом збурення, яка застосовується для оцінки гасячої відстані. Отримані результати добре погоджуються з відомими експериментальними даними, що підтверджує коректність створеної теорії.

Спільний розгляд впливу в'язкості й стискальності середовища на процес розповсюдження малих збурень стаціонарного полум'я надзвичайно ускладнює задачу, тому вплив стискальності розглянутий окремо. При цьому фронт полум'я моделюється поверхнею розриву (стрибком), а збурення описуються лінеаризованими рівняннями нерозривності, Ейлера та балансу енергії

$$\begin{cases} \frac{\partial u'_{jx}}{\partial t} + u_j \frac{\partial u'_{jx}}{\partial x} + \frac{1}{\rho_j} \frac{\partial p'_j}{\partial x} = 0 \\ \frac{\partial u'_{jy}}{\partial t} + u_j \frac{\partial u'_{jy}}{\partial x} + \frac{1}{\rho_j} \frac{\partial p'_j}{\partial y} = 0 \\ \frac{\partial \rho'_j}{\partial t} + u_j \frac{\partial \rho'_j}{\partial x} + \rho_j \left(\frac{\partial u'_{jx}}{\partial x} + \frac{\partial u'_{jy}}{\partial y} \right) = 0 \\ \frac{\partial \rho'_j}{\partial t} + u_j \frac{\partial \rho'_j}{\partial x} + \alpha_j \frac{\partial \rho'_j}{\partial t} + \alpha_j u_j \frac{\partial \rho'_j}{\partial x} = 0, \end{cases} \quad (j=1,2,3) \quad (10)$$

де

$$\alpha_j = \left(\frac{\partial h_j}{\partial \rho_j} \right)_{p_j} \left[\left(\frac{\partial h_j}{\partial p_j} \right)_{\rho_j} - \frac{1}{\rho_j} \right]^{-1} \quad (11)$$



Граничними умовами на поверхні розриву, що відповідає фронту полум'я, є закони збереження маси, імпульсу та енергії. Характеристичне рівняння (3) містить як параметр малу величину M_1^2 ($M_1 = \frac{u_1}{a_1} < 1$ – число Маха, u_1 – швидкість нормального горіння, a_1 – швидкість звуку у вихідній горючій суміші). Розв'язання характеристичного рівняння допускає ступеневе розкладення по M_1^2 , а саме

$$z = z_0 + z_1 M_1^2 + \dots, \quad (12)$$

де z_0 є нестійкий корінь Ландау (6), а величина z_1 залишається від'ємною, що свідчить про стабілізуючий ефект стискальності. Визначено критичне значення числа Маха, перевищення якого означає нестійкість. Значення критичного числа Маха дозволяють оцінити, який саме вибуховий процес – дефлаграційний або детонаційний – має місце внаслідок розвитку нестійкості.

Розглянуто питання стійкості полум'я, що розповсюджується в плоских каналах і круглих циліндричних трубах.

При розповсюдженні фронту полум'я ($x=0$) між двома твердими бічними стінками $y=-d$ й $y=d$ плоским каналом шириною $2d$ (рис. 6) на стінках каналу задовольняється гранична умова їхньої непроникності

$$u'_{fy} = 0, \quad y = \pm d \quad (13)$$

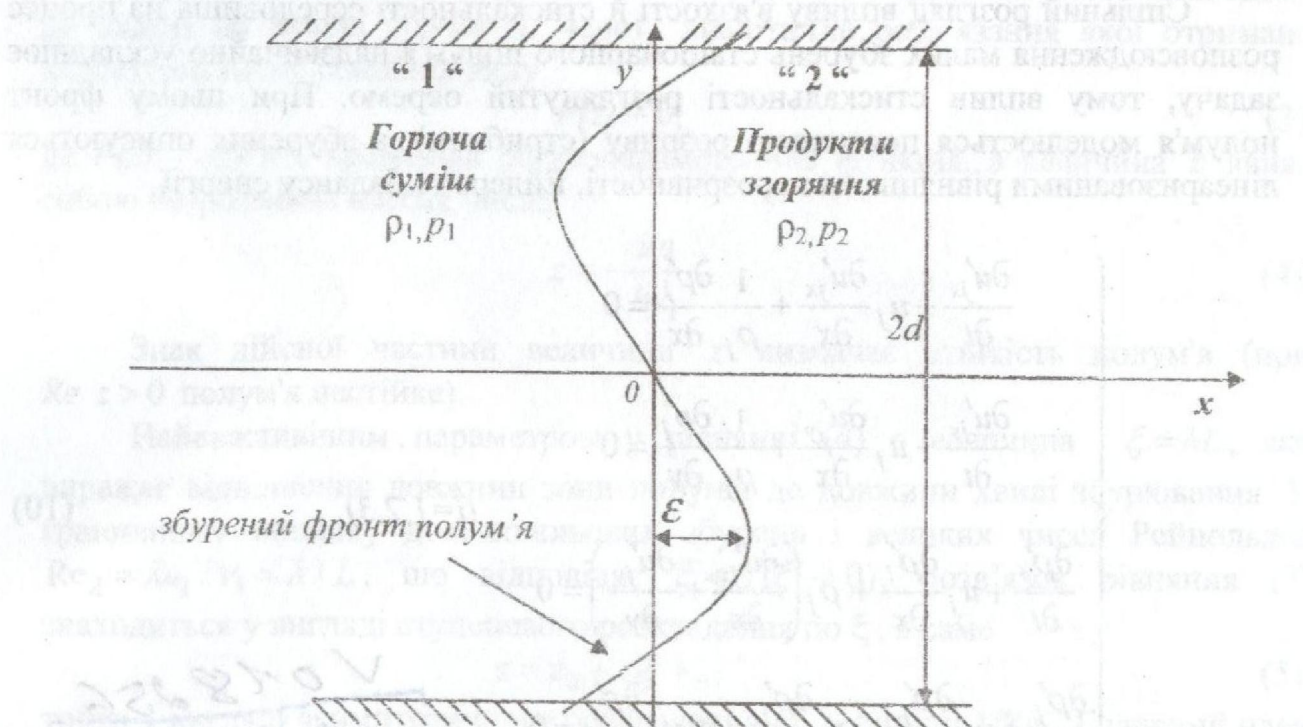


Рисунок 6 – Модель полум'я в плоскому каналі

Співвідношення (13) приводить до виразу

$$\lambda = 4d/n \quad (n=1,2,\dots), \quad (14)$$

тобто має місце дискретизація спектру довжин хвиль λ .

При розповсюдженні полум'я круглою циліндричною трубою розглядається наступна математична модель горіння. У напрямку осі z в області вихідної горючої суміші «1» ($z < 0$) тече ідеальний (нев'язкий) газ із постійною досить малою звуковою швидкістю, величина якої дозволяє вважати середовище нестисливим. Площині $z = 0$ відповідає фронт полум'я (сильний розрив), за яким перебуває зона продуктів згорання «2» ($z > 0$). Газ тече в круглій циліндричній трубі радіуса r_0 (рис. 7). Фізичні параметри газу у вихідній горючій суміші «1» та у продуктах згорання «2» зв'язані законами збереження маси та імпульсу.

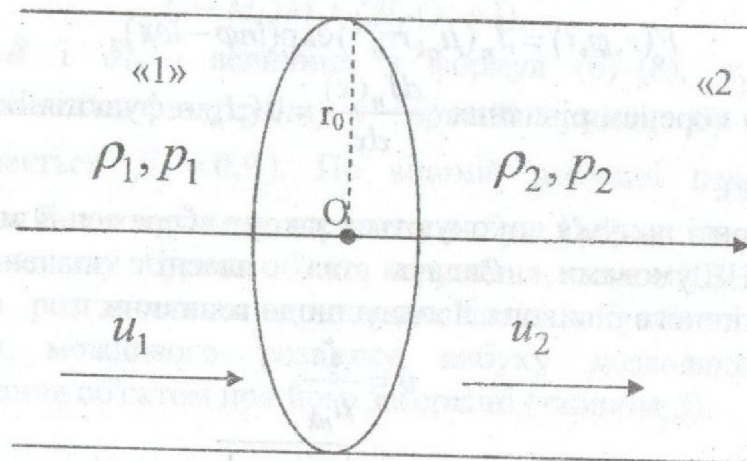


Рисунок 7 – Модель стаціонарного полум'я в круглій трубі

Течія середовища описується системою рівнянь Ейлера та нерозривності. Досліджується стійкість стаціонарного розв'язання цієї системи рівнянь стосовно малих збурень радіального u'_{jr} , тангенціального $u'_{j\varphi}$ та аксіального u'_{jz} компонентів вектора швидкості, а також тиску p'_j в зоні вихідної горючої суміші ($j=1$) і в продуктах згорання ($j=2$). Ці збурення описуються лінеаризованою системою диференціальних рівнянь із частковими похідними

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial u'_{jr}}{\partial t} + u_j \frac{\partial u'_{jr}}{\partial z} + \frac{1}{\rho_j} \frac{\partial p'_j}{\partial r} = 0 \\ \frac{\partial u'_{j\varphi}}{\partial t} + u_j \frac{\partial u'_{j\varphi}}{\partial z} + \frac{1}{\rho_j r} \frac{\partial p'_j}{\partial \varphi} = 0 \\ \frac{\partial u'_{jz}}{\partial t} + u_j \frac{\partial u'_{jz}}{\partial z} + \frac{1}{\rho_j} \frac{\partial p'_j}{\partial z} = 0 \\ \frac{\partial u'_{jr}}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial u'_{j\varphi}}{\partial \varphi} + \frac{\partial u'_{jz}}{\partial z} + \frac{u'_{jz}}{r} = 0 \end{array} \right. \quad (15)$$

Система (15) розв'язана аналітично, при цьому задовольняється гранична умова непроникності твердої стінки ($u'_{jr} = 0$ при $r = r_0$), а також умови регулярності збурень при $r \rightarrow 0$ і періодичності збурень по φ .

Рівняння збуреної поверхні фронту полум'я задано у вигляді

$$z = \varepsilon(r, \varphi, t), \quad (16)$$

де

$$\varepsilon = A_{00} r_0 F(r, \varphi, t), \quad (17)$$

причому $F(r, \varphi, t)$ задано співвідношенням

$$F(r, \varphi, t) = J_n(\mu_{nk} r r_0^{-1}) \exp(in\varphi - i\omega t), \quad (18)$$

а μ_{nk} є k -им коренем рівняння $\frac{dJ_n(x)}{dx} = 0$ (J_n – функція Бесселя першого роду n -го порядку).

На фронті полум'я виконуються закони збереження маси й імпульсу, які є граничними умовами. Задача на власні значення зводиться до характеристичного рівняння Ландау щодо величини

$$\theta = \frac{\zeta}{\mu_{nk}}, \quad (19)$$

з нестійким коренем $\theta = \frac{\delta}{1+\delta}(-1 + \sqrt{1 + \delta - \frac{1}{\delta}})$, де $\delta = \delta_2 = \frac{\rho_1}{\rho_2}$, а ζ є величина, визначена співвідношенням

$$\zeta = -\frac{i\omega r_0}{u_1} \quad (20)$$

На відміну від плоского випадку безрозмірне власне число має вигляд

$$\theta = -\frac{i\omega r_0}{u_1 \mu_{nk}} \quad (21)$$

Таким чином доведено коректність теорії Ландау не тільки для плоского фронту полум'я, яке розповсюджується у відкритому просторі, але й для горіння в круглій циліндричній трубі. При цьому спектр довжин хвиль збурень є (як й у випадку плоского каналу) не безперервним, а дискретним, тому що збурення задаються у вигляді $\sim J_n(\mu_{nk} r r_0^{-1}) \exp(in\varphi - i\omega t)$.

