

Івано-Франківський національний технічний університет
нафти і газу

На правах рукопису

НАСЛЄДНИКОВА МАЙЯ АНАТОЛІЙВНА

504.61 + 504.5(043)

УДК 519.168

НЗ-1

ПЕДВИЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ НА ОБ'ЄКТАХ ПЕРЕРОБКИ І
ЗБЕРІГАННЯ НАФТИ ТА НАФТОПРОДУКТІВ

Спеціальність 21.06.01 – екологічна безпека

ДИСЕРТАЦІЯ

на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Науковий керівник
докт. техн. наук, професор
Семчук Ярослав Михайлович

Івано-Франківськ-2011

ЗМІСТ

Вступ.....	5
РОЗДІЛ 1	
АНАЛІЗ СТАНУ ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ ВПЛИВУ ОБ'ЄКТІВ ЗБЕРІГАННЯ, ПЕРЕРОБКИ НАФТИ І НАФТОПРОДУКТІВ НА ДОВКІЛЛЯ.....	
1.1. Літературний огляд джерел досліджень екологічної безпеки довкілля в регіонах переробки і зберігання нафти і нафтопродуктів.....	11
1.2 Характеристика об'єктів зберігання, переробки нафти і нафтопродуктів (ВАТ «Нафтохімік Прикарпаття»).....	19
1.3 Дослідження і аналіз об'єктів зберігання, нафти і нафтопродуктів	24
1.4 Основні задачі досліджень	32
РОЗДІЛ 2	
ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ НАФТИ І НАФТОПРОДУКТІВ НА АТМОСФЕРУ ЗА ДОПОМОГОЮ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ.....	
2.1. Аналіз існуючих математичних моделей.....	35
2.2. Розробка математичної моделі процесів випаровування в атмосферу нафтопродуктів.	41
2.3. Висновки до розділу 2	63
РОЗДІЛ 3	
РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ І РЕАЛІЗАЦІЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ДИФУЗІЇ ВИКІДІВ ШКІДЛИВИХ РЕЧОВИН У АТМОСФЕРУ	
3.1.Розробка алгоритму математичної моделі викидів із резервуарів нафтопродуктів.....	65

3.2. Алгоритм розрахунку викидів забруднень у атмосферу.....	68
3.3. Результати досліджень розповсюдження викидів з резервуарів у атмосферу.....	71
3.4 Визначення та прогнозування величин викидів забруднюючих речовин за допомогою обробки натурних та експериментальних даних методами математичної статистики.....	95
3.5. Висновки до розділу 3	103
РОЗДІЛ 4	
ПРОМИСЛОВО-ДОСЛІДНА АПРОБАЦІЯ ЗАПРОПОНОВАНИХ МЕТОДІВ РОЗСІЮВАННЯ ВИПАРОВУВАНЬ НАФТОПРОДУКТІВ У АТМОСФЕРІ	
4.1 Методи зменшення інтенсивності викидів парів нафтопродуктів із резервуарів у атмосферу.....	105
4.2. Експериментальні дослідження властивостей піноактивних речовин	109
4.3. Експериментальне дослідження впливу ПАР на випаровування нафтопродуктів.....	118
4.4. Дослідно-промислове випробування методу	131
4.5. Висновки до розділу 4.....	135
Загальні висновки	136
Література.....	138
Додатки.....	146

УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ

ПЕК – паливно-енергетичний комплекс.

ГДК – граничнодопустимі концентрації.

Кт – розрахунковий коефіцієнт, який враховує чисельність
та призначення населеного пункту.

Кр – корегуючий коефіцієнт, який залежить від чисельності
жителів населеного пункту

Кн – коефіцієнт залежності від народно-господарського значення
населеного пункту

ПАР – поверхнево-активні речовини

НПЗ – нафтопереробний завод

НХД - низькі холодні джерела

∇^2 - оператор Лапласа

ВСТУП

Актуальність теми.

Питання охорони навколошнього середовища на об'єктах зберігання, переробки нафти та нафтопродуктів є актуальні. Це пояснюється випереджаючим збільшенням об'ємів виробництва у порівнянні з удосконаленням природоохоронних заходів.

У районах дії нафтопереробних заводів (НПЗ) створюються значні техногенні навантаження на компоненти довкілля: гідро-, літо- та біосферу.

Дослідженнями встановлено, що при виробництві, підготовці, переробці та транспортуванні нафтопродуктів витрачається близько 2% нафти і 2,6% продуктів її переробки. При цьому в атмосферу потрапляє близько 65% нафтових забруднень, у воду – більше 20%, у ґрунти – до 15%. Приблизно половина нафтових органічних сполук із повітря осідає в місцях переробки нафти, створюючи загрозу екологічного стресу, що призводить до порушення природної екологічної рівноваги, знищення ресурсно-біогенного потенціалу біосфери, деградації компонентів довкілля. Рівень небезпеки нафтопереробних заводів як чайпотужніших об'єктів паливно-енергетичного комплексу (ПЕК) для довкілля і здоров'я людини може бути різним – від найнезначнішого відхилення від норми до критичного і навіть катастрофічного.

Відзначимо, що на даний час практично відсутні методи прогнозування масштабів нафтових забруднень та моделювання процесів міграції вуглеводів у всіх компонентах довкілля, а тому напрямок дослідження дисертаційної роботи є перспективним і актуальним.

При експлуатації нафтових підприємств найважливіше завдання – не допустити забруднення довкілля. При цьому необхідно враховувати наявність інших промислових об'єктів у зоні впливу НПЗ.. Для того, щоб звести до мінімуму забруднення території, необхідно прогнозувати можливі викиди нафти і нафтопродуктів у довкілля та моделювати напрям витоку і площу забруднення території як в атмосферу, так і у ґрунти, а це дасть можливість заздалегідь проводити заходи щодо збереження довкілля.

Проте існуючі методи визначення забруднень довкілля на підприємствах нафтопереробної промисловості не спроможні задовільнити сучасні вимоги інженерної практики.

Із цією метою необхідно розробити такі математичні моделі, які дозволили б прогнозувати ступінь забруднення місцевості, будувати картограми розсіювань викидів.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дисертаційна робота носить науково-прикладний характер і виконана в рамках програм згідно розпоряджень Кабінету міністрів України «Про схвалення Енергетичної стратегії України на період до 2030 року» та «Про схвалення Концепції розвитку, модернізації і переоснащення нафтопереробної промисловості України на 2009-2015 роки», і спрямована на підвищення екологічної безпеки підприємств нафтопереробного комплексу

Мета і задачі дослідження.

Мета роботи : розробка та впровадження у практику методів та засобів для зменшення впливу на довкілля шкідливих речовин на об'єктах переробки і зберігання нафти і нафтопродуктів.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

- провести дослідження і зробити аналіз причин викидів забруднень в навколишнє середовище на підприємствах нафтопереробної промисловості;
- провести аналітичні дослідження атмосферного повітря викидами випаровувань із резервуарів і спалюванні газу при переробці нафти та розробити математичні моделі;
- установити закономірності розсіювання викидів нафтопродуктів у довкілля на основі реалізації математичної моделі;
- розробити заходи та методи для зменшення викидів із резервуарів зберігання нафтопродуктів.

Об'єкт дослідження: вплив на довкілля об'єктів переробки та зберігання нафти і нафтопродуктів.

Предмет дослідження: методи та засоби забезпечення екологічної безпеки регіонах розташування нафтопереробних підприємств.

Методи дослідження: для вирішення поставлених задач використовувались методи турбулентно-циркуляційних і дифузійних процесів у нижньому шарі атмосфери, числові методи математичного аналізу, теорії планування експерименту, методи математичної статистики, швидкі перетворення Лапласа. При розробці програмного забезпечення використовувались сучасні комп'ютерні технології.

Положення що захищаються: встановлення закономірностей впливу викидів в атмосферу забруднюючих речовин при спалюванні природного газу і випаровуванні нафтопродуктів із резервуарів.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в підвищенні екологічної безпеки за рахунок зменшення викидів в атмосферу на базі комплексних теоретичних, практичних і експериментальних досліджень, зокрема:

1. Набула подального розвитку методологія оцінки екологічної безпеки на об'єктах зберігання та переробки нафти та нафтопродуктів.

2. Уперше розроблено просторову математичну модель прогнозування процесів дифузії та величин викидів шкідливих речовин в атмосферу при випаровуванні нафтопродуктів із резервуарів.

3. Уперше встановлено закономірності і характерні зв'язки між кількістю спалюваного газу, який використовується при переробці нафтопродуктів, та шкідливими викидами речовин.

4. Удосконалено метод зменшення викидів у атмосферу парів нафтопродуктів із резервуарів.

Практичне значення отриманих результатів Розв'язані в дисертації задачі, отримані результати і використані методи досліджень дозволяють ставити і

розв'язувати різноманітні задачі, пов'язані з технологією виробництва й екологічною безпекою нафтопромислового комплексу:

- а) технологічні – задачі, пов'язані з аварійними ситуаціями, визначенням затрат газу, необхідного на переробку нафти;
- б) екологічні – визначення величин забруднень на території підприємств, втрати нафти і нафтопродуктів при переробці та зберіганні, визначення об'ємів нафтопродуктів, які потрапляють у ґрунти при аваріях, переливах, негерметичності запірної арматури.

Крім того, є можливість обчислювати концентрацію викидів парів у атмосферу при зберіганні нафти і нафтопродуктів у будь-якій кількості резервуарів, накопичувати інформацію при дієвотривалих викидах для різної кількості джерел і будувати картограми забруднень, прогнозувати забруднення території, де розташовані нафтопромислові підприємства. Розроблена математична модель викидів шкідливих речовин при спалюванні природного газу, що використовується при переробці, дозволяє оптимізувати його витрати.

Особистий внесок здобувача. Основні теоретичні та практичні результати, які винесені на захист, отримані здобувачем особисто. Вони опубліковані в роботі без співавторів: досліджено вплив резервуарного парку для зберігання нафти і нафтопродуктів на довкілля, розроблено методи підвищення екологічної безпеки за рахунок зменшення викидів парів нафтопродуктів під час малих і великих дихань, захистивши поверхню, яка випаровує нафтопродукти пінно-активними речовинами [77].

У роботах опублікованих у співавторстві, автору належить проведення досліджень і аналіз впливу продуктів згорання на довкілля при переробці нафти [15] автором запропонована і розроблена просторова математична модель викидів парів бензину в атмосферу [76,78,79,102] яка дозволяє будувати картограми і визначати концентрацію викидів від багатьох джерел, які діють на різній висоті й у просторі з накопиченням цих викидів у часі.

Апробація результатів дисертації. Основні результати роботи доповідалися і обговорювались на конференціях:

- Міжнародна науково-технічна конференція «Ресурсозберігаючі технології в нафтогазовій енергетиці» , «ІФНТУНГ-40», Івано-Франківськ, 16-20 квітня 2007 р.

- 12 Міжнародна міжвузівська школа-семінар «Методи і засоби технічної діагностики», Івано-Франківськ , 10-14 жовтня, 2005 р.

-Пятая международная научно -техническая конференция «Надежность и безопасность магистрального трубопроводного транспорта» Беларусь, г. Новополоцк, 7-9 июня 2006 г.

- Третя науково-практична конференція з міжнародною участю «Математичне та імітаційне моделювання систем. МОДС-2008» м. Київ, 23-27 червня 2008 р

- Міжнародна науково-технічна конференція молодих вчених «Техніка і прогресивні технології в нафтогазовій інженерії». –Івано-Франківськ: Національний технічний університет нафти і газу, 16-20 вересня 2008 р.

Результати дисертаційної роботи в повному обсязі доповідались на науковому семінарі кафедри безпеки життєдіяльності та між кафедральному науковому семінарі факультетів інженерно-екологічному і газонафтопромисловому Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу в 2008-2010 рр.

Публікації. За матеріалами дисертаційної роботи опубліковано 8 друкованих робіт, з яких 7 статей у фахових виданнях України, одна робота одноосібна.