Розглянуто задачі стійкості полум'я, що розповсюджується у закритих чи напіввідкритих каналах або трубах. Граничною умовою на закритому кінці каналу або труби є відсутність збурень нормальної компоненти швидкості, а граничною умовою на відкритому кінці – відсутність збурень тиску. Доведено, що такі торцеві ефекти не стабілізують полум'я. Всі зроблені висновки по нестійкості полум'я стосуються не тільки горіння гомогенних газових сумішей, але поширюються також і на горіння деяких гетерогенних середовищ, зокрема на горіння ППС (пилоповітряної суміші), якщо ця суміш є монодисперсною й тонкодисперсною.

Нестійкість фронту полум'я відносно малих збурень є причиною переходу горіння у вибух з виникненням ударної хвилі перед фронтом прискорюваного полум'я. Довжина переддетонаційної ділянки (відстань від точки загоряння до точки виникнення ударної хвилі) X_d , коли прискорення полум'я відбувається у відкритому просторі або в досить широких трубах і каналах, визначається як результат розв'язання задачі про ініціювання ударної хвилі прискорюваним поршнем, причому роль поршня відіграє полум'я.

Для довжини переддетонаційної ділянки X_d отримана наступна оцінка

$$X_d = -\frac{4z_1L}{(1-M_1)M_1z_0^2\beta_f(\gamma_1+1)}, \quad (22)$$

де z_0 , z_1 , $\delta_2 = \delta$ і δ_3 — величини з формул (6)–(8), γ_1 — відношення теплоємностей (показник політропи) у горючій суміші, β_f — безрозмірний параметр (приймається $\beta_f = 0,9$). По відомій довжині переддетонаційної ділянки оцінюється й час переходу горіння у вибух. Цей час можна розглядати як інерційність по каналу збурень об'єкта керування, яким є ПВНО, причому як збурюючий вплив розглядається виникнення полум'я. Зроблені на основі (22) розрахунки часу можливого розвитку вибуху дозволяють оцінювати можливості керування об'єктом при його загорянні (таблиця 3).

Таблиця 3 – Можливості керування при загорянні

Інерційність/ час переходу горіння у вибух	Вибухонебезпечне середовище	Можливості керування при загорянні	Час для ухвалення рішення	Способи дії
0,0005÷5с	газові суміші, близькі до стехіометрії	<u>відсутні</u>	<u>немає</u>	організаційне керування для недопущення загоряння
5÷15с	газові суміші, близькі до концентраційних меж загоряння; деякі пилозависі та аерозолі	<u>майже</u> <u>відсутні</u> ; <u>можлива</u> <u>САК</u>	<u>немає</u>	інгібіювання; вибухозахист
15с÷2хв	пилозависі та аерозолі	<u>САК</u> ; <u>можлива</u> <u>АСК з</u> <u>ІСППР</u>	<u>майже</u> <u>немає</u>	інгібіювання; вибухозахист
більше 2 хв.	пилозависі та аерозолі	<u>можлива</u> <u>АСК з</u> <u>ІСППР</u>	<u>є</u>	організаційне керування; інгібіювання; вибухозахист

Формула (22) дає аналітичну оцінку довжини переддетонаційної ділянки для внутрішньо нестійкого полум'я, що розповсюджується у відкритому просторі, гладкому каналі або гладкій трубі. Оцінка довжини переддетонаційної ділянки є основою оцінки часу переходу горіння у вибух.

Універсальна (придатна майже для всіх видів горючих середовищ та всіх реально застосовуваних геометричних форм) математична модель ПВНО як об'єкта керування описує поведінку ПВНО в залежності від його стану та можливих збурень. Поведінка ПВНО визначається непрямою залежністю показника вибухонебезпечності $\tilde{B}$ від фізико-хімічних параметрів горючого середовища та геометричних параметрів об'єму. Ця залежність не може бути представлена як конкретна (навіть неявна) функція. Але для кожного конкретного фізико-хімічного стану будь-якого ПВНО, який може моделюватися як необмежений простір, прямокутний канал чи кругла труба, значення $\tilde{B}$ та тривалість розвитку можливого вибуху можуть бути обчислені на базі розв'язання наведених вище задач про стійкість горіння з наступним обчисленням довжини переддетонаційної ділянки.

Математичне моделювання процесів детонації принципово відрізняється від моделювання процесів повільного горіння, тому що розгляд розповсюдження детонаційних хвиль обов'язково вимагає урахування стискальності середовища та рівняння хімічної кінетики. Розглянуто ряд задач про стійкість детонаційних хвиль, які розповсюджуються у відкритому просторі, в каналах і в трубах. Показана нестійкість газової детонації й наведена методика оцінки розміру детонаційної комірки. Знання розмірів детонаційної комірки дозволяє діагностувати можливість розвитку детонаційного вибуху та приймати рішення щодо проектування трубо- і газопровідних систем з недопущенням виходу можливої детонації у відкритий простір, по конструюванню пасток детонації та по заглушенню можливих детонаційних вибухів.

Таким чином на базі аналітичного розв'язання задач теорії гідродинамічної стійкості хвиль полум'я та детонації розроблено математичну модель виникнення та розвитку вибуху, що дозволило ідентифікувати стан ПВНО з точки зору вибухонебезпечності та оцінювати можливість переходу повільного горіння у вибухову дефлаграцію або в детонацію, тривалість такого переходу та довжину переддетонаційної ділянки. На підґрунті математичної моделі виникнення та розвитку вибуху розроблено універсальну математичну модель ПВНО як об'єкта керування, що дозволило коректно визначати інерційність об'єкту по каналу збурень, принципові можливості керування та керуючі впливи для різних видів ПВНО. Але задачу оцінювання вибухонебезпечності не можна вважати розв'язаною доки немає алгоритму розрахунку показника $\tilde{B}$ для реальних ПВНО, які не завжди можуть бути промодельовані як відкритий простір, або як прямі канали чи труби з гладкими стінками. Отже наступним завданням має бути створення нових засобів математичного забезпечення АСК реальними ПВНО на базі оцінювання їх вибухонебезпечності – таке оцінювання може бути тільки нечітким.

Третій розділ (Нечіткі оцінки вибухонебезпечності та математичне забезпечення АСК вибухонебезпечним об'єктом) присвячений нечітким оцінкам вибухонебезпечності елементарних і складних ПВНО. Необхідність нечіткої оцінки вибухонебезпечності ПВНО обґрунтована:

- складністю достатньо точного визначення значень базових фізико-хімічних параметрів;
- недостатньою строгістю методів фізичного й математичного моделювання процесів горіння та детонації;
- неповною адекватністю фізичних моделей ПВНО реальним вибухонебезпечним об'єктам.

Порушення гладкості стінок труб і каналів сприяє скороченню довжини переддетонаційної ділянки, причому у випадку регулярних шорсткостей довжина переддетонаційної ділянки зменшується на порядок і більше. Наявність у каналів і труб вигинів сприяє виникненню дефлаграційних вибухових хвиль і детонацій. Дати точну кількісну оцінку впливу шорсткостей і вигинів стінок на довжину переддетонаційної ділянки неможливо. Тому при побудові ІСППР з вибухобезпечності довжині переддетонаційної ділянки дається нечітка оцінка, заснована на формулі (22).

Нечітке оцінювання пожежонебезпеки елементарного потенційно вибухонебезпечного об'єкта (ЕПВНО) $\tilde{P}$ виконується за формулою

$$\tilde{P} = \bigwedge_{i=1}^n \tilde{\Phi}_i^P, \quad (23)$$

де $\tilde{\Phi}_i^P$ – нечітка логічна змінна, що виражає вплив i -го фактора на вибухонебезпечність об'єкта. Як правило

$$\tilde{P} = \tilde{K} \wedge \tilde{D} \wedge \tilde{P}, \quad (24)$$

де $\tilde{K}$ виражає дотримання концентраційних меж запалення, $\tilde{D}$ – дотримання відсутності гасячої відстані $d_{кр}$, $\tilde{P}$ – перевищення початкового тиску над критичним тиском $P_{кр}$, нижче якого горіння в даних умовах неможливо. Інакше кажучи,

$$\tilde{K} = \begin{cases} \frac{C}{НКПВ}, & \text{при } 0 \leq C \leq НКПВ \\ 1, & \text{при } НКПВ \leq C \leq ВКПВ \\ 1 - \frac{C - ВКПВ}{100}, & \text{при } ВКПВ \leq C \leq 100 \end{cases}, \quad (25)$$

$$\tilde{D} = \begin{cases} \frac{d}{d_{кр}}, & \text{при } 0 \leq d \leq d_{кр} \\ 1, & \text{при } d_{кр} \leq d \end{cases}, \quad (26)$$

$$\tilde{p} = \begin{cases} \frac{p}{p_{кр}}, & \text{при } 0 \leq p \leq p_{кр} \\ 1, & \text{при } p_{кр} \leq p \end{cases}, \quad (27)$$

де C – концентрація пального, p – тиск, d – діаметр труби (ширина каналу).

Під відносною вибухонебезпечністю ПВНО мається на увазі можливість переходу горіння у вибух. Нечітке оцінювання відносної вибухонебезпечності

$\tilde{OB}$ для ЕПВНО виконується за формулою

$$\tilde{OB} = \bigwedge_{j=1}^m \tilde{\Phi}_j^{OB}, \quad (28)$$

де $\tilde{\Phi}_j^{OB}$ – нечітка логічна змінна, що виражає вплив j -го фактора на відносну вибухонебезпечність об'єкта. Як правило,

$$\tilde{OB} = \tilde{L}, \quad (29)$$

причому $\tilde{L}$ виражає перевищення каналом або трубою довжини переддетонаційної ділянки $L_{нды}$, тобто

$$\tilde{L} = \begin{cases} \frac{L}{L_{нды}}, & \text{при } 0 \leq L \leq L_{нды} \\ 1, & \text{при } L_{нды} \leq L \end{cases}, \quad (30)$$

де L – довжина труби (каналу).

Нечітке оцінювання вибухонебезпечності $\tilde{B}$ для ЕПВНО здійснюється за формулою

$$\tilde{B} = \tilde{P} \wedge \tilde{OB} \quad (31)$$

З погляду забезпечення власне вибухобезпечності метою керування є мінімізація значення величини $\tilde{OB}$, при цьому

$$\tilde{OB} = 0 \Rightarrow \tilde{B} = 0 \quad (32)$$

Нечіткі оцінки пожежонебезпечності $\tilde{P}$, відносної вибухонебезпечності $\tilde{OB}$ та вибухонебезпечності $\tilde{A}$ складного ПВНО визначаються як

$$\tilde{P} = \bigvee_{i=1}^n \tilde{P}_i, \quad \tilde{OB} = \bigvee_{i=1}^n \tilde{OB}_i, \quad \tilde{B} = \bigvee_{i=1}^n \tilde{B}_i = \bigvee_{i=1}^n (\tilde{P}_i \wedge \tilde{OB}_i), \quad (33)$$

де n – загальна кількість ЕПВНО, з яких складається даний складний об'єкт, $\tilde{P}_i$, $\tilde{OB}_i$, $\tilde{B}_i$ – пожежонебезпека, відносна вибухонебезпечність та вибухонебезпечність i -го ЕПВНО відповідно. З (33) випливає, що $\tilde{B} = \tilde{P} \wedge \tilde{OB} \wedge \dots \wedge \tilde{B}_i$ взагалі для складного ПВНО $\tilde{B} \neq \tilde{P} \wedge \tilde{OB}$.

Очевидно, що

$$\exists \alpha \in \{1, \dots, n\} \quad \tilde{B} = \tilde{B}_\alpha \quad \tilde{B}_\alpha = \max_i \tilde{B}_i, \text{ де } \tilde{B}_\alpha = (\tilde{P}_\alpha \wedge \tilde{OB}_\alpha), \quad (34)$$

$$\exists \beta \in \{1, \dots, n\} \tilde{O}V = \tilde{O}V_{\beta} \quad \tilde{O}V_{\beta} = \max_i \tilde{O}V_i, \quad (35)$$

де α – найбільш вибухонебезпечний ЕПВНО (В_ЕПВНО), β – найбільш відносно вибухонебезпечний ЕПВНО (В_ЕПВНО). Якщо $\tilde{P}_{\alpha} > \tilde{O}V_{\beta}$, то ІСППР рекомендує зробити першочерговий керуючий вплив на об'єкт α , у протилежному випадку – на об'єкт β .

Для нечітких змінних $\tilde{P}$, $\tilde{O}V$ і $\tilde{B}$ введені відповідні лінгвістичні змінні:

$VP = \langle \text{«Можливість пожежі»}, T_{VP}, [0;1] \rangle$;

$VP_{GV} = \langle \text{«Можливість переходу горіння у вибух»}, T_{VP_{GV}}, [0;1] \rangle$;

$VB = \langle \text{«Можливість вибуху»}, T_{VB}, [0;1] \rangle$,

причому терм-множини цих лінгвістичних змінних – T_{VP} , $T_{VP_{GV}}$ і T_{VB} відповідно мають вигляд $T_i = \langle \text{«дуже мала»}, \text{«мала»}, \text{«середня»}, \text{«велика»}, \text{«дуже велика»} \rangle$, де $i = VP, VP_{GV}, VB$.

Таким чином, запропоновано новий показник, названий відносною вибухонебезпечністю об'єкта $\tilde{O}V$. Розроблені алгоритми обчислення нечітких змінних $\tilde{P}$ (пожежонебезпечність), $\tilde{O}V$ (відносна вибухонебезпечність) і $\tilde{B}$ (вибухонебезпечність). Запропоновані методи кількісного оцінювання вибухонебезпечності (в тому числі відносної) дозволяють формалізувати критерії діагностики вибухонебезпечної ситуації.

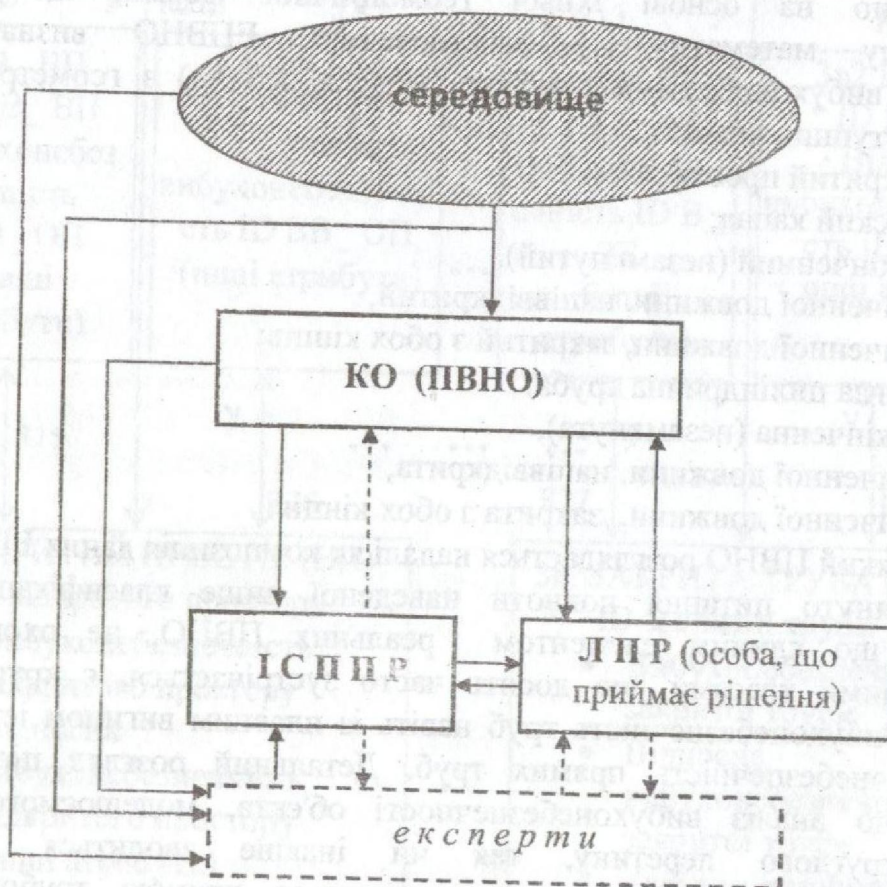


Рисунок 8 – Схема взаємодії ІСППР з вибухобезпечності та ПВНО

Розроблено модель прийняття рішень з вибухобезпечності, яка базується на поєднанні нечіткої логіки із класичною моделлю прийняття рішень. Схема взаємодії ІСППР з ПВНО зображена на рис. 8. Від стандартної схеми взаємодії ІСППР з об'єктом керування ця схема відрізняється тим, що завдяки розробленому математичному забезпеченню експерти в ній можуть бути взагалі відсутні.

Таким чином на основі математичних моделей вибухових процесів та ПВНО створено засоби математичного забезпечення ІСППР з вибухобезпечності, які вирізняються поєднанням класичних методів прийняття рішень з методами прийняття рішень в умовах невизначеності, що дозволило ввести показники вибухонебезпечності та відносної вибухонебезпечності як нечіткі логічні змінні та розробити алгоритми обчислення цих показників, а також розробити алгоритми, які забезпечують підтримку прийняття рішень з вибухобезпечності ПВНО. Нове математичне забезпечення АСК вимагає також розробки нового інформаційного забезпечення.

Четвертий розділ (*Інформаційне забезпечення АСК вибухонебезпечним об'єктом*) присвячений створенню нового інформаційного забезпечення АСК ПВНО, що відповідає розробленому математичному забезпеченню.

Довільний ПВНО розглянутий як складна ієрархізована система. Розроблено принципи декомпозиції цієї системи, введене поняття елементарного потенційно вибухонебезпечного об'єкта (ЕПВНО). ЕПВНО класифіковано на основі їхньої геометричної форми, що відповідає розробленому математичному забезпеченню. ЕПВНО визначений як потенційно вибухонебезпечний об'єкт (модель об'єкта) з геометрією стінок одного з наступних видів:

1. Відкритий простір;
2. Плоский канал:
 - а) нескінченний (незамкнутий),
 - б) скінченної довжини, напіввідкритий,
 - в) скінченної довжини, закритий з обох кінців;
3. Кругла циліндрична труба:
 - а) нескінченна (незамкнута),
 - б) скінченної довжини, напіввідкрита,
 - в) скінченної довжини, закрита з обох кінців.

Будь-який ПВНО розглядається надалі як композиція даних ЕПВНО.

Розглянуто питання повноти наведеної вище класифікації ЕПВНО. Показано, що єдиним елементом реальних ПВНО, не охопленим 7-а вищевказаними класами, що досить часто зустрічається, є кругла труба з вигином. Вибухонебезпечність труб навіть із плавним вигином істотно вище, ніж вибухонебезпечність прямих труб. Детальний розгляд цієї проблеми показує, що аналіз вибухонебезпечності об'єкта, моделюемого вигнутою трубою круглого перетину, так чи інакше зводиться до аналізу вибухонебезпечності об'єкта, що моделюється прямою трубою круглого перетину, тобто одним із ПВНО класу 3.

Розроблено універсальну інформаційну модель складного потенційно вибухонебезпечного об'єкта (СПВНО), основний робочий продукт якої – діаграма інформаційної структури – представлений на рис. 9.

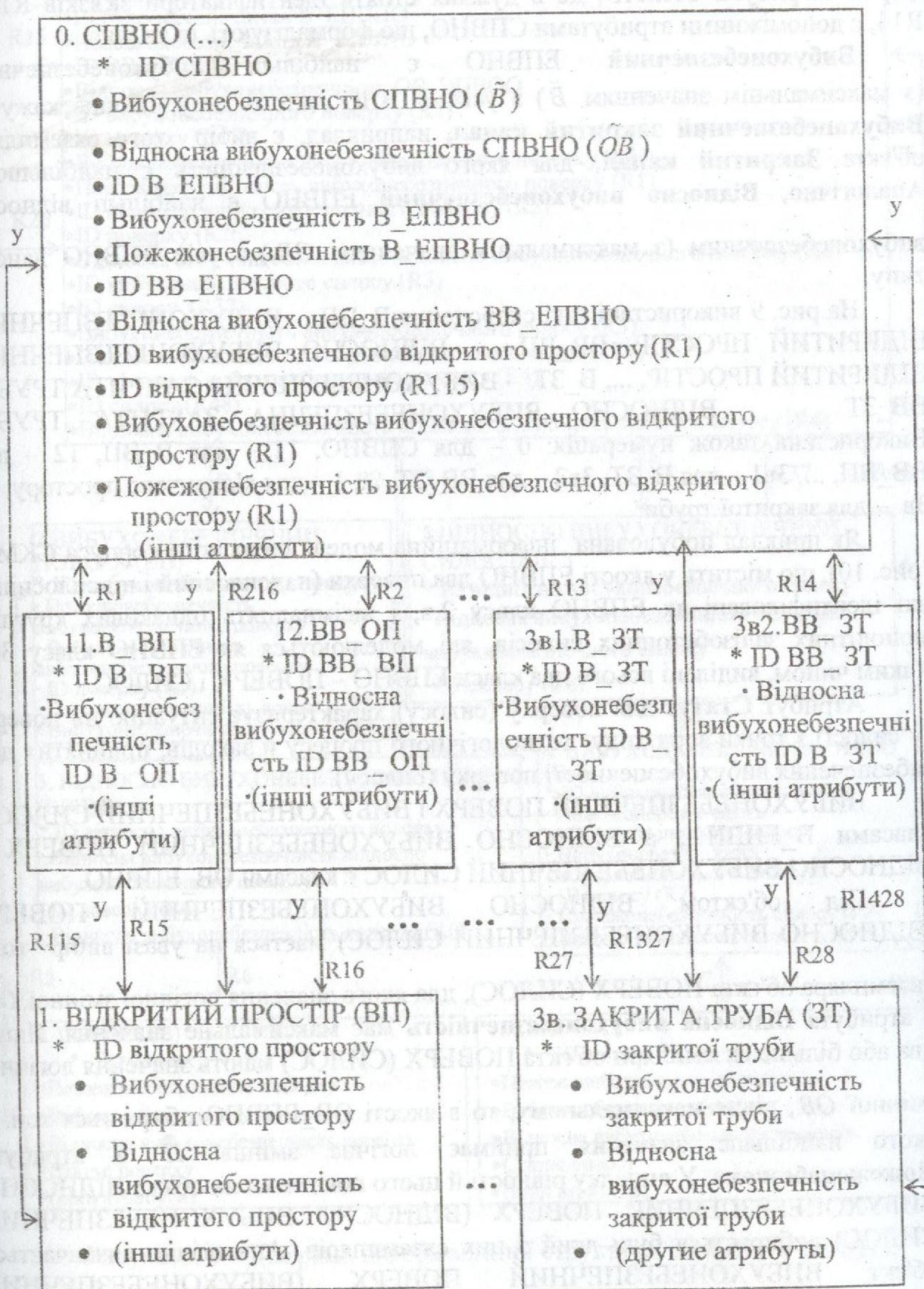


Рисунок 9 – Діаграма інформаційної структури СПВНО

СПВНО безпосередньо бере участь у зв'язках $R_1, \dots, R_{14}$ з різними ЕПВНО. Для всіх цих зв'язків СПВНО містить ЕПВНО; ЕПВНО, у свою чергу, міститься в СПВНО. Всі перераховані зв'язки є зв'язками 1:1 у безумовній формі. Атрибути СПВНО, де в дужках стоять ідентифікатори зв'язків $R_1, \dots, R_{14}$, є допоміжними атрибутами СПВНО, що формалізують ці зв'язки.