Структура і обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, списку використаних джерел, який містить 111 найменувань, та п'ятьох додатків. Текстова частина викладена на 137 сторінках комп'ютерного набору і містить 20 рисунків та 31 таблицю.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ СТАНУ ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ ВПЛИВУ ОБ'ЄКТІВ ЗБЕРІГАННЯ, ПЕРЕРОБКИ НАФТИ І НАФТОПРОДУКТІВ НА ДОВКІЛЛЯ

На виробничих площах нафтопереробних підприємств зосереджені великі маси вибухонебезпечних і токсичних продуктів, які становлять значну потенційну небезпеку для довкілля. Основними об'єктами є резервуари, в яких зберігаються нафта і нафтопродукти нафтопереробної промисловості. Дані об'єкти відносяться до потенційно небезпечних виробничих ланок; із року в рік таких об'єктів стає все більше, інтенсивність експлуатації зростає, а отже, і збільшується ризик забруднень навколишнього середовища. Практика показує, що повністю виключити і зменшити викиди в атмосферу, сточні води та ґрунти продуктів нафтопереробної промисловості неможливо. Тому викиди таких продуктів необхідно попереджувати або послабити їх негативну дію на навколишнє середовище.

Викиди нафти і нафтопродуктів у навколишнє середовище відбуваються різними шляхами:

- 1) розриви трубопроводів, які служать для перекачування нафти на нафтопереробні заводи, що, як правило, відбуваються під дією багатьох причин одночасно;
- 2) при зливах нафти і наливах товарної продукції;
- 3) у товарно-сировинних цехах, призначених для зберігання нафти і нафтопродуктів;
- 4) втрата герметичності насосів для перекачування сировини та товарної продукції.

Найбільш екологічно небезпечними для забруднення територій є так звані «малі» і «великі» «дихання» резервуарів, де зберігаються нафта та нафтопродукти.

Вирішення цієї задачі вимагає наукового підходу, а саме: проведення необхідних досліджень властивостей нафти і нафтопродуктів, викидів їх парів і способів та методів зменшення їх шкідливого впливу.

1.1. Літературний огляд джерел досліджень екологічної безпеки довкілля в регіонах переробки і зберігання нафти і нафтопродуктів.

Використання об'єктів переробки нафти, якими є нафтопереробні заводи, розміщені на всій території України і особливо в західних регіонах, супроводжується широкомасштабним впливом на оточуюче середовище, оскільки природні ресурси (вода, ґрунт, повітря) є безпосередніми ланками технологічного процесу [10,44,99,101,102,103] і зазнають при цьому величного впливу. Негативні наслідки результатів переробки нафти на довкілля пов'язані зі складним технологічним процесом, який здійснюється на нафтопереробних заводах. Для оцінки стану довкілля в межах регіону переробки нафти та класифікації основних проблем, які виникають у результаті цієї діяльності, необхідно виділити складові цього процесу: технологія переробки нафти; транспортування та зберігання. Технологія переробки нафти включає транспортування, місця зливу і наливи нафти та нафтопродуктів; до зберігання відноситься потужний резервуарний парк із його великим об'ємом. Комплексний технологічний вплив указаних процесів спричиняє порушення екології навколошнього середовища. При оцінці впливу на навколошнє середовище продукції нафтопереробного комплексу стають всі елементи біосфери, що піддаються змінам: поверхневі та підземні води, оточуюче повітря, ґрутовий покрив, фауна і флора [16,18,19]. Це особливо відчувається у зонах Прикарпаття та горах Карпат, де розміщене потужне підприємство по переробці нафти ВАТ “Нафтохімік Прикарпаття”. При забрудненні гідросфери виділяють забруднення органічні та хімічні [9,21,73]. Атмосферні забруднення поділяються на групи за фізичним станом забруднюючих речовин: газоподібні та пароподібні, рідкі та тверді [10]. При дослідженні забруднень за формою їх необхідно класифікувати за якісними ознаками, що характеризують забруднюючі

речовини: запилення, загазованість чи зараження твердими або газоподібними речовинами.

На сьогодні питання викидів забруднюючих речовин у атмосферу підприємствами по переробці нафти привертає увагу також міжнародних організацій у зв'язку зі збільшенням парникового ефекту, що зумовлює підвищення температури земної поверхні. Про це говорилось на Кіотському форумі, де 150 країн світу підписали угоду про зменшення викидів у атмосферу, і на Європейській екологічній комісії. З цього приводу в Україні прийнято ряд нормативних документів: Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища» № 1264-ХІІ від 25.06.1991 року, Закон України «Про внесення змін до Закону України «Про охорону навколишнього природного середовища» № 186/98-ВР від 05.02.1998 року, Закон України «Про охорону атмосферного повітря» № 2707-ХІІ від 16.10.1992 року, Закон України «Про внесення змін до Закону України «Про охорону атмосферного повітря» № 2556-ІІІ від 21.06.2001 року.

Тому необхідне виявлення забруднень низькими і холодними джерелами повітряного і водного басейну та трансграничних перекосів, а також проведення і розробки необхідної технології для скорочення й зменшення цих викидів. Для вирішення цих задач важливе значення має просторове моделювання атмосферної дифузії суміші, які є основою для розрахунків забруднення території від джерел даного типу і встановлення для них граничнодопустимих викидів, а також вибору найбільш раціональних шляхів їх досягнення.

Проблемі забруднень навколишнього середовища присвячено багато робіт вітчизняних науковців та вчених близького та дальнього зарубіжжя. Найбільший вклад в українську науку в даному напрямку внесли Степаненко С. Н. [88,89], Волошук В. М. [33,34,35,77,78], Бересевич О. В. Із досліджень російських учених слід виділити роботи Безуглої Е.Ю [9,10],Берлянда М.Е.[13,14,73,81], Певзняра М. Е. [107], Пененка В.В.[86], Бородуліна А. І. [19,20], Бизової Н. Л. [26,27,28,29,30], Моніна А. С.[74,75], Ілюшина Б.Б. [56] , Лозановської І.Н.[64],

Марчука Г.І. [68,69,71]; із європейських та американських – Дж. А. Бусингера [27], Х. Теннекеса, Братсерта У. Х. [22]

Так, у роботі [35,36,39] аналізуються фізичні механізми процесів регіонального забруднення місцевості й приземної атмосфери потужними аерозольними викидами в пограничний шар атмосфери. Сформульовані основні критерії подібності й шляхом математичного моделювання сконструйовані критеріальні залежності, які можуть бути використані при прикладних дослідженнях полів забруднення, які формуються в результаті катастрофічних газоаерозольних викидів у нижню атмосферу. Однак у цих залежностях ураховуються окрім моделі горизонтального і вертикального переносу забруднень у атмосфері. Тобто вирішуються дві локальні задачі. Це пов'язане, головним чином, з використаною параметризацією турбулентного обміну за допомогою напівемпіричної К-теорії (теорія графічного наближення), з іншого боку, з нехтуванням можливим впливом синоптичних або орфографічних горизонтальних неоднорідностей полів метеоелементів у граничних шарів атмосфери.

На основі даної теорії забруднення приземної атмосфери та місцевості потужним газоаерозольним викидом автором розроблена аналітична модель вертикальної турбулентної дифузії газоаерозольних домішок у пограничному шарі атмосфери [33]. Відповідно до неї отримані аналітичні рішення напівемпіричного стаціонарного рівняння вертикальної турбулентної дифузії для седиментивних пасивних і консервативних домішок у вигляді рядів Якобі. Згідно цієї теорії враховується горизонтальний перенос із випадковим вертикальним профілем горизонтального вітру, регулярний вертикальний перенос, зміна висоти граничного шару в напрямку середнього горизонтального переносу, поперечне розсіювання домішок і седиментація аерозольних частин. Коефіцієнт вертикальної турбулентної дифузії параметризований у вигляді специфічного функціонала від вертикального профілю горизонтального вітру, який прямує до нуля на наближенні до верхньої границі пограничного шару атмосфери або до

підстилаючої поверхні. На вершині граничного шару і на підстилаючій поверхні використані умови обмеження концентрації домішок.

У роботі [34] розглядається аналітична модель процесу регіонального забруднення місцевості аерозольним джерелом для точкового джерела, одержана аналітичним рішенням напівемпіричного рівняння вертикальної турбулентності з урахуванням седиментації частин домішок та їх горизонтального переносу. З цією метою використовується оригінальна параметризація для коефіцієнта вертикальної турбулентної дифузії у вигляді квазіпараболічного функціонала від вертикального профілю горизонтального вітру. Отримана наближена формула для потоку аерозольних домішок на підстилачу поверхню, яку можна використовувати для практичних оцінок аерозольного забруднення місцевості на віддалі від декількох десятків до тисячі кілометрів при стаціонарних і горизонтальних однорідних метеорологічних умовах у граничному шарі атмосфери. Проведено аналіз асимптотичної поведінки інтенсивності аерозольного забруднення місцевості на великих віддалях від джерела.

У праці [38] сформульована математична модель, яка описує характерні особливості процесу сидептації, поперечного та повздовжного переміщування і горизонтального переносу домішок від джерела в стаціонарному й однорідному горизонтальних напрямках пограничного шару атмосфери. Отримані аналітичні рішення рівнянь моделі у виді розкладу по поліномам Гегенбауера та Ерміта. Приводиться аналіз поведінки дисперсії поперечного розподілу домішок і зміщення його центру від вісі основного горизонтального переносу повітря та запропоновано прості параметричні формули для отримання оперативної інформації про забруднення місцевості. Аналізуючи даний тип моделей, запропонованих авторами, можна зробити висновок: усі запропоновані моделі передбачають розрахунки регіонального забруднення домішками аерозольного джерела в декартовій системі координат із одиничним викидом.

У наукових працях [2,12,13,14,50,73,81] висвітлюються основні положення моделювання і методики розрахунку приземного поля концентрацій, яке створюється низькими і холодними джерелами (НХД) різного типу – точкового,

лінійного і площинного. Приведені формули для визначення вертикального розподілу максимальних концентрацій та оцінку впливу на довкілля. Досліджуються особливості забруднення атмосфери НХД і встановлення гранично допустимих викидів. Розглядаються забруднення довкілля НХД викидами автотранспорту при різних швидкостях і напрямках вітру, а також проникаючими в атмосферу шкідливими речовинами від накопичувачів стокових вод, в які скидаються нафтопродукти. Розглядаються і вивчаються проблеми далекого переносу суміші від НХД, таких як окису азоту та ін. За основу при моделюванні викидів із НХД і висотних джерел взято плоску модель, тобто розповсюдження хвилі відбувається тільки в горизонтальному напрямку. Автором доведено, що для НХД, унаслідок їх багаточисельності, сумарний вклад у загальне забруднення атмосфери виявляється значним не лише поблизу джерел, але й на достатньо великій віддалі від промислових площацок, де висота джерела практично не відіграє ніякої ролі.

Із метою виявлення особливостей розповсюдження викидів НХД, необхідних для обліку при здійсненні атмосферно-охоронних міроприємств [72,73,96], розроблено методику математичного моделювання забруднень атмосфери. Основою цієї методики є числове рішення диференційного рівняння атмосферної дифузії та системи рівнянь, які визначають коефіцієнти обміну, компоненти швидкості вітру, а також інші компоненти, до яких відносяться: розподіл концентрації по осях, сумісний вплив вертикального і горизонтального перемішування в атмосфері на розповсюдження домішок, плив рельєфу. При використанні даної методики необхідно виділяти джерела низькі ($H < 2$ і $2 < H < 10$) і високі ($H > 50$). Додатково необхідно враховувати нагрів повітря ($\Delta t \leq 50^{\circ}\text{C}$). Okрім цього даною методикою можна користуватись тільки для одноразових викидів і на невеликі ділянки, при цьому час викидів визначений і дорівнює 20 хвилинам.

Згідно наведеної методики розраховують вертикальний розподіл концентрацій, а потім горизонтальний. окремо ведуть розрахунки для холодних і підігрітих забруднень при моделюванні забруднень повітря безпосередньо біля

будівель за наявності повітряних течій рекомендується використовувати математичний апарат, який подібний до випадку з неоднорідним рельєфом.

У наукових працях [3,4,9,11,16,19,33] для опису розповсюдження аерозольних і гідрозольних забруднень використовуються напівемпіричні однорідні рівняння турбулентної дифузії, які є рівняннями першого порядку в часі. Ці рівняння мають недолік, пов'язаний із тим, що швидкість розповсюдження домішок нескінчена. Це викликає труднощі при визначенні математичного очікування концентрації домішок на великих віддалях від джерела. В цих роботах розглядається просте одновимірне напівемпіричне рівняння з постійними коефіцієнтами й показано, що припущення про кінцеві максимальні та мінімальні значення пульсацій швидкості середовища дозволяє описати процес розповсюдження забруднень із кінцевою швидкістю. А в праці [19] для розповсюдження аерозольних і гідрозольних забруднень використовується напівемпіричне рівняння турбулентної дифузії в трьохмірному просторі. Подано вивід цього рівняння на основі примінення стохастичних диференційних рівнянь. На основі розгляду координат “рідинної частини” в якості компонент деякого багатомірного марківського процесу і поліноміальної апроксимації реального енергетичного спектру пульсацій швидкості середовища приводиться алгоритм рішення, який справедливий при будь-якому часі розповсюдження шкідливих викидів.

При дослідженні задач розповсюдження домішок в атмосфері [27,28] розв'язувалась задача одночасно динаміки і дифузії викидів у навколошнє середовище, в якій доведена доцільність формулювання граничних умов для домішок на рівні динамічної шороховатості, що забезпечується єдина границя для всіх рівнянь системи. Параметр у граничній умові для концентрації суміші, який характеризує її захват, можна отримати, перераховуючи експериментальні значення швидкості сухого охолодження до деякого рівня. Наводиться огляд експериментальних значень швидкості сухого охолодження. Аналізуються результати числового рішення рівняння дифузії з граничною умовою змішаного типу. Виявлено перехід від режиму повного відбиття до режиму повного

поглинання області значень швидкості сухого осадження, яке відповідає реальному діапазону вимірювальних величин. У даній роботі за основу взято рівняння напівемпіричного виду за умови, що вертикальний потік постійній по висоті, а поблизу підстилюючої поверхні горизонтальним переносом можна знехтувати.

Необхідність моделювання розповсюдження домішок в атмосфері розглядається в роботах [17,18,19], в яких подаються моделі типу глобальної циркуляції комірки, враховуючи залежність часу життя домішок від широти. Теорія побудована на методі раціоналізації точних рішень рівнянь гідродинаміки ідеальної не стискуваної рідини. В ній подається аналіз примінення традиційного підходу, заснованого на введені коефіцієнта турбулентної дифузії. На основі побудованих моделей одержано висновки про можливість існування в зонах інтенсивних джерел оксиду Карбону, якими є нафтопереробні заводи.

У науковій праці [56] моделюється розповсюдження домішок у конвективному пограничному шарі, де отримані результати моделювання динаміки конвективного планетарного пограничного шару атмосфери й розсіювання в ньому домішок від точкового джерела. За основу взято модель турбулентного переносу других моментів, яка включає рівняння дисипації кінетичної енергії турбулентності. Компоненти тензору турбулентних напружень і вектора потоку тепла знаходяться з виразів локального балансу відповідних диференційних рівнянь для середнього вітру і середньої потенційної температури:

$$\frac{\partial U}{\partial t} = - \frac{\partial(u\omega)}{\partial z} + fv \quad (1.1)$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} = - \frac{\partial(v\omega)}{\partial z} - f(U_z - U) \quad (1.2)$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = - \frac{\partial(w\theta)}{\partial z} \quad (1.3)$$

де $(uw), (vw)$ - компоненти тензора напружень Рейнольдса, $(w\theta)$ вертикальна компонента турбулентного потоку тепла, f - параметр Коріоліса.

В усіх цих працях розглядаються математичні моделі викидів, одноточкових джерел одноразової дії в декартовій системі постановки задачі.

Окрім того в літературі майже відсутня інформація про моделювання викидів із резервуарного парку, де зберігаються нафта і нафтопродукти. А у тих наукових працях, які присвячені нафтосховищам, описуються технічні засоби зменшення втрат вуглеводнів, тобто наведена кількісна, а не якісна характеристика, згідно якої можна було б оцінити ступінь забруднення навколошнього середовища. Так, [84,102,103] описаний клапан – “вогнепопереджуча деталь” для резервуарів із легковипаровуючими рідинами, призначена для герметизації газового простору і для вирівнювання тиску в резервуарах, а також для автоматичного гасіння парогазової суміші. Автори [84] для зниження загазованості від “великих” і “малих” дихань, а також для зворотного видиху резервуарів та покращення якості атмосфери від випаровувань, використовують різні засоби й методи зменшення втрат легких фракцій нафтопродуктів. Особливості аналізу ризику резервуарних парків нафти і нафтопродуктів розглянуто в літературі [60,61,103,105,108]. Резервуарні парки як небезпечні виробничі об'єкти характеризуються вмістом великої кількості “легкозаймистої” рідини. При аналізі ризику резервуарів необхідно враховувати особливості конструкцій основного обладнання, системи обслуговування, якість ремонтних робіт. Методи аналізу діляться на якісні, при використанні яких результати представляються у вигляді текстового опису, таблиць, діаграм, отриманих шляхом примінення інженерних методів аналізу, і кількісні – основні результати отримуються шляхом розрахунку кількісних показників ризику. Одним із таких методів є побудова “дерева відмов”. Порядок побудови такого “дерева” включає в себе: визначення небажаної події в системі; вивчення можливої поведінки в запропонованому режимі роботи системи; виявлення логічного взаємозв'язку подій більш низького рівня, які приводять до відмови системи; побудова “дерева відмов” для зв'язаних подій. У кожному резервуарному парку виділяють наступні аварійні ситуації: вибух у резервуарі або в приміщенні насосної станції, вибух або пожежа на території, забруднення

ґрунту і водних об'єктів нафтою і нафтопродуктами. Основними видами втрат нафти і нафтопродуктів при зберіганні й транспортуванні вуглеводнів є випаровування із резервуарів. Втрати, які наносяться при цьому, не лише зменшують енергетичні ресурси, але й негативно впливають на екологію як результат забруднення навколошнього середовища нафтопродуктами. Випаровування з резервуарів за відсутності технічних засобів його зменшенням є основним джерелом втрат нафтопродуктів. Процес випаровування з резервуарів відбувається завжди, оскільки пов'язаний із тепловим рухом молекул у приповерхневому шарі, а в негерметичному просторі випаровування проходить неперервно. У резервуарних парках нафти і нафтопродуктів аварії, які супроводжуються вибухами, нечасті, це пояснюється несприятливими умовами утворення вибухонебезпечних концентрацій вуглеводнів [103], але під час аналізу пізнику необхідно враховувати можливість утворення подібних ситуацій.

Дана проблема не так гостро стоїть за рубежем як у нашій державі і в країнах СНД. Це зв'язано з тим, що в країнах Європи і США резервуарний парк по зберіганню нафтопродуктів розміщується у воді, адо під землею, а наземних не багато і вони конструктивно виконані термоізоляційними (резервуар має подвійну стінку, яка заповнена речовиною, що не проводить тепло). Тому випаровувань нафтопродуктів практично не має. Узв'язку із цим дуже мало в зарубіжній літературі інформації про забруднення довкілля при 'диханні' резервуарів.

Для вивчення процесів, які відбуваються в резервуарах під час зберігання нафтопродуктів, необхідні довготривалі експериментальні дослідження масовіддачі від поверхні різних фракцій бензинів як у статиці, так і в динаміці. Це питання буде розглянуте в дисертаційній роботі в наступних розділах більш детально, оскільки напрацювань у цьому напрямку практично немає.

1.2. Характеристика об'єктів зберігання, переробки нафти і нафтопродуктів (ВАТ «Нафтохімік Прикарпаття»).

Потужність АТ «Нафтохімік Прикарпаття» по переробці нафти становить близько 3 млн. т./рік. Останні три роки фактичні об'єми переробки нафти становили від 1,2 – 0,9 млн. т/рік. Територія заводу розташована на 160 га.

На заводі працюють такі технологічні установки і допоміжні цехи:
установка ЕЛОУ – АВТ – 2,

установка ЕЛОУ – АТ – 3,

установка сповільненого коксування, установка підготовки сировини для каталітичного реформінгу,

товарно-сировинний цех (рис. 1.1),

естакади для зливу нафти і наливу товарної продукції, а також інші об'єкти.

Товарно-сировинний цех призначений для зберігання нафти і нафтопродуктів.

До складу цеху входять резервуарні парки зберігання сировини і товарної продукції, залізничні зливо-наливні естакади, насосні для перекачки сировини і товарної продукції.

Нафта зберігається у 18 резервуарах, із них ємністю 5000 m^3 – 14 шт. і 3000 m^3 – 4 шт. Річний оборот резервуарів – 45,0.

Товарна продукція (нафтопродукти) зберігаються в 30 резервуарах, у тому числі: резервуарів для бензину 20 шт., із них 12 – по 5000 m^3 , 3 – 3000 m^3 , 3 – по 2000 m^3 , 2 – 300 m^3 . річний оборот резервуарів – 15.

Резервуари для мазуту 4 шт. по 2000 m^3 . Оборот резервуарів – 309.

Резервуари для скрапленого газу – 3 шт. по 175 m^3 . Оборот резервуарів – 117.

Резервуари для дизельного палива – 6 шт., із них 5 – по 2000 m^3 , 1 – 5000 m^3 , річний оборот резервуарів – 74.