Вибухонебезпечний ЕПВНО є найбільш вибухонебезпечним (з максимальним значенням $\tilde{B}$) з усіх ЕПВНО даного типу. Інакше кажучи, **Вибухонебезпечний закритий канал**, наприклад, є вибір того екземпляра об'єкта **Закритий канал**, для якого вибухонебезпечність є найбільшою. Аналогічно, **Відносно вибухонебезпечний ЕПВНО** є найбільш відносно вибухонебезпечним (з максимальним значенням $\tilde{OB}$) з усіх ЕПВНО даного типу.

На рис. 9 використані такі скорочення: В_ВП – **ВИБУХОНЕБЕЗПЕЧНИЙ ВІДКРИТИЙ ПРОСТІР**, ВВ_ВП – **ВІДНОСНО ВИБУХОНЕБЕЗПЕЧНИЙ ВІДКРИТИЙ ПРОСТІР**, ..., В_ЗТ – **ВИБУХОНЕБЕЗПЕЧНА ЗАКРИТА ТРУБА**, ВВ_ЗТ – **ВІДНОСНО ВИБУХОНЕБЕЗПЕЧНА ЗАКРИТА ТРУБА**. Використана також нумерація: 0 – для СПВНО, 11 – для В_ВП, 12 – для ВВ_ВП, ..., 3в1 – для В_ЗТ, 3в2 – для ВВ_ЗТ, ..., 1 – для відкритого простору, ..., 3в – для закритої труби.

Як приклад побудована інформаційна модель силосного корпусу СКМ-6 (рис. 10), що містить у якості ЕПВНО два поверхи (надсилосний і підсилосний), які ідентифіковані як ЕПВНО класу 2.в, і вісімнадцять однакових круглих монолітних залізобетонних силосів, які моделюються як ЕПВНО класу 3.в. Таким чином, виділені всього два класи ЕПВНО – **ПОВЕРХ** і **СИЛОС**.

Атрибут **Статус** для поверху (силосу) характеризує ситуацію на поверсі (у силосі) з точки зору ходу технологічного процесу й заходів, прийнятих для забезпечення вибухобезпечності поверху (силосу).

ВИБУХОНЕБЕЗПЕЧНИЙ ПОВЕРХ і **ВИБУХОНЕБЕЗПЕЧНИЙ СИЛОС** є класами В_ЕПВНО, а **ВІДНОСНО ВИБУХОНЕБЕЗПЕЧНИЙ ПОВЕРХ** і **ВІДНОСНО ВИБУХОНЕБЕЗПЕЧНИЙ СИЛОС** є класами ОВ_ЕПВНО.

Під об'єктом **ВІДНОСНО ВИБУХОНЕБЕЗПЕЧНИЙ ПОВЕРХ** (**ВІДНОСНО ВИБУХОНЕБЕЗПЕЧНИЙ СИЛОС**) мається на увазі вибір того екземпляра об'єкта **ПОВЕРХ** (**СИЛОС**), для якого значення логічної змінної $\tilde{OB}$ з атрибута **Відносна вибухонебезпечність** має максимальне значення. Якщо два або більше екземпляри об'єкта **ПОВЕРХ** (**СИЛОС**) мають значення логічної змінної $\tilde{OB}$, рівне максимальному, то в якості ОВ_ЕПВНО обирається той, у якого найбільше значення приймає логічна змінна $\tilde{P}$ з атрибута **Пожежонебезпека**. У випадку рівності й цього показника як об'єкт **ВІДНОСНО ВИБУХОНЕБЕЗПЕЧНИЙ ПОВЕРХ** (**ВІДНОСНО ВИБУХОНЕБЕЗПЕЧНИЙ СИЛОС**) вибирається будь-який з цих екземплярів. Аналогічно визначається об'єкт **ВИБУХОНЕБЕЗПЕЧНИЙ ПОВЕРХ** (**ВИБУХОНЕБЕЗПЕЧНИЙ СИЛОС**).

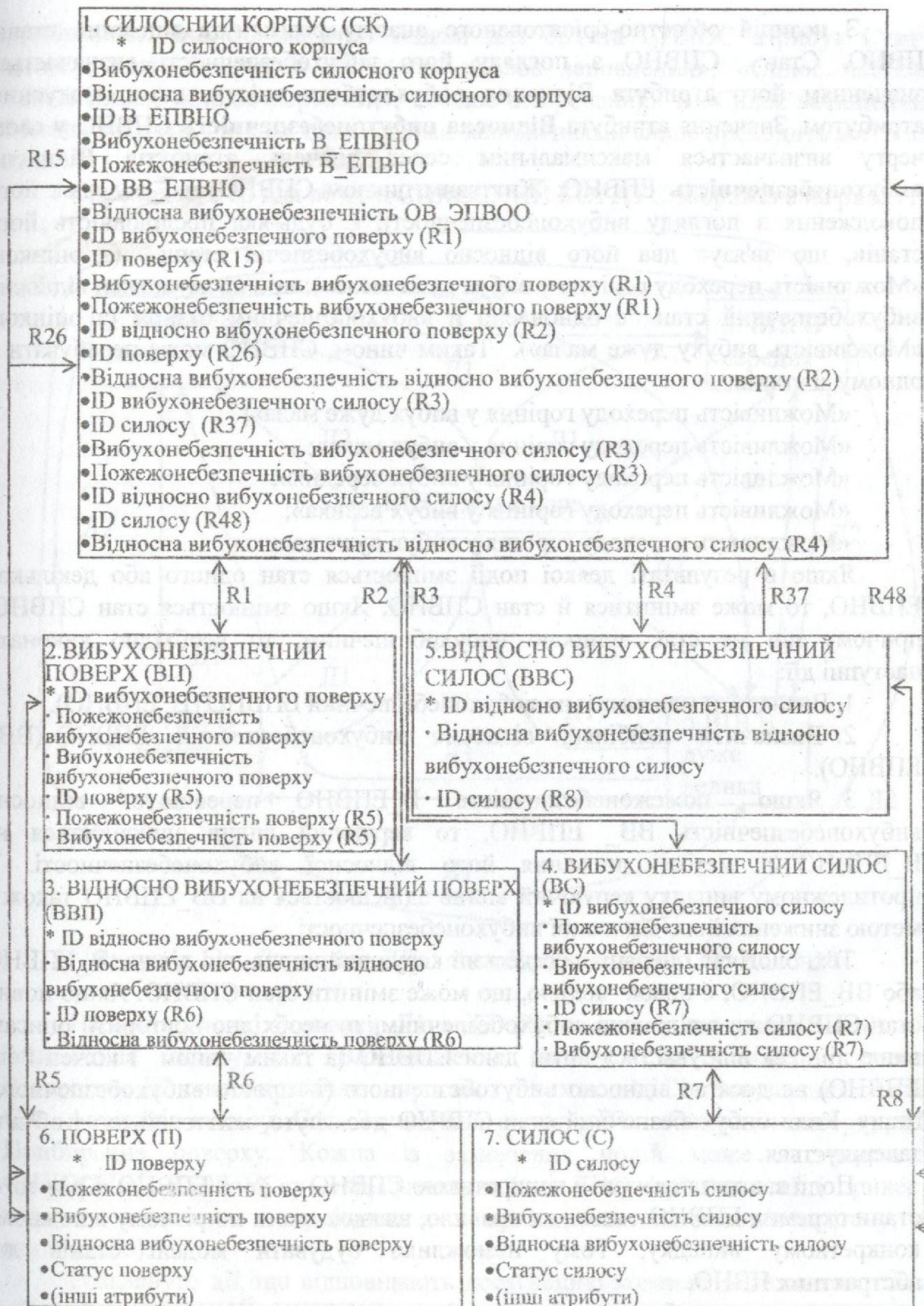


Рисунок 10 – Діаграма інформаційної структури силосного корпуса

З позицій об'єктно-орієнтованого аналізу розглянута множина станів ПВНО. Стан СПВНО з погляду його вибухобезпечності визначається значенням його атрибута **Відносна вибухонебезпечність**, що є статусним атрибутом. Значення атрибута **Відносна вибухонебезпечність** СПВНО у свою чергу визначається максимальним серед значень атрибутів **Відносна вибухонебезпечність** ЕПВНО. Життєвим циклом СПВНО, що моделює його поведінку з погляду вибухонебезпечності, є будь-яка послідовність його станів, що зв'язує два його відносно вибухобезпечні стани (з оцінкою «Можливість переходу горіння у вибух дуже мала»); при цьому кожен відносно вибухобезпечний стан є одночасно й вибухобезпечним станом (з оцінкою «Можливість вибуху дуже мала»). Таким чином, СПВНО може перебувати в одному зі станів:

- «Можливість переходу горіння у вибух дуже мала»;
- «Можливість переходу горіння у вибух мала»;
- «Можливість переходу горіння у вибух середня»;
- «Можливість переходу горіння у вибух велика»;
- «Можливість переходу горіння у вибух дуже велика».

Якщо в результаті деякої події змінюється стан одного або декількох ЕПВНО, то може змінитися й стан СПВНО. Якщо змінюється стан СПВНО, причому він не стає відносно вибухобезпечним, то необхідно виконати наступні дії:

1. Визначити максимально вибухобезпечний ЕПВНО ($V_{\text{ЕПВНО}}$).
2. Визначити найбільш відносно вибухобезпечний ЕПВНО ($ВВ_{\text{ЕПВНО}}$).

3. Якщо пожежонебезпечність $V_{\text{ЕПВНО}}$ перевищує відносну вибухонебезпечність $ВВ_{\text{ЕПВНО}}$, то керуючий вплив здійснюється на $V_{\text{ЕПВНО}}$ з метою зниження його відносної вибухонебезпечності. У протилежному випадку керуючий вплив здійснюється на $ВВ_{\text{ЕПВНО}}$ також з метою зниження його відносної вибухонебезпечності.

Технологічна операція або деякий керуючий вплив, що діє на $V_{\text{ЕПВНО}}$ або $ВВ_{\text{ЕПВНО}}$, є новою подією, що може змінити стан СПВНО. Якщо новий стан СПВНО не є відносно вибухобезпечним, то необхідно повторити описані вище дії. Так відбувається доти, доки СПВНО (а таким чином і кожен його ЕПВНО) не досягає відносно вибухобезпечного (і просто вибухобезпечного) стану. Коли вибухобезпечний стан СПВНО досягнуто, життєвий цикл об'єкта завершується.

Події завжди пов'язані з конкретикою СПВНО та його ЕПВНО. Крім того, стани окремих ЕПВНО також, як правило, визначаються по-різному в кожному конкретному випадку. Тому неможливо будувати моделі станів для абстрактних ПВНО.

Як приклад побудована модель станів для силосного корпусу СКМ-6.

Складено діаграми переходів у стани (ДПС) і таблиці переходів у стани (ТПС) для об'єктів ПОВЕРХ, СИЛОС і СИЛОСНИЙ КОРПУС. В інформаційній моделі для об'єкта ПОВЕРХ атрибут **Статус поверху** може приймати значення: «Поверх не прибраний», «Поверх аспірований», «Поверх

прибраний». В інформаційній моделі для об'єкта СИЛОС атрибут Статус силосу може приймати значення: «Силос заповнений», «Силос частково заповнений», «Силос порожній», «Силос аспірований» й «Силос зачищений». Можна вважати, що між двома своїми заповненнями силос проходить життєвий цикл.

Спрощена ДПС для об'єкта СИЛОСНИЙ КОРПУС зображена на рис. 11.