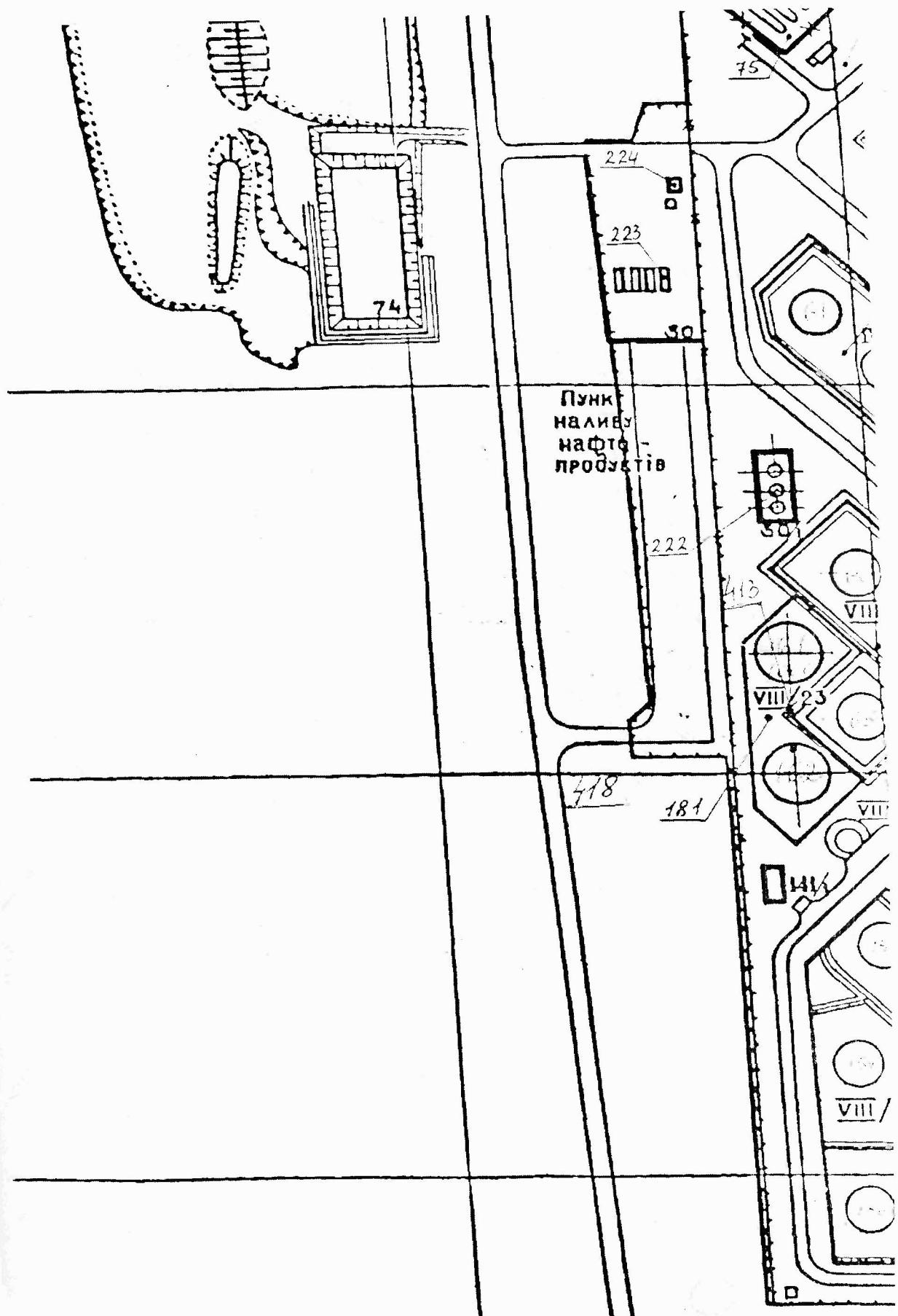


Рис 1.1 План розміщення наливного пункту

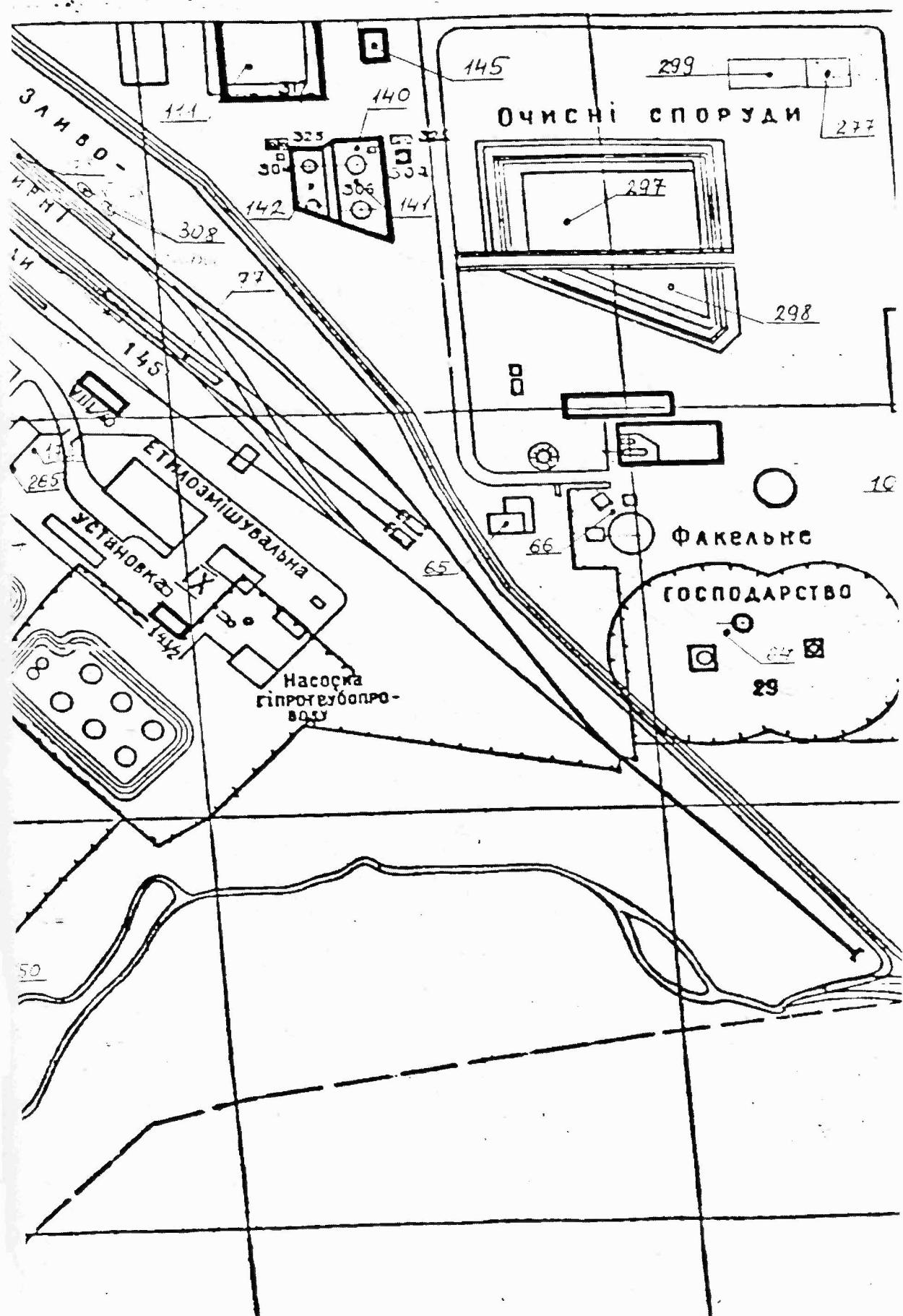


Рис 1.2 План розміщення зливного парку

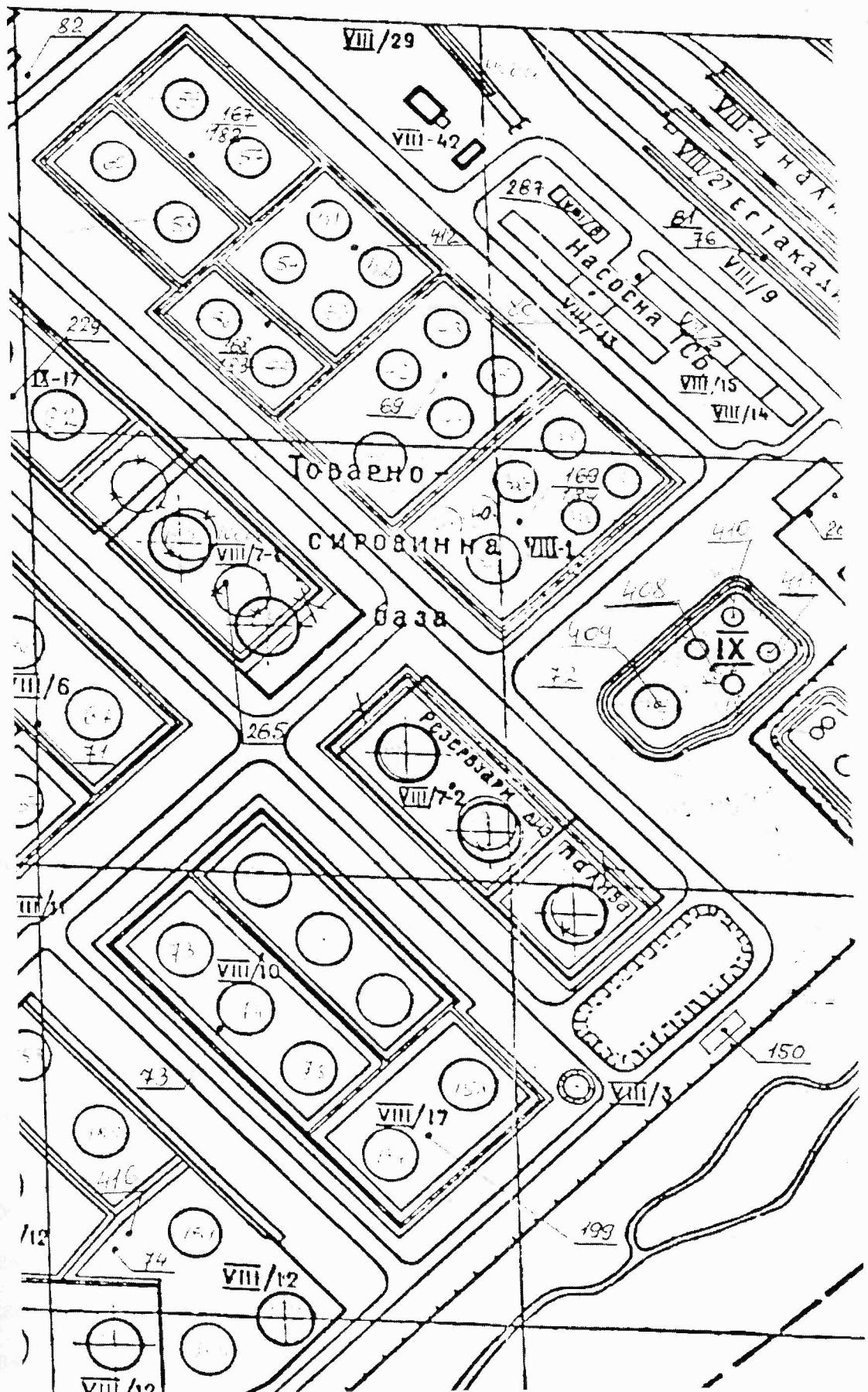


Рис 1.3 План розміщення товарно-сировинної бази

Усі резервуари обладнані робочими і контрольними клапанами, скид від яких направлений в атмосферу. Крім цього до складу цеху входять дві залізничні естакади зливу нафти, естакада зливу газоліну й естакада наливу світлих нафтопродуктів.

1.3 Дослідження і аналіз об'єктів зберігання, нафти і нафтопродуктів.

Причини і шляхи забруднення природного середовища наочно можна прослідкувати на прикладі природних вод; їх забруднення здійснюється щонайменше за рахунок наступних джерел: 1) забруднення промисловими стоками (целюлозно-паперова, нафтова і газова промисловість, хімічні і металургійні заводи, хімічні, коксохімічні, газосланцеві підприємства); навіть нормативно-чисті води, котрі офіційно дозволено викидати в ріки, зазвичай забруднені тієї чи іншою мірою пилом, нафтою, мінеральними солями, причому часто викидаються нагріті води, які зумовлюють теплове (термічне) забруднення природних водоймищ; забруднення поверхневим стоком, яке відбувається за рахунок дощових вод чи під час танення снігу.

Дуже небезпечним є забруднення ґрунтів і вод вуглеводнями нафти. При розливі нафти на водній поверхні припиняється доступ кисню з атмосфери у воду, в результаті гинуть мешканці водоймища.

Не менш драматично складається ситуація при забрудненні нафтою ґрунтового покрову. При високих дозах нафти ґрунтовая маса стає гідрофобною, механічні елементи та структурні агрегати покриваються нафтовою плівкою, яка ізоляє поживні речовини від кореневих систем рослин. Ґрунтові частки злипаються, а при старінні та частковому окисленні компонентів нафти остання загусає і ґрунтовий шар перетворюється в асфальтоподібну масу, котра абсолютно непридатна для росту природної рослинності чи обробляння сільськогосподарських культур.

При забрудненні біогеоценозів нафтою або іншими вуглеводнями може проявлятися їх канцерогенний вплив на живі організми, оскільки такі композиції звичайно містять канцерогенні поліциклічні ароматичні вуглеводні (ПАВ).

Під забрудненням навколошнього середовища розуміють надходження в біосферу будь-яких твердих, рідких і газоподібних речовин чи видів енергії (тепла, звуку, радіоактивності і т. п.) у кількостях, які здійснюють шкідливий вплив на людину, тварин і рослини як безпосередньо, так і непрямим шляхом.

Забруднення біосфери поділяють на локальні, регіональні та глобальні. Локальні забруднення характерні для міст, великих промислових підприємств, регіонів видобутку тих чи інших корисних копалин.

Глобальні забруднення найчастіше зумовлюються атмосферними викидами, розповсюджуються на великі відстані від місця свого виникнення і здійснюють несприятливий вплив на крупні регіони.

Видобуток, транспортування і переробка нафти. На даний час у світі щорічно добувається більш як 4,0 млрд. т сирої нафти, під час видобутку, транспортування і переробки якої втрачається близько 50 млн. т нафти і нафтопродуктів. У результаті значні території суші та обширні акваторії рік і водоймища забруднюються нафтовими вуглеводнями.

Основними джерелами забруднення нафтою і нафтопродуктами ґрунтів та поверхневих вод суші і атмосфери є нафтопереробні підприємства, нафтозпридільні пункти та бази, підприємства нафтопереробної промисловості. Причиною забруднення бувають, як правило, грубі порушення технології добутку, переробки і системи розподілу нафти та нафтопродуктів, а також різноманітні аварійні ситуації, при яких відбуваються розливи нафти, нафтопродуктів і вод, які містять нафту. До них відносяться: 1) пластові води, які характеризуються високою мінералізацією і середнім вмістом нафти 2) законтурні води наftovих пластів і стокові води, отримані в результаті відділення пластових вод та первинної підготовки нафти; 3) підземні води і бурові розчини, які містять нафту; 4) сточні води нафтопереробки.

Значна кількість нафти і нафтових вуглеводнів надходить в біосферу в процесі її переробки. По мірі того, як збільшується глибина переробки нафти, збільшується й кількість стоків, котрі відрізняються більш складним вмістом і містять різноманітні токсичні утворення, в тому числі пропан, бутан, етилен, фенол, бензол та інші вуглеводні.

Сірчана кислота, котра використовується у великих кількостях в нафтохімії, - один із найшкідливіших для навколошнього середовища відходів нафтопереробки. Великотоннажні сірчанокислотні відходи містять, залежно від технології виробництва, від 8-10 до 80-85% H_2SO_4 і від 2-3 до 10-15% нафтових вуглеводнів, включаючи парафіни, бензол та інші вуглеводні.

Нафта і нафтопродукти вважається однією з найбільш розповсюджених і найбільш небезпечних забруднюючих речовин в гідросфері.

Нафта і нафтопродукти.

Нафта є складною сумішою вуглеводнів та їх похідних; кожна з таких сполук може розглядатись як самостійний токсикант [53,50,64]. В її складі знаходять більш як 1000 індивідуальних органічних речовин, котрі містять 83-37% Карбону, 12-14% Гідрогену, 0,5-6,0% Сульфуру, 0,02-1,7% Нітрогену і 0,005-3,6% Оксигену та незначний домішок мінеральних сполук; зольність нафти не перевищує 0,1%. Основні характеристики нафти представлені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1. Характеристика складу і властивостей нафти (за Стокером і Сігером)

Фракції	Масова частка в сирій нафті, %	Діапазон температур кипіння, °C	Розчинність в дистильованій воді *10 ⁴ , % (за масою)
1	2	3	4
Парафіни:			
C6 – C12	0,1-20	69-230	9,5-0,1

Продовження таблиці 1.1

1	2	3	4
C13-C25	0-10	230-450	0,01-0,004
Циклопарафіни:			
C6-C12	5-30	70-230	55-1,0
C13-C23	5-30	230-405	1,0-0
Ароматичні вуглеводні:			
Моно- і дициклічні C6-C11	0-5	80-240	1780-0
Поліциклічні C12-C18	0-5	240-400	12,5-0
Нафтово-ароматичні вуглеводні C9-C25	5-30	180-400	1,0-0
Залишки	10-70	400	0

Нафта з різних місцезароджень містить одні й ті ж хімічні компоненти, але може відрізнятися співвідношенням парафінів, циклопарафінів, ароматичних і нафтоароматичних вуглеводів. У рідких вуглеводах нафти розчинені смолисто-асфальтенові високомолекулярні сполуки, котрі містять до 88% Карбону, близько 10% Гідрогену і до 14% гетероатомів.

Для оцінки нафти як забруднюючої речовини навколошнього середовища запропоновано використовувати наступні ознаки: вміст легких фракцій ($t_{\text{кип}} < 200^{\circ}\text{C}$); вміст парафінів, вміст сірки.

Легкі фракції мають підвищену токсичність для живих організмів, але їх висока випаровуваність сприяє швидкому самоочищенню природного середовища. Парафіни, навпаки, не здійснюють сильного токсичного впливу на ґрунтову біоту чи планктон і бетос морів та океанів, але завдяки високій температурі затвердіння суттєво впливають на фізичні сили ґрунту. Вміст сірки свідчить про ступінь небезпеки сірководневого забруднення ґрунтів і поверхневих вод.

При потраплянні у водне середовище нафта розливається по поверхні води тонким, найчастіше мономолекулярним шаром, і утворює нафтову пляму, котра охоплює в залежності від масштабів простір в десятки, сотні і тисячі

квадратних кілометрів. У результаті фізичних, хімічних і біологічних процесів, які проходять під впливом води та сонячних променів, нафтові вуглеводні поступово втрачають свої первинні індивідуальні властивості. Тому привнесення у водне середовище сирої нафти, її окремих компонентів і продуктів нафтопереробки прийнято розглядати як єдину категорію нафтових забруднень. У результаті спостережень виявлено, що протягом кількох днів до 25% нафтової плями зникає за рахунок випарування і розчину низькомолекулярних фракцій, причому ароматичні вуглеводні розчинаються швидше, ніж парафін із відкритими ланцюжками.

Ультрафіолетова складова сонячної радіації суттєво прискорює деструкцію компонентів нафти, однак з екологічної точки зору цей процес небезпечний унаслідок утворення продуктів розпаду, як правило, сильно токсичних для гідробіонітів. Після випарування найбільш летких компонентів процес руйнування нафтової плівки сповільнюється, оскільки залишки піддаються біологічній та хімічній руйнації. Біохімічний розклад основної маси розлитої нафти проходить дуже повільно, тому що в природі не існує будь-якого певного виду організмів, здатного розкласти всі компоненти нафти. Бактеріальний вплив на них відрізняється високою селективністю і повний розпад нафти вимагає впливу багаточисельних бактерій різних видів, причому для руйнації утворених проміжних продуктів потрібні свої мікроорганізми. Найлегче здійснюється мікробіологічний розпад парафінів. Тяжкі фракції нафти не розкладаються і не осідають у воді. Вони утворюють з нею стійкі емульсії, чому сприяє присутність у водоймах органічних часток, бактерій і планктону. З часом емульсії коагулюють із утворенням смолистих згустків, які плавають на поверхні води і викидаються приливом на сушу, забруднюючи побережжя, пляжі, портові споруди. Процеси хімічного окислення нафти у водному середовищі протікають значно повільніше - їх швидкість складає лише 10-15% швидкості біохімічного окислення.

Аналізуючи вищесказане, об'єкти по переробці і зберіганню нафти і нафтопродуктів слід відносити до екологічно небезпечних підприємств.

Таким чином, АТ «Нафтохімік Прикарпаття» є постійним джерелом впливу на оточуюче природне середовище й основним джерелом його забруднення. Основні забруднюючі речовини та їх сумарні викиди наведені в таблиці 1.2, а в таблиці 1.3 подано оцінки екологічних збитків оточуючому природному середовищу від викидів забруднюючих речовин в атмосферу.

Таблиця 1.2. Сумарні викиди забруднюючих речовин в атмосферу
(Дані екологічної лабораторії Надвірнянського НПЗ за 2009 р.).

№ п/п	Назва забруднюючих речовин	ГДК мг/м ³	Сумарні викиди, т/рік
1	Метан	50,00	209,841
2	Марганець і його сполуки	0,01	0,230
3	Натрію гідроксід (сода каустична)	0,01	0,527
4	Натрію карбонат (сода кальцинована)	0,04	0,186
5	Натрію сульфат	0,1	77,354
6	Двоокис Нітрогену	0,085	324,744
7	Аміак	0,2	8,893
8	Окис Нітрогену	0,6	189,090
9	Кислота сірчана	0,3	0,93
10	Сажа	0,15	3,111
11	Ангідрид сірчистий	0,5	203,286
12	Сірководень	0,008	0,420
13	Окис Карбону	5,0	3047,561
14	Бутан	2,0	2,485
15	Бутилен	3,0	156,772
16	Бензол	1,5	139,312
17	Ксиол	0,2	39,110
18	Толуол	0,6	83,647
19	Спирт пропіловий	0,3	33,191
20	Диніл	0,01	1,654
21	Етилацетат	0,1	58,618
22	Ацетальдегід	0,01	28,649
23	Ацетон	0,35	0,036

Продовження таблиці 1.2

№ п/п	Назва забруднюючих речовин	ГДК мг/м ³	Сумарні викиди, т/рік
24	СЖК (кислота оцтова)	0,2	87,833
25	Бензин	5,0	2967,969
26	Гас (керосин)	1,2	1,548
27	Масло мінеральне	0,05	5,207
28	Вуглеводні насычені C ₁₂ – C ₁₉	1,0	53,926
29	Завислі речовини	0,5	8,220
30	Пропан	65,0	8,285
31	Пил дерева	0,1	1,0
Всього			7733,032

Дані замірів проводились у лабораторії цеху водопостачання та каналізації із використанням наступної апаратури:

- газовий хроматограф-аналізатор (ГАНГ-4):

діапазони вимірювань NO₂ – 0,02 ÷ 1 мг/м³;

SO₂ – 0,25 ÷ 5 мг/м³;

H₂S – 0,004 ÷ 5 мг/м³;

C₁₂-C₁₉ - 30 ÷ 150 мг/м³.

T100-350-XL:

Діапазон вимірювань NO і NO₂ - 0 ÷ 5 міліон⁻¹

CO₂ - 0 ÷ 10 тис. міліон⁻¹

для вуглеводнів від 0 ÷ 0,4 об'ємної частки в %.

Аналізуючи таблиці 1.1-1.3, можна зробити наступні висновки: найбільш екологічно небезпечними для навколошнього середовища є викиди, які здійснюються в результаті зберігання нафти і нафтопродуктів у резервуарах, і викиди при згоранні природного газу при переробці нафти. Тому виникає необхідність у розробці математичних моделей й алгоритмів розрахунку, які б дозволяли своєчасно виявляти і ліквідовувати джерела забруднень довкілля на основі обробки статистичного матеріалу.

Таблиця 1.3. – Оцінка економічних збитків оточуючому природному середовищу від викидів забруднюючих речовин в атмосферу на Надвірнянському НПЗ за 2009 р..

№ п/п	Назва речовин	забруднюючих	Валові викиди в атмосфер у, т/рік	Базовий норматив плати за 1 тонну в грн.	Kт= Кр * Кн	Сума збитків, грн.
1	Метан		209,841	2,0	1,25	524,6
2	Марганець і його сполуки		0,230	422,0	1,25	121,33
3	Натрію гідроокис		0,527	136,0	1,25	89,59
4	Натрію карбонат		0,186	53,0	1,25	12,32
5	Натрію сульфат		77,354	53,0	1,25	5124,70
6	Двоокис Нітрогену		324,744	2,0	1,25	811,86
7	Аміак		8,893	10,0	1,25	111,16
8	Окис Нітрогену		189,090	53,0	1,25	12527,21
9	Кислота сірчана		0,93	2,0	1,25	0,23
10	Сажа		3,111	13,0	1,25	50,55
11	Ангідрид сірчистий		203,286	2,0	1,25	508,22
12	Сірководень		0,420	171,0	1,25	89,775
13	Окис Карбону		3047,561	2,0	1,25	7618,90
14	Бутан		2,485	3,0	1,25	9,32
15	Бутилен		156,772	3,0	1,25	587,90
16	Бензол		139,312	53,0	1,25	9229,42
17	Ксилол		39,110	2,0	1,25	97,78
18	Толуол		83,647	2,0	1,25	209,12
19	Спирт пропіловий		33,191	2,0	1,25	82,98
20	Диніл		1,654	116,0	1,25	239,83
21	Етилацетат		58,618	10,0	1,25	732,73
22	Ацетальдегід		28,649	116,0	1,25	4154,11
23	Ацетон		0,036	53,0	1,25	2,39
24	СЖК (кислота оцтова)		87,833	53,0	1,25	5818,94
25	Бензин		2967,969	2,0	1,25	7419,92
26	Масло мінеральне		5,207	13,0	1,25	84,62
27	Вуглеводні насычені C ₁₂ – C ₁₉		53,926	3,0	1,25	202,23
28	Пропан		8,285	3,0	1,25	31,07
29	Пил дерева		1,0	3,0	1,25	3,75
Всього						56496,555

1.4. Основні задачі досліджень.

Аналізуючи огляд літератури, викладений у підрозділах 1.2 та 1.3 про виконаний аналіз наукових праць по визначенняю викидів забруднюючих речовин у атмосферу на підприємствах нафтопереробної промисловості, можна зробити такі висновки:

- 1) основна частина виконаних досліджень стосується одноточкових стаціонарних джерел викидів, які працюють певний момент часу;
- 2) при розрахунках використовуються аналітичні напівемпіричні моделі;
- 3) майже в усіх роботах у задачах для визначення забруднюючого довкілля окремо розраховуються викиди в горизонтальному і вертикальному напрямках;
- 4) практично відсутні дослідження з питань викидів у атмосферу шкідливих речовин, коли працює багато джерел одночасно на певній території й у різні моменти часу;
- 5) у наукових працях відсутня інформація про дослідження та моделювання викидів із резервуарного парку, де зберігається нафта і нафтопродукти;
- 6) немає досліджень залежності концентрації різних типів забруднень при переробці нафтопродуктів при спалюванні природного газу.

Із вище викладеного витікає, що забруднення довкілля різними типами викидів із урахуванням усіх можливих факторів, що на нього впливають, вивчено ще не достатньо.

Аналіз існуючих робіт в області викидів різними джерелами забруднень в атмосферу дав змогу виявити актуальні на сьогодення наукові та практичні аспекти і сформулювати основні задачі дисертаційної роботи :

- провести дослідження і зробити аналіз причин викидів забруднень в навколошнє середовище на підприємствах нафтопереробної промисловості;
- розробити просторову математичну модель викидів забруднень у атмосферу при зберіганні нафти і нафтопродуктів;

- створити на основі математичної моделі алгоритми й програми розв'язку задач;
- установити закономірності розсіювання викидів нафтопродуктів у довкілля на основі реалізації математичної моделі;
- розробити заходи та методи для зменшення викидів із резервуарів зберігання нафтопродуктів.