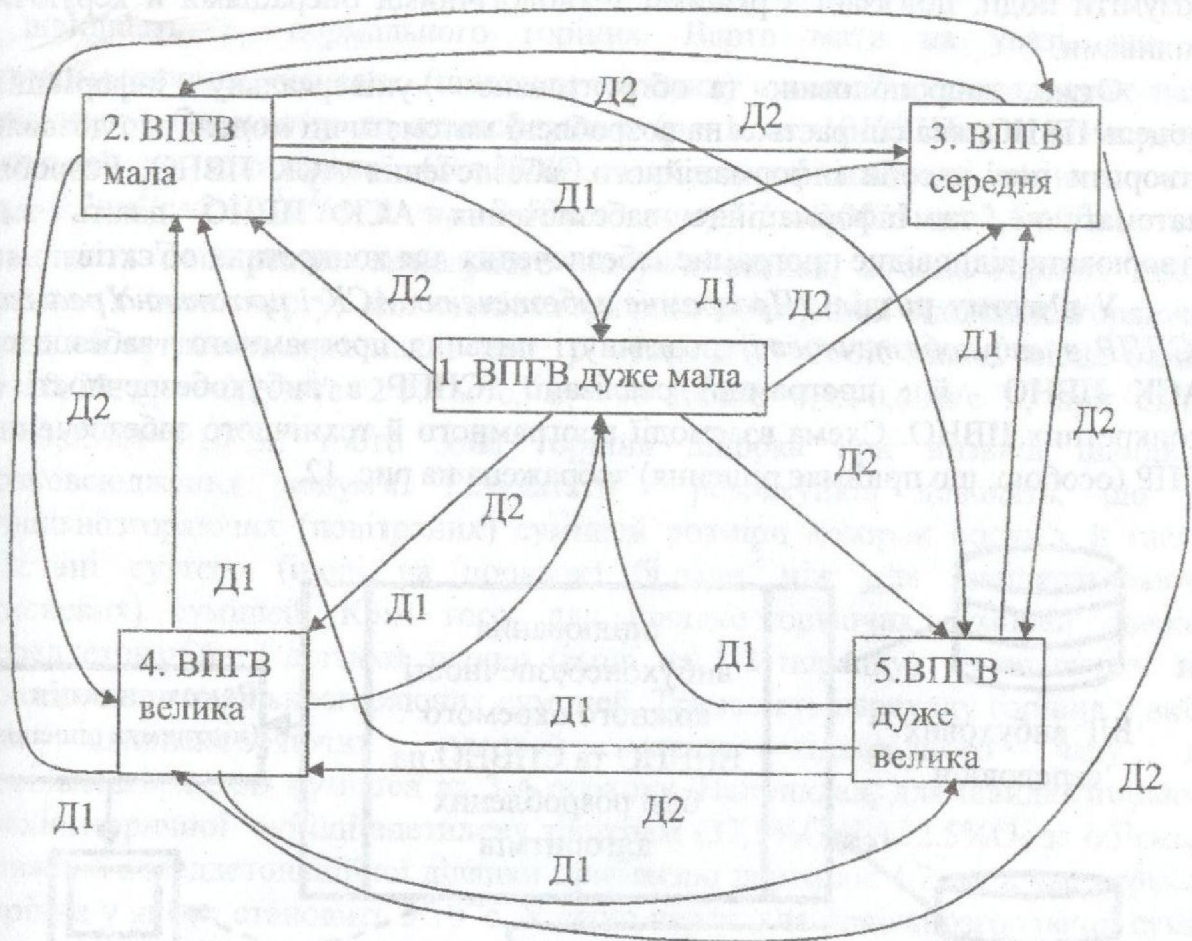


Рисунок 11 – Спрощена ДПС для об'єкта СИЛОСНИЙ КОРПУС

Введено умовні позначки Д1 і Д2. Д1 – одна з наступних подій: С1: Заповнення силосу; С2: Вивантаження силосу; С4: Зачищення силосу. Відповідно Д2 також позначає одну з наступних подій: С1: Заповнення силосу; С3: Аспірація силосу; С4: Зачищення силосу; П1: Аспірація поверху; П2: Прибирання поверху. Кожна із зазначених подій може як перевести СИЛОСНИЙ КОРПУС у стан, зазначений на ДПС стрілкою, так і привести знову до поточного стану (однак це – нове досягнення поточного стану, що ініціює дію).

Розглянуто дії, що відповідають досягненню кожного з можливих станів об'єкта СИЛОСНИЙ КОРПУС на Рис.11. Досягненню стану **Можливість переходу горіння у вибух дуже мала** відповідає бездіяльність. Досягненню будь-якого іншого стану відповідає наступна дія: якщо $ВВ_ЕПВНО.Відносна\ вибухонебезпечність \geq В_ЕПВНО.Пожежонебезпечність$,

то рекомендація ЛПР (особі, що приймає рішення) зробити керуючий вплив на ВВ_ЕПВНО (ПОВЕРХ або СИЛОС), інакше рекомендація ЛПР зробити керуючий вплив на В_ЕПВНО (ПОВЕРХ або СИЛОС).

ДПС для об'єкта СИЛОСНИЙ КОРПУС є фактично універсальною й має місце майже для кожного СПВНО, якщо під наборами можливих подій Д1 і Д2 розуміти події, пов'язані з різними технологічними операціями й керуючими впливами.

Отже запропоновано та обґрунтовано універсальну інформаційну модель ПВНО, яка спирається на розроблені математичні моделі, що дозволило створити нові засоби інформаційного забезпечення АСК ПВНО. Розроблені математичне та інформаційне забезпечення АСК ПВНО дають змогу створювати відповідне програмне забезпечення для конкретних об'єктів.

У п'ятому розділі (Програмне забезпечення АСК і практична реалізація ІСППР з вибухобезпечності) розглянуті питання програмного забезпечення АСК ПВНО й програмної реалізації ІСППР з вибухобезпечності для конкретних ПВНО. Схема взаємодії програмного й технічного забезпечення із ЛПР (особою, що приймає рішення) зображена на рис. 12.

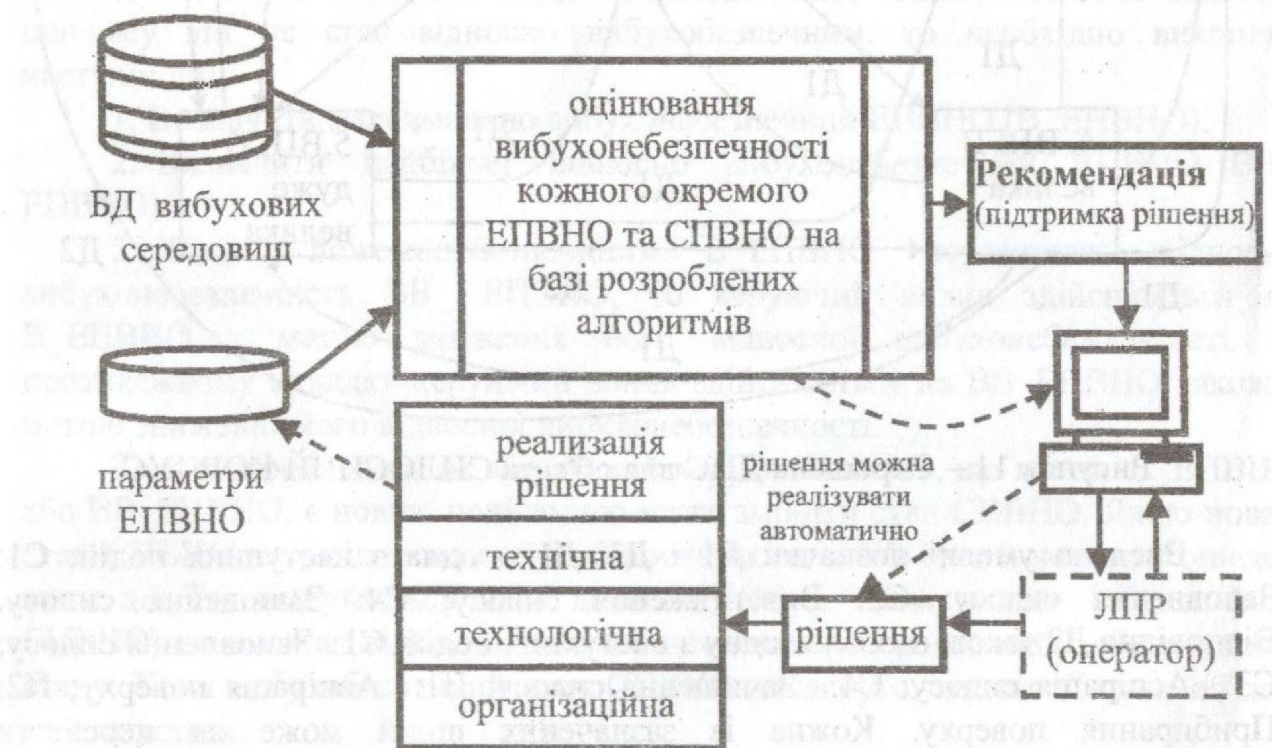


Рисунок 12 – Взаємодія програмного й технічного забезпечення із ЛПР

Розглянуто питання про можливості виникнення вибуху в хмарі газу, яка моделюється відкритим необмеженим простором, тобто ЕПВНО класу 1. Для розв'язання задачі про вибухонебезпечність газової хмари розроблена програма, яка дозволяє з високим ступенем точності оцінювати гасячу відстань, довжину переддетонаційної ділянки та час переходу горіння у вибух, а також можливість розвитку вибуху й характеру вибухового процесу.

Для оцінки розміру комірки полум'я й гасячої відстані, досить знати величини $\delta \equiv \delta_2$ (відношення густостей горючої газової суміші й продуктів згоряння) і показник m ($0,5 \leq m \leq 1$) у ступеневій залежності коефіцієнта динамічної в'язкості газу від абсолютної температури, а також довжину L зони ламінарного полум'я, яка для газових середовищ визначається через коефіцієнт χ_1 температуропровідності (близький до коефіцієнта кінематичної в'язкості ν_1) і швидкість u_1 нормального горіння. Варто мати на увазі, що для стехіометричних кисневих (швидкозгоряючих) сумішей вуглеводневих палив при тиску, близькому до атмосферного ($p_1 = 1 \text{ атм} = 101325 \text{ Па}$), і температурі, близької до стандартної ($T_1 = 300 \text{ К}$), справедливі наступні оцінки: $m = 1$, $\chi_1 \approx 0,2 \text{ см}^2/\text{с} = 2 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$ й $u_1 \approx 8\text{-}10 \text{ м/с}$, тому $L \approx 0,0025 \text{ мм} = 2,5 \cdot 10^{-6} \text{ м}$, тобто швидкість поширення ламінарного полум'я велика, а зона горіння досить вузька. У свою чергу, для стехіометричних повітряних (повільнозгоряючих) сумішей вуглеводневих палив при $p_1 = 1 \text{ атм}$ й $T_1 = 300 \text{ К}$ мають місце оцінки: $m = 0,75$, $\chi_1 \approx 0,2 \text{ см}^2/\text{с} = 2 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$, $u_1 \approx 35\text{-}40 \text{ см/с} = 0,35\text{-}0,40 \text{ м/с}$ й, при цьому, $L \approx 0,05 \text{ мм} = 5 \cdot 10^{-5} \text{ м}$, тобто зона горіння широка при низькій швидкості розповсюдження полум'я. Результати розрахунків доводять, що для повільнозгоряючих (повітряних) сумішей розміри комірок полум'я й гасячої відстані суттєво (іноді на порядок) більше, ніж для швидкозгоряючих (кисневих) сумішей. Крім того, для швидкозгоряючих сумішей довжина переддетонаційної ділянки значно (іноді на 1-2 порядку) менша ніж така довжина для повільнозгоряючих сумішей. Тривалість переходу горіння у вибух для швидкозгоряючих сумішей менше відповідного часу для повільнозгоряючих сумішей на 3-4 порядку. Наприклад, для швидкозгоряючої стехіометричної суміші ацетилену з киснем ($37,5\% \text{ C}_2\text{H}_2 + 62,5\% \text{ O}_2$ за об'ємом), довжина переддетонаційної ділянки приблизно дорівнює $4,7 \text{ мм}$, а час переходу горіння у вибух становить $5 \cdot 10^{-4} \text{ с}$. У свою чергу, для повільнозгоряючої суміші пропану з повітрям ($5\% \text{ C}_3\text{H}_8$ за об'ємом), довжина переддетонаційної ділянки становить приблизно $113,5 \text{ мм} = 0,1135 \text{ м}$, а час переходу горіння у вибух – $2,78 \text{ с}$. Той факт, що довжина переддетонаційної ділянки для повільнозгоряючих сумішей значно перевищує довжину переддетонаційної ділянки для швидкозгоряючих сумішей пояснює, чому в обмеженому просторі горіння повільнозгоряючих сумішей (а до них можна віднести й пил) не завжди переходить у вибух: суміш встигає вигоріти перш, ніж виникне ударна хвиля. Знання довжини переддетонаційної ділянки й часу переходу горіння у вибух дозволяє ЛПР прийняти рішення щодо запобігання й/або заглушення вибуху. Якщо час переходу горіння у вибух досить великий, то можливо, наприклад, інгібування та заглушення полум'я на початковій стадії розвитку вибуху.