Апробація розроблених програм проведена виконанням розрахунків за даними Надвірнянського нафтопереробного заводу.

Методи, які використовувались при розв'язанні задач у дисертаційній роботі, можна застосовувати для вирішення ряду прикладних задач, які наведені на рисунку 1.4. на довкілля.

**Можливі застосування
результатів роботи**

Технологічні задачі

задачі, пов'язані з аварійними ситуаціями

пуск і зупинка окремих установок підприємств

визначення місць і величин забруднень на території підприємства

визначення заграт газу на переробку сировини

Екологічні задачі

визначення кількості використаного природного газу по концентраціях забруднень по кожному джерелу

визначення об'єму нафтопродуктів, що потрапляють у ґрунт при різних аваріях, переливах, негерметичності

втрати нафтопродуктів при "диханні резервуарів"

вплив викидів нафтопродуктів на флору, фауну

Рис. 1.4. Прикладні задачі, які розв'язуються методами, використаними у дисертації

РОЗДІЛ 2

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ НАФТИ І НАФТОПРОДУКТІВ НА АТМОСФЕРУ ЗА ДОПОМОГОЮ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

Безперебійне функціонування системи добуток-переробка-транспортування-зберігання і споживання нафти, нафтопродуктів може бути забезпечене, якщо 1 тонні приросту добутку нафти відповідає $0,3\text{-}0,4 \text{ м}^3$ річного приросту резервуарної ємності. За останній час для нафтопереробної і видобувної промисловості зросла необхідність у резервуарах, призначених для зберігання нафтопродуктів. Їх нестача зумовлена тим, що значна частина наявного резервуарного парку припадає на ємності, побудовані багато років тому, що не відповідають сучасним вимогам. На багатьох резервуарах встановлено недосконале обладнання застарілих зразків, а це призводить до значних втрат нафтопродуктів від випаровування та корозії металів. Технічний стан резервуарних парків значною мірою визначає ефективність функціонування підприємств по забезпеченю нафтопродуктами нафтопереробних заводів [40,95,102]. Наукові та практичні дослідження дозволяють зробити висновки про доцільність підвищення ефективності резервуарного парку для забезпечення зменшення забруднення навколошнього середовища [95,102,103,104,105].

Джерелами забруднення навколошнього середовища на нафтопереробних заводах та нафтоналивних пунктах є ємності для зберігання нафти та нафтопродуктів, очисні споруди та засоби наливу а також технологічні установки для переробки і перекачування. Перекачувальні станції та наливні пункти оснащені великою кількістю технологічного обладнання, яке є потенційним джерелом забруднення. До них відноситься запірна арматура, різні з'єднання та трубопровідні комунікації. Найбільш небезпечне забруднення довкілля відбувається при аваріях технологічного обладнання, ємностей для зберігання нафти та нафтопродуктів, переливи нафти і нафтопродуктів. У таких випадках можливе забруднення значних територій місцевості, а нафта або нафтопродукти, просочуючись у ґрунти, робить непридатними його верхні

родючі шари і за допомогою підземних вод забруднюють водойми і річки [2,3,40,44]. При випаровуванні легких фракцій нафти та нафтопродуктів забруднюється атмосфера [45,106,107].

Таким чином, контроль стану роботи наftового підприємства є актуальним і вимагає застосування ефективних методів розрахунку для побудови картограм забруднень. Із цією метою необхідно створити таку математичну модель, яка дала б можливість у випадках виникнення техногенних аварій на нафтопромислових підприємствах локалізувати території забруднень для їх ліквідації.

2.1. Аналіз існуючих математичних моделей.

В основі теорії екологічних забруднень навколошнього середовища лежить система рівнянь, що описує рух в'язкої не стискуваної ньютонівської рідини, до яких відносяться [4,5,6,24,27,31,49,50,62,65,86]

а) рівняння нерозривності, яке виражає закон збереження маси

$$\frac{\partial}{\partial t} \rho + \frac{\partial}{\partial x_i} \rho u_i = 0, \quad (2.1)$$

де ρ - густина, u_i - компоненти швидкості потоку. Рівняння (2.1) можна записати у другій формі:

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = - \frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dt} \quad (2.2)$$

Порядок окремих членів у лівій частині рівняння при невеликих швидкостях вітру складає $10^{-1} \div 10^{-2} \text{ c}^{-1}$, а у правій частині $\leq 10^{-4}$. Тому для практичних розрахунків приймають

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \quad (2.3)$$

Однак використовувати його слід обережно.

б) рівняння стану.

Особливістю рівняння стану є те, що за його допомогою виражаютъ зміну густини, через зміну температури:

$$\rho = \rho_r [1 - \alpha(T - T_r)] \quad (2.4)$$

де α - коефіцієнт об'ємного розширення, T_r - температура, за якої густина рівна ρ_r . Для ідеального газу $\alpha = \frac{1}{T_r}$. Однак, необхідно відзначити, що рівняння стану ідеального газу є :

$$p = R\rho T, \quad (2.5),$$

де R - універсальна газова стала.

Для незначних відхилень величин, які входять у (2.5) і є залежними від P_r, ρ_r, T_r , залежності повинні бути записані у виді

$$\frac{P - P_r}{P_r} \cong \frac{\rho - \rho_r}{\rho_r} + \frac{T - T_r}{T_r}, \quad (2.6)$$

Співвідношення (2.4) виконується тільки при постійному тиску, а рівняння (2.5) строго виконується тільки для сухого повітря, тому формули (2.4) і (2.6) при розрахунках необхідно щоразу уточнювати, тобто вводити поправки. Найчастіше ці поправки вводять у температуру, переходячи до віртуальної температури:

$$Tv = T \left\{ 1 + \left(\frac{m_d}{m_w} - 1 \right) g \right\} = T(1 + 0.61g), \quad (2.7)$$

де g - масова доля водяного пару, m_d, m_w - відповідні молярні маси сухого повітря і водяного пару.

в) потенційна температура.

Унаслідок падіння тиску з висотою повітряні частини, які підіймаються, розширяються, а опускаючі - стискаються.

Якщо турбулентне перемішування на вертикалі проходить без обміну теплом, то повітряні частини перемішуються адіабатично. При сильно розвинутому турбулентному обміні рівняння гідростатики

$$\frac{\partial P}{\partial Z} = -\rho g \quad (2.8)$$

служить добрим наближенням для опису зміни тиску на висоті. За допомогою цього рівняння, рівняння першого закону термодинаміки для

адіабатичних умов ($\frac{\partial P}{\partial T} = \rho C_p$) і рівняння стану (2.5) отримують значення адіабатичного градієнта температур

$$T = - \left(\frac{\partial T}{\partial z} \right) ag = \frac{g}{C_p} \quad (2.9)$$

На основі цього уводять поняття потенційної температури Θ :

$$\Theta = T \left(\frac{1000}{p} \right)^{\frac{R}{C_p}}, \quad (2.10)$$

де p - тиск у гігапаскалях.

Використовуючи рівняння (2.8) – (2.10) отримаємо

$$\left(\frac{\partial T}{\partial z} + \Gamma \right) = \frac{T}{\Theta} \cdot \frac{\partial \Theta}{\partial z} \quad (2.11)$$

г) рівняння руху

Закон зберігання кількості руху можна записати з достатньою точністю у вигляді:

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} \rho u_i + \frac{\partial}{\partial x_j} \rho u_j u_i &= - \frac{\partial}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \mu \cdot \frac{\partial u_k}{\partial x_k} \delta_{ik} \right] \\ &+ \rho g_i - 2 E_{ijk} \Omega_j \rho u_k, \end{aligned} \quad (2.12)$$

де μ - коефіцієнт молекулярної в'язкості, Ω_j - компоненти кутової швидкості руху землі, g_i - вектор прискорення вільного падіння.

Дана система є досить складною і практично використовувати її для отримання швидких якісних і кількісних забруднюючих викидів у атмосферу важко.

Іншим актуальним і перспективним напрямком досліджень є створення моделей, які сумісно описують структуру турбулентно-циркуляційних викидів забруднень у нижнім шарі атмосфери над обмеженим регіоном. Для вирішення цієї задачі в [49, 86, 88, 89, 93] запропоновано математичну модель, в яку входить замкнута система рівнянь гідродинаміки. Це рівняння:

- а) прогностичні рівняння (перенос тепла, руху, вологості, домішок);
- б) діагностичні рівняння (статики, стану, нерозривності, дифузії).

Замикає дану систему рівнянь: баланс кінетичної енергії турбулентності, швидкість її дисипації та співвідношення Колмогорова для зв'язку коефіцієнту вертикального турбулентного обміну зі швидкістю дисипації та кінетичною енергією турбулентності.

Дана модель має наступний вигляд:

а) прогностичні рівняння

- руху

$$\frac{\partial u}{\partial t} + A(u) = - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} + fv + \frac{\partial}{\partial z} K \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial x} (KD) + \frac{\partial}{\partial y} (K, D), \quad (2.13)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + A(v) = - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} - fu + \frac{\partial}{\partial z} K \frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial x} (K, D) - \frac{\partial}{\partial y} (K, D); \quad (2.14)$$

- притоку тепла

$$\frac{\partial \Theta}{\partial t} + A(\Theta) = \alpha_m \frac{\partial}{\partial z} k \frac{\partial \Theta}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial x} k_L \frac{\partial \Theta}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} k \frac{\partial \Theta}{\partial y} + Lc; \quad (2.15)$$

- переносу вологи

$$\frac{\partial m}{\partial t} + A(S) = \alpha_m \frac{\partial}{\partial z} k \frac{\partial m}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial x} k_L \frac{\partial m}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} k_L \frac{\partial m}{\partial y} - c; \quad (2.16)$$

- турбулентної дифузії у віддаленій зоні (при $r > \Omega$)

$$\frac{\partial q}{\partial t} + A(b) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_x^q \frac{\partial q}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_x^q \frac{\partial q}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_x^q \frac{\partial q}{\partial x} \right) - \frac{q}{\tau_0} = 0; \quad (2.17)$$

- балансу кінетичної енергії турбулентності

$$\begin{aligned} \frac{\partial b}{\partial t} + A(b) &= k \left[\left(\frac{\partial u}{\partial z} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial z} \right)^2 \right] + K_L (D_n^2 + D_\tau^2) + \alpha_r \frac{g}{\Theta} k \frac{\partial \Theta}{\partial z} + \alpha_b * \\ &\left(\frac{\partial}{\partial y} K_L \frac{\partial b}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} k \frac{\partial b}{\partial z} \right) - \alpha_\tau \frac{b^2}{k}; \end{aligned} \quad (2.18)$$

- швидкості дисипації енергії турбулентних вихорів

$$\begin{aligned} \frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + A(\varepsilon) &= \alpha_r \frac{\varepsilon}{b} \left\{ k \left[\left(\frac{\partial u}{\partial z} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial z} \right)^2 \right] + K_L (D_n^2 + D_\tau^2) \right\} + \alpha_4 \frac{\varepsilon}{b} \frac{g}{\Theta} k \frac{\partial \Theta}{\partial z} + \alpha_2 * \\ &\left(\frac{\partial}{\partial x} K_L \frac{\partial \varepsilon}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} K_L \frac{\partial \varepsilon}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} k \frac{\partial \varepsilon}{\partial z} \right) - \alpha_3 \frac{\varepsilon^2}{k}; \end{aligned} \quad (2.19)$$

б) діагностичні рівняння

- нерозривності

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0; \quad (2.20)$$

-- статики

$$\frac{\partial p}{\partial z} = -pg; \quad (2.21)$$

-- стану

$$P = \rho RT; \quad (2.22)$$

- дифузія домішку в близній зоні (при $r \leq \Omega$)

$$q(x, y, z) = \frac{M}{2\pi U \sigma_y \sigma_z} \exp\left(-\frac{(y - y_0)^2}{2\sigma_y^2}\right) \left\{ \exp\left[-\frac{(z - H_0)}{2\sigma_z}\right] + \exp\left[-\frac{(z + H_0)}{2\sigma_z}\right] \right\}; \quad (2.22')$$

в) співвідношення

Колмогорова для коефіцієнту вертикального турбулентного обміну

$$k = \alpha_c \frac{b^2}{\varepsilon}; \quad (2.23)$$

Смагоринського для коефіцієнту горизонтального турбулентного обміну

$$k_L = \alpha_L \frac{\Delta s^2}{2} (D_\tau^2 + D_n^2)^{1/2}, \quad (2.24)$$

де t - час, u, v, w - компоненти вектору швидкості течіння вздовж координатних осей x, y, z , f - параметр Коріоліса; g - прискорення вільного падіння, ρ - густота, p - тиск, T - температура, Θ - потенційна температура, m - масова доля водяної пари, c - швидкість процесу конденсації/випаровування, R - універсальна газова стала, L - теплота конденсації/випаровування, Δs - горизонтальний крок сітки, α (з індексами) - універсальні константи, $-r = \sqrt{x^2 + y^2}$ - віддаль від джерела, Ω - розмір близньої зони;

- τ_0 - час релаксації, який враховує в параметричному виді фізико хімічні процеси "вимивання" домішок із хмари,

- M - потужність джерела домішок (г/с); U - швидкість переносу домішок у напрямку осі X (м/с) на рівні викиду;

- y_0 - початкова координата джерела по осі Y ; H , - ефективна висота джерела над підстилаючою поверхнею;

σ_x, σ_y - стандартні відхилення координати частки домішку в напрямках, поперечних напряму переносу.