Створено ІСППР з вибухобезпечності силосів і силосних корпусів зерносклади. Кожен окремо взятий силос розглядається як ЕПВНО, а силосний корпус – як СПВНО, складений з окремих ЕПВНО. Кожен силос моделюється як кругла циліндрична труба або як канал прямокутного перетину. Даними для розрахунку є вимірювані параметри ППС в силосі (вологість, тиск, температура і т.п.). Повідомлення про довжину переддетонаційної ділянки й час можливого

переходу горіння у вибух надходять на екран монітора і є необхідною інформацією для прийняття рішення по забезпеченню вибухобезпечності. Час розвитку вибуху в органічних ІПС у сотні й тисячі разів перевищує час розвитку вибуху в горючих газових сумішах. Результати зроблених розрахунків доводять, що монолітні залізобетонні силоси помітно менш вибухонебезпечні, ніж збірні залізобетонні силоси, а металеві силоси набагато більше вибухонебезпечні в порівнянні із залізобетонними. Низький ступінь пожежонебезпечності силосу не завжди відповідає низькому ступеню його вибухонебезпечності, якщо розуміти під вибухонебезпечністю можливість переходу горіння у вибух.

Завдяки використанню розробленого програмного забезпечення можливість вибуху при займанні у силосі зменшується у 5–8 разів. Строк експлуатації металевих силосів прогнозовано підвищується приблизно на 2%, що складає 2,5 місяці на 10 років експлуатації. Відповідно строк експлуатації залізобетонних силосів збільшується на 4%, що складає біля 19 місяців на 40 років експлуатації. Таким чином, розроблене програмне забезпечення АСК зернових підприємств дозволило підвищити безпеку та надійність їх функціонування.

У результаті розв'язання завдань дисертаційного дослідження була досягнута поставлена мета, а саме: створено засоби математичного та інформаційного забезпечення АСК вибухонебезпечними об'єктами, які дають можливість підвищити безпеку й надійності функціонування цих об'єктів.

ВИСНОВКИ

Дисертаційна робота містить нові науково обґрунтовані результати, що розв'язали наукову проблему, яка полягала у відсутності відповідного математичного та інформаційного забезпечення, що враховують можливість розвинення вибуху при випадковому займанні ВНО. Створено нове математичного та інформаційне забезпечення автоматизованих систем керування вибухонебезпечними об'єктами, що дозволило підвищити їх безпечність та надійність.

Отримані наукові результати дозволяють зробити наступні висновки:

1. Проведений аналіз існуючих АСК довів необхідність розробки принципово нового математичного та інформаційного забезпечення для ефективного керування вибухонебезпечним об'єктом з метою підтримування його у вибухобезпечному стані. Доведено, що завдання керування вибухонебезпечним об'єктом треба формалізувати з точки зору власне вибухобезпечності, а не тільки пожежобезпечності.
2. Доведена необхідність аналітичного розв'язання задачі переходу горіння у вибух, що змусило суттєво доповнити та розвинути дослідження гідродинамічної стійкості горіння та детонації. Аналітично розв'язано комплекс задач теорії гідродинамічної стійкості хвиль полум'я та детонації, на базі яких розроблено математичну модель виникнення та розвитку вибуху. Розроблено методи оцінювання можливості (при випадковому займанні) переходу

повільного горіння у вибухову дефлаграцію або в детонацію, тривалості такого переходу та довжини переддетонаційної ділянки. Такі оцінки дозволяють ідентифікувати поточний стан потенційно вибухонебезпечного об'єкта з точки зору вибухобезпечності.

3. Розроблено універсальну математичну модель потенційно вибухонебезпечного об'єкта як об'єкта керування, що дозволило формалізувати завдання керування об'єктом, а також коректно визначати інерційність об'єкту по каналу збурень, принципові можливості керування та керуючі впливи для різних видів потенційно вибухонебезпечних об'єктів. Виконано кількісні оцінки часу переходу горіння у вибух, що є показником інерційності по каналу збурень об'єкта із збурюючим впливом у вигляді виникнення полум'я. Показано, що цей час коливається в межах від $0,0005 \pm 5\text{с}$ для стехіометричних газових сумішей до 2 хв. і більше для різних гетерогенних середовищ, що накладає ряд обмежень на АСК вибухонебезпечними об'єктами й застосування ІСППР з вибухобезпечності.

4. Встановлено, що оцінка вибухонебезпечності об'єкта може бути тільки нечіткою, але така нечітка оцінка повинна базуватися на результатах строгого математичного аналізу розвитку вибухового процесу. З метою оцінювання можливості переходу горіння у вибух введено поняття відносної вибухонебезпечності об'єкта як нечіткої величини. Встановлено, що об'єкт із низьким рівнем пожежонебезпеки може бути досить вибухонебезпечним з погляду розвитку вибухового процесу при випадковому загорянні. Побудовано модель прийняття рішень з вибухобезпечності на основі прийняття рішень в умовах невизначеності в сполученні із класичною моделлю прийняття рішень. Таким чином створено нові засоби математичного забезпечення ІСППР з вибухобезпечності.

5. Запропоновано та обґрунтовано універсальну інформаційну модель ПВНО, яка спирається на розроблені математичні моделі та охоплює різноманітні об'єкти й середовища, що дозволило створити нові засоби інформаційного забезпечення АСК потенційно вибухонебезпечного об'єкта.

6. Розроблене математичне й інформаційне забезпечення реалізоване в програмному забезпеченні АСК, яке впроваджено у переважній більшості на зернопереробних підприємствах та підтримує вибухобезпечність силосів і силосних корпусів. Завдяки впровадженню зазначеного вище програмного забезпечення строк експлуатації металевих силосів збільшується приблизно на 2%, залізобетонних силосів – на 4%.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові праці, в яких опубліковано основні наукові результати дисертації:

- 1/1. Волков, В. Е. Нестійкість фронту горіння в обмеженому просторі / В. Е. Волков // Наукові праці Одеської національної академії харчових технологій. – Одеса, 2003. – Вип. 26 – С. 214-217. 3 09. 06. 99

Наукові праці Одеської державної академії харчових технологій

- 2/2. Волков, В. Е. Нестійкість шару рідини на твердій основі / В. Е. Волков // Наукові праці Одеської національної академії харчових технологій. – Одеса, 2004. – Вип. 27 – С. 237-240. *8 09.06.99*
- 14/3. Волков, В. Э. Теоретические проблемы взрывобезопасности на предприятиях по хранению и переработке зерна / В. Э. Волков, А. С. Попов // Зернові продукти і комбікорми, 2005. – №4, грудень 2005. – С. 34-37. *8 14.11.01*
- 3/4. Волков, В. Э. Пределы детонации и проблемы взрывобезопасности / В. Э. Волков // Наукові праці Одеської національної академії харчових технологій. – Одеса, 2006. – Вип. 28 – С. 194-199. *8 09.06.99*
- 4/5. Волков, В. Э. Расчет параметров стационарной детонационной волны за ведущим ударным фронтом / В. Э. Волков, Н. А. Макоед // Наукові праці Одеської національної академії харчових технологій. – Одеса, 2006. – Вип. 29. Т.1 – С. 200-202. *8 09.06.99*
- 5/6. Волков, В. Э. Проблемы перехода горения в детонацию / В. Э. Волков // Наукові праці Одеської національної академії харчових технологій. – Одеса, 2006. – Вип. 29. Т.2 – С. 214-218. *8 09.06.99*
- 15/7. Волков, В. Э. Влияние дисперсного состава производственной пыли на взрывные процессы на зерноперерабатывающих предприятиях / В. Э. Волков // Зернові продукти і комбікорми, 2006. – №3, вересень 2006. – С. 41-45. *8 14.11.01*
- 16/8. Волков, В. Э. Неустойчивость пламени в цилиндрических трубах и взрывные процессы на зерноперерабатывающих предприятиях / В. Э. Волков // Зернові продукти і комбікорми, 2007. – №1, березень 2007. – С. 43-45. *8 14.11.01*
- 17/9. Волков, В. Э. Интеллектуальные системы поддержки принятия решений по вопросам взрывобезопасности / В. Э. Волков // Зернові продукти і комбікорми, 2007. – №2, червень 2007. – С. 44-47. *8 14.11.01*
- 6/10. Волков, В. Э. Интеллектуальные системы поддержки принятия решений по вопросам взрывобезопасности для зерноперерабатывающих предприятий / В. Э. Волков // Наукові праці Одеської національної академії харчових технологій. – Одеса, 2007. – Вип. 30. Т.2 – С. 294-297. *8 09.06.99*
- 7/11. Волков, В. Э. Теоретические вопросы взрывобезопасности / В. Э. Волков // Наукові праці Одеської національної академії харчових технологій. – Одеса, 2007. – Вип. 31. Т.1 – С. 117-120. *8 09.06.99*
- 18/12. Волков, В. Э. Неустойчивость двухфронтowego детонационного комплекса и вопросы взрывобезопасности / В. Э. Волков // Зернові продукти і комбікорми, 2007. – №4, грудень 2007. – С. 44-48. *8 14.11.01*
- 13. Волков, В. Э. Анализ профиля давления детонационной волны и теоретические вопросы взрывобезопасности / В. Э. Волков // Пищевая наука и технология, 2008. – №1, январь 2008. – С. 44-47. *21.05.08*
- 19/14. Волков, В. Э. Способы предотвращения пожаров и взрывов на зерноперерабатывающих предприятиях / В. Э. Волков // Зернові продукти і комбікорми, 2008. – №1, березень 2008. – С. 44-47. *8 14.11.01*
- 20/15. Волков, В. Э. Некоторые аспекты повышения взрывобезопасности на зерновых и зерноперерабатывающих предприятиях / В. Э. Волков, А. А. Нетребский // Збірник наукових праць Луганського національного аграрного