- оператор адвекції скалярної величини

$$A(\mu) = \frac{\partial u \mu}{\partial x} + \frac{\partial v \mu}{\partial y} + \frac{\partial w \mu}{\partial z}, \quad (2.25)$$

$$D_T = \frac{\partial u}{\partial x} - \frac{\partial v}{\partial y}, \quad D_n = \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y}, \quad (2.26)$$

де D_T, D_n - подовжня і поперечна деформація швидкості.

Кількісна постановка краївих і початкових умов для задачі (2.13)-(2.26) на обмеженій розрахунковій області являє собою самостійну задачу, а тому їх аналізувати в даній роботі немає сенсу.

При описі забруднень у [19,20] використовується напівемпіричне рівняння для моделювання турбулентної дифузії домішок при малому часі та з кінцевою швидкістю розповсюдження, яке має вид:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \sum_i \frac{\partial u_i C}{\partial x_i} - \sum_{i,j} \frac{\partial}{\partial x_i} k_{ij} \frac{\partial C}{\partial x_j} = 0 \quad (2.27)$$

де C і u_i - відповідні осередні математичні очікування концентрації домішок і компонент швидкості вітру; k_{ij} - тензор коефіцієнтів турбулентної дифузії. Для розв'язування (2.27) необхідно задати початкове поле концентрації та її значення на границях. Точкове миттєве джерело домішок, яке спрацьовує у момент часу $t = 0$ у точці з координатами $x_i = x_0$ задається початковою умовою $C(x_0, y_0, z_0, 0) = m \cdot \prod_{i=1}^3 \delta(x_i - x_{i0})$, де m - кількість викинутих домішок. Із рівняння (2.27) виводиться рівняння виду

$$\frac{\partial C}{\partial t} + U \frac{\partial C}{\partial x} - K \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} = 0 \quad (2.28)$$

Рівняння (2.27) розв'язується за наступних умов: задається початкове поле концентрації та її значення на границях області, яка розглядається, тобто:

$$C(x, 0) = m \delta(x); C(-\infty, t) = 0,$$

при $t_0 = 0$ і в точці координатою $x_0 = 0$.

Рішення цієї задачі для $-\infty < 0 < \infty$ і $t \geq 0$ має вигляд [32,67]:

$$C(x,t) = m(4\pi kt)^{-\frac{1}{2}} \exp\left[-\frac{(x-ut)^2}{4kt}\right]$$

Всі моделі, які розглядалися, мають ряд недоліків, пов'язаних із заданням складних початкових умов і складними алгоритмами їх розв'язків [19,20,27,43,45,56,58]. Окрім цього моделі спрощувались, в результаті чого розв'язується одномірна задача розповсюдження забруднень від одного точкового джерела одноразового викиду. З цією метою необхідно створити таку просторову модель, яка б могла моделювати процеси викидів забруднень від багатьох джерел і багаторазово. Такі моделі розглядаються у наступному параграфі і розділі.

2.2. Розробка математичної моделі процесів випаровування в атмосферу нафтопродуктів.

Забезпеченість резервним парком є основним фактором, який характеризує рівень технічної озброєності та народногосподарської ефективності нафтопереробної промисловості.

Нестача резервних ємностей наносить значну шкоду народному господарству, створюючи перебої в постачанні споживачів, втрати нафтопродуктів, простої транспорту, зниження загальних економічних показників у галузі. На даний час в Україні різко зросла необхідність у резервуарах, призначених для зберігання нафти і нафтопродуктів. Однак збільшення їхнього числа призводить до підвищення екологічної небезпеки. Тому необхідно приділяти велику увагу питанню забруднення навколишнього середовища, і, особливо, атмосферного повітря. Розвиток нафтопереробної промисловості збільшує в атмосфері великих міст і промислових центрів концентрації продуктів двоокису вуглецю CO_2 , сірки SO_2 , оксидів азоту NO_x , углеводів та інших речовин, які утворюють при фотохімічних реакціях смоги, а

це, в свою чергу, призводить до випадання кислотних дощів і спричиняє велику шкоду для здоров'я населення, його рослинного та тваринного світу. Крім того, проходить процес постійного переносу атмосферного повітря на великі відстані від джерела забруднення, що робить цю проблему глобальною. З метою зменшення забруднення атмосферного повітря в нашій державі прийнято законодавчі акти, які передбачають вивчення забруднення атмосферного повітря, проведення заходів контролю забруднення атмосфери різноманітними викидами. Для того, щоб виконати такі заходи, необхідно створити математичну модель, яка б дала змогу визначити область забруднення, її величину, найбільш можливі її напрями без виконання дорогоцінних аналізів ґрунтів і проб повітря.

Для створення такої моделі, розглянемо дифузію парів бензину в нерухомому середовищі. Рівняння дифузії має такий вигляд [5,7,8,17,25,32,43,45,4758,63,6568]:

$$\nabla^2 c - \frac{1}{D} \frac{\partial c}{\partial t} = - \frac{1}{D} q(x, y, z, t), \quad (2.29)$$

де c – концентрація дифундуєчої речовини (відношення об'єму, занятого дифундуєчою речовиною, до загального об'єму за умови, що він нескінченно малий);

$$\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}; \text{ - оператор Лапласа;}$$

t – час; D – коефіцієнт дифузії, m^2/s ;

$$q = f(x, y, z, t) / \rho; \quad f(x, y, z, t) - \text{інтенсивність внутрішніх джерел маси, } \frac{\text{kg}}{\text{m}^3 \text{c}};$$

ρ – густина маси речовини внутрішнього джерела, kg/m^3 .

Задача формулюється так. На складі бензину є 12 резервуарів. Із кожного резервуара через певний проміжок часу вириваються пари бензину в атмосферу (спрацьовує запобіжний клапан). Час, протягом якого пари бензину виходять у атмосферу, позначимо через Δt_1 . При цьому приймаємо, що момент спрацювання запобіжних клапанів для всіх резервуарів один і той же. Далі протягом часу Δt_2 пари бензину з резервуарів не виходять. Такий процес відбувається протягом всього дня (довжину дня приймемо $\Delta t_3=12$ год.). У другій половині доби (вночі)

клапани не спрацьовують. Графічно цей процес роботи запобіжних клапанів резервуарів зображенено на рис.2.1. По осі ординат відкладено величину Q (Q – кількість маси парів бензину, що проходить через клапан за секунду, kg/s). Вважаємо, що зображений на рис.2.1 циклічний процес постійно повторюється.

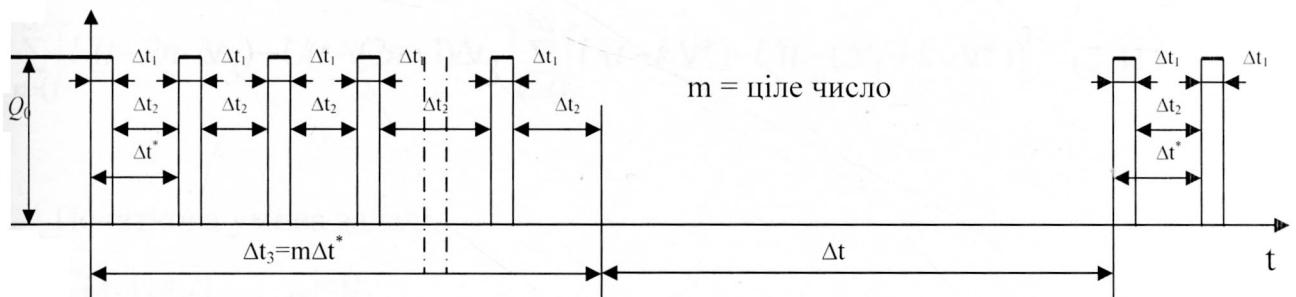


Рис. 2.1. – Схема роботи запобіжних клапанів.

Запобіжні клапани розташовані на висоті $z = z_1 = 12 \text{ м}$. Розташування запобіжних клапанів резервуарів в системі координат X Y Z зображенено на рис. 2.2.

Функція $f(x, y, z, t)$ у такому випадку запишеться так:

$$f(x, y, z, t) = Q_0 \sum_{i=1}^{12} \delta(x - x_i) \delta(y - y_i) \delta(z - z_i)^*$$

$$* \sum_{n=0}^{\infty} \left[U(t - 2n \cdot \Delta t_3) - U(t - (2n+1) \Delta t_3) \right] \left[\sum_{k=0}^{\infty} U(t - k \cdot \Delta t^*) - U(t - (\Delta t_1 + k \cdot \Delta t^*)) \right]. \quad (2.30)$$

У (2.30) $\delta(x - x_i)$, $\delta(y - y_i)$, $\delta(z - z_i)$, - дельта функції Дірака [58,59,70];

x_i, y_i, z_i - координати i -го запобіжного клапана;

$U(t - t_i)$ - одинична функція Хевісайда [62]; $\Delta t^* = \Delta t_1 + \Delta t_2$;

Q_0 – потужність одного джерела, kg/s ,

Δt_2 - час між двома сусідніми викидами,

Δt_1 - час викидів забруднюючих речовин.

Ураховуючи сказане, для шуканої величини C маємо диференціальне рівняння

$$\frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} - \frac{1}{D} \frac{\partial C}{\partial t} = -\frac{Q_0}{D\rho} \sum_{i=1}^{12} \delta(x-x_i) \delta(y-y_i) \delta(z-z_i)^*$$

$$* \sum_{n=0}^{\infty} [U(t-2n\cdot\Delta t_3) - U(t-(2n+1)\Delta t_3)] \sum_{k=0}^{\infty} [U(t-k\Delta t^*) - U(t-(\Delta t_1+k\cdot\Delta t^*))]. \quad (2.31)$$

Початкова умова задачі.

$$C(x, y, z, t) \Big|_{t=0} = 0.$$

$$\text{Гранична умова } \frac{\partial C}{\partial z} \Big|_{z=0} = 0.$$

Розв'язуємо задачу (2.31). Оскільки шукана функція $C(x, y, z, t)$ - симетрична відносно осей X і Y, то для змінних x і y застосовуємо експотенційне перетворення Фур'є [41,65,68]

$$f(\beta) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} f(x) e^{i\beta x} dx. \quad (2.32)$$

У результаті застосування цього перетворення по змінній x матимемо

$$-\beta^2 \bar{C} + \frac{\partial^2 \bar{C}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \bar{C}}{\partial z^2} - \frac{1}{D} \frac{\partial \bar{C}}{\partial t} = -\frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{Q_0}{D\rho} \sum_{i=1}^{12} e^{i\beta x_i} \delta(y-y_i) \delta(z-z_i)^* \\ * \sum_{n=0}^{\infty} [U(t-2n\cdot\Delta t_3) - U(t-(2n+1)\Delta t_3)] \sum_{k=0}^{\infty} [U(t-k\Delta t^*) - U(t-(\Delta t_1+k\cdot\Delta t^*))] \quad (2.33)$$

$$\bar{C}(\beta, y, z, t) \Big|_{t=0} = 0, \quad \frac{\partial \bar{C}}{\partial z} \Big|_{z=0} = 0, \quad (2.34)$$