- університету. Серія: Технічні науки. – Луганськ: Видавництво ЛНАУ, 2008. – №87 – С. 50-55. *з 09.02.2000 (з 09.06.99)*
- 20/16. Волков, В. Э. Развитие неустойчивости сферических пламен / В. Э. Волков // *Зернові продукти і комбікорми*, 2008. – №2, червень 2008. – С. 51-54. *з 17.11.01*
- 23/17. Волков, В. Э. Теоретические основы принятия решений по вопросам взрывобезопасности / В. Э. Волков // *Пищевая наука и технология*, 2008. – №2, июнь 2008. – С. 48-53. *з 21.05.08*
- 8/18. Волков, В. Э. Теоретические проблемы построения детонационных двигателей / В. Э. Волков // *Наукові праці Одеської національної академії харчових технологій*. – Одеса, 2008. – Вип. 32. – С. 288-293. *з 09.06.99*
- 21/19. Волков, В. Э. Анализ причин взрыва элеватора "DE BRUCE" / В. Э. Волков, А. С. Попов, Ф. А. Тришин // *Зернові продукти і комбікорми*, 2008. – №3, вересень 2008. – С. 40-44. *з 17.11.01*
- 24/20. Волков, В. Э. Вопросы взрывобезопасности зерновых и пищевых производств / В. Э. Волков, Н. А. Макоед, Ф. А. Тришин // *Пищевая наука и технология*, 2008. – №3, сентябрь 2008. – С. 49-53. *з 21.05.08*
- 9/21. Волков, В. Э. Нечеткая логика в вопросах принятия решений по предотвращению пожаров и взрывов / В. Э. Волков // *Наукові праці Одеської національної академії харчових технологій*. – Одеса, 2008. – Вип. 33. – С. 51-59. *з 09.06.99*
- 10/22. Волков, В. Э. Теоретический анализ причин взрыва элеватора "DE BRUCE" / В. Э. Волков, А. С. Попов, Ф. А. Тришин // *Наукові праці Одеської національної академії харчових технологій*. – Одеса, 2008. – Вип. 34. Т.1. – С. 288-291. *з 09.06.99*
- 25/23. Волков, В. Э. Способы обеспечения взрывобезопасности пищевых и химических производств / В. Э. Волков, А. С. Попов // *Пищевая наука и технология*, 2008. – №4, декабрь 2008. – С. 41-45. *з 21.05.08*
- 24. Волков, В. Э. Теоретические проблемы взрывобезопасности и взрывозащиты / В. Э. Волков // *Екологічна безпека*. – Кременчук: КДПУ, 2008. – Вип.2, 2008. – С. 106-112. *співпраця з 22.12.2010*
- 25. Волков, В. Э. Переход горения в детонацию / В. Э. Волков // *Екологічна безпека*. – Кременчук: КДПУ, 2008. – Вип.3-4, 2008. – С. 92-96. *співпраця з 22.10.2012*
- 24/26. Волков, В. Э. Принятие решений по вопросам взрывобезопасности в условиях неопределенности / В. Э. Волков, Э. И. Жуковский // *Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць*. – Дніпропетровськ: 2008. – Вип. 6 (59), 2008. – С. 43-48. *з 09.06.99*
- 22/27. Волков, В. Э. Принципы построения интеллектуальных систем поддержки принятия решений по вопросам взрывобезопасности на предприятиях по хранению и переработке зерна / В. Э. Волков, А. С. Попов // *Зернові продукти і комбікорми*, 2009. – №1, березень 2009. – С. 48-51. *з 17.11.01*
- 26/28. Волков, В. Э. Алгоритм оценки взрывобезопасности элеватора / В. Э. Волков, А. С. Попов // *Пищевая наука и технология*, 2009. – №1, март 2009. – С. 91-93. *з 21.05.08*
- 11/29. Волков, В. Э. Проблема устойчивости конденсационных скачков / В. Э. Волков // *Наукові праці Одеської національної академії харчових технологій*. – Одеса, 2009. – Вип. 35. Т.1. – С. 171-173. *з 09.06.99*

1230. Волков, В. Э. Розрахунок довжини переддетонаційної ділянки / В. Э. Волков // Наукові праці Одеської національної академії харчових технологій. – Одеса, 2009. – Вип. 36. Т.1. – С. 285-288. *з 09.06.99*

1331. Волков, В. Э. Неустойчивость пламени в идеальной сжимаемой среде и переход медленного горения во взрыв / В. Э. Волков // Наукові праці Одеської національної академії харчових технологій. – Одеса, 2010. – Вип. 38. Т.1. – С. 325-332. *з 09.06.99*

–32. Aslanov, S. On the instability and cell structure of flames /S. Aslanov, V. Volkov // Archivum combustionis. – 1992. – Vol. 12, Nr. 1-4. – P. 81-90. *ин. уу.*

–33. Aslanov, S. K. Instability and Structure of Detonation in a Model Combustor / S. K. Aslanov, V. E. Volkov // Application of Detonation to Propulsion. – Moscow: TORUS PRESS, 2004. – P. 17-25. *ин. уу.*

–34. Aslanov, S. K. Instability and Detonation Limits / S. K. Aslanov, V. E. Volkov // Nonequilibrium Processes. – Moscow: TORUS PRESS, 2005. – Vol.1: Combustion and Detonation. – P.365-373. *ин. уу.*

–35. Aslanov, S. K. Instability and Structure of Flames / S. K. Aslanov, V. E. Volkov // Pulsed and Continuous Detonations. – Moscow: TORUS PRESS, 2006. – P. 28-31. *ин. уу.*

Опубліковані праці апробаційного характеру:

36. Асланов, С.К. Неустойчивость и инициирование детонации / С.К. Асланов, В. Э. Волков // Тез. докл. XIII-го Симпозиума по горению и взрыву. – Черногоровка, Российская академия наук. – 2005. – С.129.

37. Волков, В. Э. Об устойчивости плоской стационарной волны медленного горения в сжимаемой среде / В. Э. Волков, О. Б. Рыбина // Дисперсные системы: Тез. докл. XXI-ой научной конференции стран СНГ. – Одесса. – 2004. – С. 94-95.

38. Волков, В. Э. Теоретические основы построения систем интеллектуальной поддержки принятия решений по вопросам взрывобезопасности / В. Э. Волков // Информационные системы и технологии: Тез. докл. II-го семинара. – Одесса. – 2004. – С. 6-7.

39. Волков, В. Э. Неустойчивость и инициирование детонации / В. Э. Волков // Информационные системы и технологии: Тез. докл. III-го семинара. – Одесса. – 2005. – С. 11.

40. Волков, В. Э. Проблемы взрывобезопасности зерноперерабатывающих предприятий / В. Э. Волков // Дисперсные системы: Тез. докл. XXII-ой научной конференции стран СНГ. – Одесса. – 2006. – С.94-95.

41. Волков, В. Э. Теоретические основы построения взрывобезопасных систем / В. Э. Волков // 4-ый семинар «Информационные системы и технологии», Одесская государственная академия холода, 19–20 октября 2006 г. Сборник научных трудов: Приложение к журналу «Холодильная техника и технологии». – Одесса, 2006. – С. 125-131. *з 08.09.99*

42. Волков, В. Э. Интеллектуальные системы поддержки принятия решений по вопросам взрывобезопасности / В. Э. Волков // 5-ый семинар «Математическое моделирование и информационные технологии», Одесская государственная академия холода, 22–23 мая 2007 г. Сборник научных трудов:

незвичайні результати

Приложение к журналу «Холодильная техника и технологии» (вып. 3 (107), 2007 г.). – Одесса, 2007. – С. 17-18. *8 08.09.99*

43. Волков, В. Э. Системы поддержки принятия решений по вопросам взрывобезопасности / В. Э. Волков // Системний аналіз та інформаційні технології: Матеріали IX Міжнародної науково-технічної конференції (15 – 19 травня 2007 р., Київ). – К.: НТУУ «КПІ», 2007. – С. 171.

44. Волков, В. Э. Теоретические вопросы взрывобезопасности / В. Э. Волков // III Международная конференция «Стратегия качества в промышленности и образовании», 1-8 июня 2007 г., Варна, Болгария. Материалы в 2-х томах. Т.1. Научный журнал технического Университета - Варна. Специальный выпуск. – Дніпропетровськ - Варна: «Фортуна» – ТУ-Варна, 2007. – С.107-109. *ин. укр.*

45. Волков, В. Э. Интеллектуальные системы поддержки принятия решений по вопросам взрывобезопасности / В. Э. Волков, Ф. А. Тришин // III Международная конференция «Стратегия качества в промышленности и образовании», 1-8 июня 2007 г., Варна, Болгария. Материалы в 2-х томах. Т.2. Научный журнал технического Университета - Варна. Специальный выпуск. – Дніпропетровськ - Варна: «Фортуна» – ТУ-Варна, 2007. – С.450-453. *ин. укр.*

46. Волков, В. Э. Принятие решений по вопросам взрывобезопасности в условиях неопределенности / В. Э. Волков, Э. И. Жуковский // Материалы международной научной конференции «Интеллектуальные системы принятия решений и проблемы вычислительного интеллекта (ISDMCI-2008)», 19-23 мая 2008 г., Евпатория, Украина. Материалы в 3-х томах. Т.1, Ч.1. Херсон: ХНТУ, 2008. – С.37-40.

47. Волков, В. Э. Причины взрыва элеватора «DE BRUCE» / В. Э. Волков // Дисперсные системы: Тез. докл. XXIII-ей научной конференции стран СНГ. – Одесса. – 2008. – С.67-68.

48. Волков, В. Э. Проблемы управления взрывобезопасностью промышленных и транспортных объектов / В. Э. Волков, Э. И. Жуковский // Доклады XV-ой международной научной конференции по автоматическому управлению «Автоматика-2008», 23-26 сентября 2008 г., Одесса, Украина. В 3-х томах. Т.1. Одесса: ОНМА, 2008. – С.96-99.

31 49. Волков, В. Э. Математическая модель галопирующей детонации / В. Э. Волков // 8-я конференция «Математическое моделирование и информационные технологии», Одесская государственная академия холода, 20–21 ноября 2008 г. Сборник тезисов: Приложение к журналу «Холодильная техника и технологии». – Одесса, 2008. – С. 37. *8 08.09.99*

32 50. Волков, В. Э. Математическое моделирование взрывов элеваторов / В. Э. Волков, А. С. Попов // 8-я конференция «Математическое моделирование и информационные технологии», Одесская государственная академия холода, 20–21 ноября 2008 г. Сборник тезисов: Приложение к журналу «Холодильная техника и технологии». – Одесса, 2008. – С.36. *8 08.09.99*

51. Волков, В. Э. Моделирование потенциально взрывоопасных систем в условиях неопределенности / В. Э. Волков, Н. А. Макоед // Сборник научных трудов международной научной конференции «Интеллектуальные системы

принятия решений и проблемы вычислительного интеллекта (ISDMCI-2009)), 18-22 мая 2009 г., Евпатория, Украина. В 2-х томах. Т.1. Херсон: ХНТУ, 2009. – С.35-38.

52. Волков, В. Э. Алгоритм оценки взрывоопасности системы / В. Э. Волков // V Международная конференция «Стратегия качества в промышленности и образовании», 6-13 июня 2009 г., Варна, Болгария. Материалы в 2-х томах. Т.2. Международный научный журнал "Acta Universitatis Pontica Euxinus". Специальный выпуск. – Днепропетровськ - Варна, 2009. – С.675-678. *ил. су.*

53. Волков, В. Э. Проблемы управления взрывобезопасностью промышленных и транспортных объектов / В. Э. Волков, А. С. Попов // Тези доповідей XVI-ої міжнародної конференції з автоматичного управління «Автоматика-2009», 22-25 вересня 2009 р., Чернівці, Україна. Чернівці: Книги – XXI, 2009. – С.23-24.

54. Волков, В. Э. Теория принятия решений как основа управления сложными системами / В. Э. Волков, Н. А. Макоед // Сборник докладов II-ой всеукраинской научно-практической конференции «Информационные технологии и автоматизация – 2009», Одесса, 15-16 октября 2009. – Одесса, 2009. – С. 16-17.

55. Волков, В. Э. Алгоритмы нечеткой оценки взрывоопасности зерноперерабатывающих предприятий / В. Э. Волков // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Сучасні методи, інформаційне, програмне та технічне забезпечення систем управління організаційно-технічними комплексами», Київ, 26-27 листопада 2009 р. – Київ: НУХТ, 2009. – С. 51-52.

56. Волков, В. Э. Принятие решений в условиях неопределенности как основа управления сложными физико-химическими и техническими системами / В. Э. Волков, Н. А. Макоед // Сборник научных трудов международной научной конференции «Интеллектуальные системы принятия решений и проблемы вычислительного интеллекта (ISDMCI-2010)», 17-21 мая 2010 г., Евпатория, Украина. В 2-х томах. Т.2. Херсон: ХНТУ, 2010. – С.235-239.

57. Волков В. Э. Управление сложными физико-химическими и техническими системами на основе сочетания принятия решений в условиях неопределенности и классической модели принятия решений / В. Э. Волков // Тези доповідей XVII-ої міжнародної конференції з автоматичного управління «Автоматика-2010», 27-29 вересня 2010 р., Харків, Україна. Харків: ХНУРЕ, 2010. – С.36-37.

58. Волков, В. Э. Управление сложными системами на основе нечеткой логики / В. Э. Волков, Н. А. Макоед // Сборник докладов III-ей всеукраинской научно-практической конференции «Информационные технологии и автоматизация – 2010», Одесса, 14-15 октября 2010. – Одесса, 2010. – С. 20-21.

59. Волков, В. Э. Нечеткая оценка взрывоопасности силосов и силосных корпусов / В. Э. Волков, Н. А. Макоед // Сборник научных трудов международной научной конференции «Интеллектуальные системы принятия решений и проблемы вычислительного интеллекта (ISDMCI-2011)», 16-20 мая 2011 г., Евпатория, Украина. В 2-х томах. Т.1. Херсон: ХНТУ, 2011. – С.59-62.

60. Волков, В. Э. Система поддержки принятия решений по вопросам взрывобезопасности силосов и силосных корпусов зерновых и зерноперерабатывающих предприятий / В. Э. Волков // Тези доповідей XVIII-ої міжнародної конференції з автоматичного управління «Автоматика-2011», 28-30 вересня 2011 р., Львів, Україна. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2011. – С.335-336.

61. Волков, В. Э. Нечеткая оценка взрывоопасности силосов / В. Э. Волков // Сборник докладов IV-ой всеукраинской научно-практической конференции «Информационные технологии и автоматизация – 2011», Одесса, 12-14 октября 2011. – Одесса, 2011. – С. 7-8.

62. Волков, В. Э. Системы поддержки принятия решений по вопросам взрывобезопасности / В. Э. Волков, Э. И. Жуковский // Сборник докладов IV-ой всеукраинской научно-практической конференции «Информационные технологии и автоматизация – 2011», Одесса, 12-14 октября 2011. – Одесса, 2011. – С. 9-10.

63. Волков, В. Э. Нечеткая оценка возможности развития взрывного процесса в газовом облаке / В. Э. Волков // Сборник научных трудов международной научной конференции «Интеллектуальные системы принятия решений и проблемы вычислительного интеллекта (ISDMCI-2012)», 27-31 мая 2012г., Евпатория, Украина. – Херсон: ХНТУ, 2012. – С.50-52.

64. Волков, В. Э. Нечеткая оценка пожаро- и взрывоопасности силосов / В. Э. Волков, Н. А. Макоед // Сборник научных трудов международной научной конференции «Интеллектуальные системы принятия решений и проблемы вычислительного интеллекта (ISDMCI-2011)», 27-31 мая 2011 г., Евпатория, Украина. – Херсон: ХНТУ, 2012. – С.53-55.

65. Титяпкин, А. С. Расчет параметров детонационной волны и создание базы данных взрывчатых веществ / А. С. Титяпкин, В. Э. Волков // Сборник докладов II-ой всеукраинской научно-практической конференции «Информационные технологии и автоматизация – 2009», Одесса, 15-16 октября 2009. – Одесса, 2009. – С. 100.

66. Aslanov, S. K. Kinetics of Drops Fragmentation and Theory of Aerosol Detonation / S.K. Aslanov, V. E. Volkov // Nonequilibrium Processes: Plasma, Combustion and Atmospheric Phenomena. Third International Symposium of Nonequilibrium Processes, Plasma, Combustion and Atmospheric Phenomena. Abstracts of presentations. – Moscow: TORUS PRESS, 2007. – P.55.

67. Aslanov, S. K. Dispersion of Drops and Theory of Aerosol Detonation / S. K. Aslanov, V. E. Volkov // 7th International Symposium on Hazards, Prevention and Mitigation of Industrial Explosions: 13th International Colloquium on Dust Explosions & Eighth Colloquium on Gas, Vapor, Liquid, and Hybrid Explosions. St. Petersburg, Russia. July 7-11, 2008. – St. Petersburg, 2008. – Vol.2. – P.250-254.

68. Volkov, V. E. Instability of Flames in Cylindrical Tubes and Combustors / V. E. Volkov // Nonequilibrium Processes: Plasma, Combustion and Atmospheric Phenomena. Third International Symposium of Nonequilibrium Processes, Plasma, Combustion and Atmospheric Phenomena. Abstracts of presentations. – Moscow: TORUS PRESS, 2007. – P.46.

69. Volkov, V. E. Decision Support Systems on Hazards of Industrial Explosions / V. E. Volkov // 7th International Symposium on Hazards, Prevention and Mitigation of Industrial Explosions: 13th International Colloquium on Dust Explosions & Eighth Colloquium on Gas, Vapor, Liquid, and Hybrid Explosions. St. Petersburg, Russia. July 7-11, 2008. – St. Petersburg, 2008. – Vol.3. – P. 343-347.

Опубликовані праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:

70. Асланов, С. К. Математический анализ структуры детонационных волн в различных средах / С. К. Асланов, В. Э. Волков, А. П. Царенко // Вісник Одеського державного університету. Сер.: фіз.-мат. науки, 1999. Т. 4, вип.4. – С. 134-140.

71. Асланов, С. К. Неустойчивость и структура детонации в схематизированной камере сгорания / С. К. Асланов, В. Э. Волков // Химическая физика, 2005. – Т. 24, № 7. – С. 86-90.

72. Волков, В. Э. Интегральный метод анализа развития возмущений детонационной волны. Часть 2 / В. Э. Волков, С. К. Асланов // Физика аэродисперсных систем: Республиканский межведомственный научный сборник, 1994. – Киев-Одесса: изд-во «Лыбидь», 1994. – Вып.35. – С. 111-116.

АНОТАЦІЯ

Волков В. Е. Математичне та інформаційне забезпечення автоматизованих систем керування потенційно вибухонебезпечними об'єктами. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.07 – Автоматизація процесів керування. – Одеський національний політехнічний університет Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України, Одеса, 2012.

Дисертація присвячена розробці математичного та інформаційного забезпечення АСК вибухонебезпечними об'єктами. На базі аналітичного розв'язання задач гідродинамічної стійкості хвиль горіння розроблено математичну модель виникнення та розвитку вибуху, що дозволило ідентифікувати стан потенційно вибухонебезпечного об'єкту з точки зору вибухобезпечності. Розроблено універсальну математичну модель потенційно вибухонебезпечного об'єкта, що дало можливість коректно визначати інерційність об'єкту по каналу збурень та засоби керування. Запропоновано показники вибухонебезпечності та розроблено алгоритми їх обчислення. Запропоновано та обґрунтовано універсальну інформаційну модель потенційно вибухонебезпечного об'єкта. Створено засоби інформаційного забезпечення АСК вибухонебезпечними об'єктами. Детально розроблено методи оцінювання вибухонебезпечності та відносної вибухонебезпечності силосів і силосних корпусів. Удосконалено АСК підприємств по зберіганню й переробці зерна, підвищено безпеку та надійність функціонування цих підприємств шляхом впровадження нового програмного забезпечення.

Ключові слова: автоматизована система керування, математичне забезпечення, інформаційне забезпечення, потенційно вибухонебезпечний об'єкт, гідродинамічна стійкість, математична модель, прийняття рішень, інформаційна модель.

АННОТАЦИЯ

Волков В. Э. Математическое и программное обеспечение автоматизированных систем управления потенциально взрывоопасными объектами. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание научной степени доктора технических наук по специальности 05.13.07 – Автоматизация процессов управления. Одесский национальный политехнический университет Министерства образования и науки, молодежи и спорта Украины, Одесса, 2012.

Диссертация посвящена разработке математического и информационного обеспечения АСУ взрывоопасными объектами с учетом возможности развития взрыва при случайном возгорании.

Обоснована необходимость учета возможности перехода медленного горения во взрыв и продолжительности такого перехода при управлении потенциально взрывоопасными объектами с целью поддержания их во взрывобезопасном состоянии. Сформулированы основные теоретические проблемы взрывобезопасности и требования к математическому обеспечению АСУ потенциально взрывоопасными объектами.

На базе аналитического решения задач теории гидродинамической устойчивости волн горения и детонации разработана математическая модель возникновения и развития взрыва, что позволило идентифицировать состояние потенциально взрывоопасного объекта с точки зрения взрывобезопасности и оценивать возможность перехода медленного горения во взрывную дефлаграцию или в детонацию, продолжительность такого перехода и длину преддетонационного участка.

На основе математической модели развития взрыва разработана универсальная математическая модель потенциально взрывоопасного объекта как объекта управления, что дало возможность корректно определять инерционность объекта по каналу возмущений, возможности управления и управляющие воздействия.

На основе математических моделей взрывных процессов созданы средства математического обеспечения интеллектуальных систем поддержки принятия решений по взрывобезопасности, которые отличаются сочетанием классических методов принятия решений с методами принятия решений в условиях неопределенности.

Предложены показатели взрывоопасности и относительной взрывоопасности объекта (возможности взрыва при возгорании), разработаны алгоритмы вычисления этих показателей. Разработаны алгоритмы основных процедур, которые обеспечивают поддержку принятия решений по взрывобезопасности.

Предложена и обоснована универсальная информационная модель потенциально взрывоопасного объекта. Созданы средства информационного обеспечения АСУ взрывоопасными объектами.

Детально разработаны методы оценки взрывоопасности и относительной взрывоопасности газовых облаков, силосов и силосных корпусов. Усовершенствованы АСУ предприятий по хранению и переработке зерна, повышены безопасность и надежность функционирования этих предприятий путем внедрения нового программного обеспечения.

Ключевые слова: автоматизированная система управления, математическое обеспечение, информационное обеспечение, потенциально взрывоопасный объект, гидродинамическая устойчивость, математическая модель, принятие решений, информационная модель.

ABSTRACT

Volkov V. E. Mathematical and information support of the automated control systems for the potentially explosive objects. – On the rights for manuscript.

Thesis for a doctor of technical sciences degree in specialty 05.13.07 – Automation of control processes. – Odessa National Polytechnic University, Ministry of Education and Science, Youth and Sports of Ukraine, Odessa, 2012.

The thesis is devoted to elaboration of mathematical and information support of the automated control systems for the dangerously explosive objects. Mathematical model for the rise and development of explosion is elaborated on the basis of analytical solving of the hydrodynamic stability problems for combustion, that made it possible to identify the potentially explosive object state from the point of view of explosion safety. The universal mathematical model of the potentially explosive object is developed on the base of the mathematical models for explosions. That made it possible to figure out correctly the object time lag by the perturbation channel and the control actions. Indicators for the explosion hazard and the relational explosion hazard of the controlled object are proposed. Algorithms for calculations of those indicators are elaborated. The universal information model for the potentially explosive object is proposed and proved. Means for the information support of the automated control systems for the dangerously explosive objects are created. Methods for estimation of the explosion hazard and the relational explosion hazard for silos and silo blocks are elaborated in details. The automated control systems for grain enterprises are improved; safety and reliability of those enterprises are raised by inculcation of new software.

Keywords: automated control system, mathematical support, information support, potentially explosive object, hydrodynamic stability, mathematical model, decision making, information model.

Підписано до друку 26.04.13. Формат 60х90/16.
Умовн. друк. арк. 2,05. Обл.-вид. арк. 1,87 Наклад 100 прим. Зам. № 1825.

Віддруковано з готового оригінал-макету в АО БАХВА

(свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 145 від 11.08.2000)
65044, Україна, м. Одеса, пр-т. Шевченка, 1, корп.5
тел./факс (+48) 777-43-50, e-mail: mail@bahva.com
www.bahva.com, www.vuzkniga.ua