а застосування цього перетворення по змінній y дає такий результат:

$$\beta^2 \bar{\bar{C}} - \gamma^2 \bar{\bar{C}} + \frac{\partial^2 \bar{\bar{C}}}{\partial z^2} - \frac{1}{D} \frac{\partial \bar{\bar{C}}}{\partial t} = -\frac{1}{2\pi} \frac{Q_0}{D\rho} \delta(z-z_1) \sum_{i=1}^{12} e^{i\beta x_i} e^{i\gamma y_i} \sum_{n=0}^{\infty} [U(t-2n\cdot\Delta t_3) -$$

$$- U(t - (2n+1)\Delta t_3) \Big] \sum_{k=0}^{\infty} [U(t - k\Delta t^*) - U(t - (\Delta t_1 + k \cdot \Delta t^*))] \quad (2.34')$$

$$\bar{\bar{C}}(\beta, \gamma, z, t)_{/t=0} = 0, \quad \frac{\partial \bar{\bar{C}}}{\partial z}_{/z=0} = 0, \quad (2.35)$$

$$\begin{aligned} x_3 &= x_6 = x_9 = x_{12} = a; \\ x_2 &= x_5 = x_8 = x_{11} = 0; \\ x_1 &= x_4 = x_7 = x_{10} = -a; \\ y_1 &= y_2 = y_3 = 1,5\epsilon; \\ y_4 &= y_5 = y_6 = 0,5\epsilon; \\ y_7 &= y_8 = y_9 = -0,5\epsilon; \\ y_{10} &= y_{11} = y_{12} = -1,5\epsilon; \end{aligned}$$

$$z_i = z_1, \quad i=1,2,\dots,12.$$

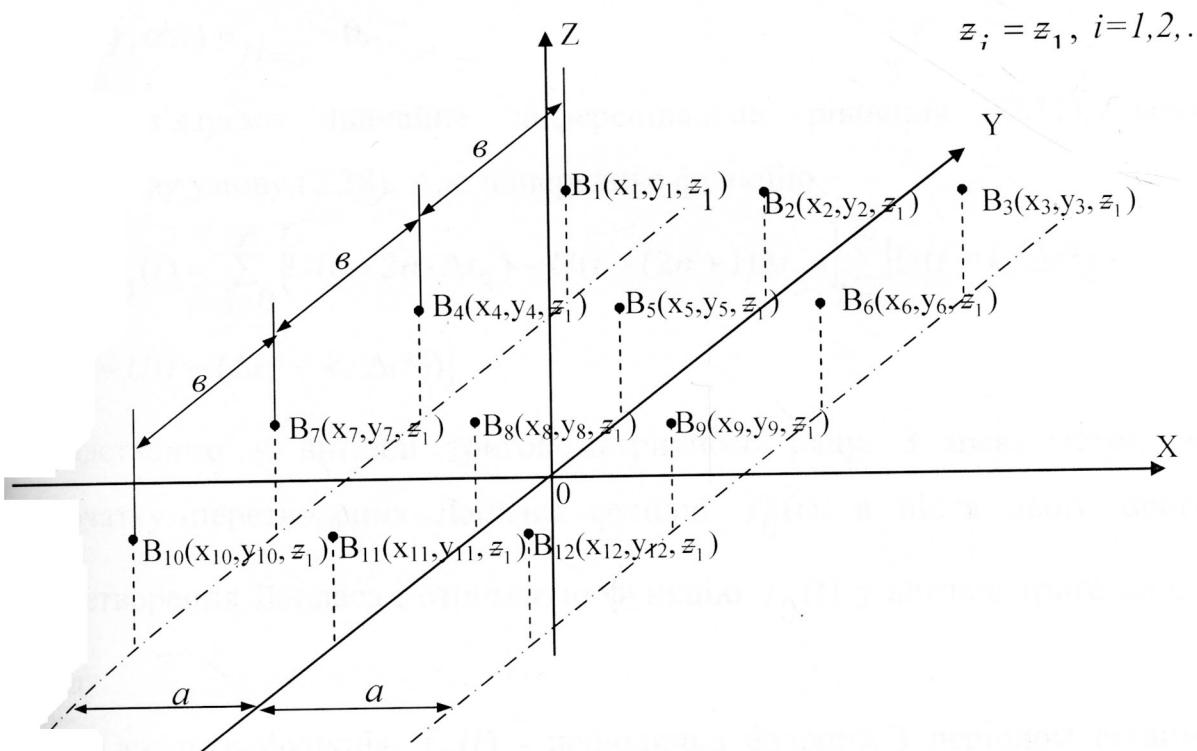


Рис. 2.2. Схема розташування запобіжних клапанів у резервуарах.

де \bar{C} - перетворення Фур'є по змінній x ; $\bar{\bar{C}}$ - перетворення Фур'є по змінних x і y ;
 $i\beta, \gamma$ - аргументи функції перетворення Фур'є.

Далі по змінній z застосовуємо косинус-перетворення Фур'є

$$\bar{\bar{C}}(\beta, \gamma, \alpha, t) = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \int_0^\infty \bar{C}(\beta, \gamma, z, t) \cos \lambda z dz. \quad (2.36)$$

При цьому отримаємо

$$\begin{aligned} \frac{1}{D} \frac{d\bar{\bar{C}}}{dt} + (\alpha^2 + \beta^2 + \gamma^2) \bar{\bar{C}} &= \frac{\sqrt{2}}{2\pi\sqrt{\pi}} \frac{Q_0}{D\rho} \cos \lambda z_1 \sum_{i=1}^{12} e^{i(\beta x_i + \gamma y_i)} \sum_{n=0}^{\infty} [U(t - 2n \cdot \Delta t_3) - \\ &- U(t - (2n+1)\Delta t_3)] \sum_{k=0}^{\infty} [U(t - k\Delta t^*) - U(t - (\Delta t_1 + k \cdot \Delta t^*))], \end{aligned} \quad (2.37)$$

тут α - аргумент функції конус-перетворення Фур'є;

$$\bar{\bar{C}}(\beta, \gamma, \alpha, t) \Big|_{t=0} = 0. \quad (2.38)$$

Розв'язуємо звичайне диференціальне рівняння (2.37), враховуючи початкову умову (2.38). Але попередньо функцію

$$\begin{aligned} f_0(t) &= \sum_{n=0}^{\infty} [U(t - 2n \cdot \Delta t_3) - U(t - (2n+1)\Delta t_3)] \sum_{k=0}^{\infty} [U(t - k \cdot \Delta t^*) - \\ &- U(t - (\Delta t_1 + k \cdot \Delta t^*))] \end{aligned}$$

представимо у вигляді тригонометричного ряду. З цією метою знайдемо початку перетворення Лапласа функції $f_0(t)$, а після цього оригінал від перетворення Лапласа і отримаємо функцію $f_0(t)$ у вигляді тригонометричного ряду.

Оскільки функція $f_0(t)$ - періодична функція з періодом рівним $T=2\Delta t_3$ (рис.2.1), то, як відомо [76,77,78], перетворення Лапласа запишеться у такому вигляді:

$$F_0(s) = \frac{1}{1 - e^{-2s\Delta t_3}} \int_0^{\Delta t_3} f_0(t) dt = \frac{1}{1 - e^{-2s\Delta t_3}} \left\{ \int_0^{\Delta t_1} e^{-st} dt + \int_{\Delta t^*}^{\Delta t^* + \Delta t_1} e^{-st} dt + \right.$$

$$\begin{aligned}
 & + \frac{2\Delta t^* + \Delta t_1}{2\Delta t^*} e^{-st} dt + \dots + \frac{(m-1)\Delta t^* + \Delta t_1}{(m-1)\Delta t^*} e^{-st} dt = -\frac{1}{-2s\Delta t_3} \left\{ -\frac{1}{s} e^{-st} \Big|_0^{\Delta t_1} - \frac{1}{s} e^{-st} \Big|_{\Delta t^*}^{\Delta t^* + \Delta t_1} - \right. \\
 & \left. - \frac{1}{s} e^{-st} \Big|_{2\Delta t^*}^{2\Delta t^* + \Delta t_1} - \dots - \frac{1}{s} e^{-st} \Big|_{(m-1)\Delta t^*}^{(m-1)\Delta t^* + \Delta t_1} \right\} = -\frac{1}{-2s\Delta t_3} \left\{ \frac{1-e^{-s\Delta t_1}}{s} - \frac{e^{-s(\Delta t^* + \Delta t_1)}}{s} e^{-s\Delta t^*} - \right. \\
 & \left. - \frac{e^{-s(2\Delta t^* + \Delta t_1)}}{s} - e^{-s(2\Delta t^*)} - \dots - \frac{e^{-s((m-1)\Delta t^* + \Delta t_1)}}{s} - e^{-s(m-1)\Delta t^*} \right\},
 \end{aligned}$$

де S – аргумент інтегрального перетворення Лапласа.

Останній вираз можна подати так:

$$F_o(S) = \frac{1}{1-e^{-s\Delta t_3}} \left[\frac{1}{s} + \frac{e^{-s\Delta t^*}}{s} + \frac{e^{-s(2\Delta t^*)}}{s} + \dots + \frac{e^{-s(m-1)\Delta t^*}}{s} - \frac{e^{-s\Delta t_1}}{s} - \frac{e^{-s(\Delta t^* + \Delta t_1)}}{s} - \right. \\
 \left. - \frac{e^{-s(2\Delta t^* + \Delta t_1)}}{s} - \dots - \frac{e^{-s((m-1)\Delta t^* + \Delta t_1)}}{s} \right].$$

У квадратних дужках маємо дві геометричні прогресії, кожна з яких має по m членів. Знаменники цих прогресій однакові $e^{-s\Delta t^*}$.

Тому отримаємо

$$F_o(S) = \frac{1}{1-e^{-s\Delta t_3}} \left[\frac{1}{s} \frac{e^{-s \cdot m \Delta t^*} - 1}{e^{-s\Delta t^*} - 1} - \frac{e^{-s\Delta t_1} (e^{-s \cdot m \Delta t^*} - 1)}{s(e^{-s\Delta t^*} - 1)} \right] = \frac{1-e^{-s\Delta t_1}}{s(1-e^{-s\Delta t^*})(1+e^{-s \cdot m \Delta t^*})}$$

Таким чином, перетворення Лапласа функції $f_0(t) \epsilon$

$$F_o(S) = \frac{(1-e^{-s\Delta t_1})}{s(1-e^{-s\Delta t^*})(1+e^{-s \cdot m \cdot \Delta t^*})}. \quad (2.39)$$

Функція $F_o(S)$ має полюси $s = 0$; $s = \pm \frac{2\pi k i}{\Delta t^*}, k = 1, 2, 3, \dots$ (нескінченна кількість); $s = \pm \frac{(2k+1)\pi i}{\Delta t_3}$, $k = 1, 2, 3, \dots$ (нескінченна кількість). Ураховуючи це і

використовуючи формулу теореми розкладу для випадку нескінченної кількості полюсів [78], після перетворень отримаємо

$$f_0(t) = \frac{\Delta t_1}{2\Delta t^*} + \frac{1}{2\pi} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{1}{k} \left[\sin \frac{2\pi k}{\Delta t^*} t - \sin \frac{2\pi k}{\Delta t^*} (t - \Delta t_1) \right] + \frac{1}{\pi} \sum_{k=0}^{\infty} \frac{1}{(2k+1)(1-\cos \frac{(2k+1)\pi}{\Delta t^*})} *$$

$$* \left[\sin \frac{(2k+1)\pi}{\Delta t_3} t - \sin \frac{(2k+1)\pi}{\Delta t_3} (t - \Delta t_1) + \sin \frac{(2k+1)\pi}{\Delta t_3} (t + \Delta t^* - \Delta t_1) - \sin \frac{(2k+1)}{\Delta t_3} (t + \Delta t^*) \right] \quad (2.40)$$

Тепер задача (2.37), (2.38) запишеться

$$\frac{1}{D} \frac{d \bar{\bar{C}}}{dt} + (\alpha^2 + \beta^2 + \gamma^2) \bar{\bar{C}} = \frac{\sqrt{2}}{2\pi\sqrt{\pi}} \frac{Q_0}{D\rho} \cos \lambda z \sum_{i=1}^{12} e^{i(\beta x_i + \gamma y_i)} \left\{ \frac{\Delta t_1}{2\Delta t^*} + \frac{1}{2\pi} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{1}{k} \left[\sin \frac{2\pi k}{\Delta t^*} t - \sin \frac{2\pi k}{\Delta t^*} (t - \Delta t_1) \right] + \frac{1}{\pi} \sum_{k=0}^{\infty} \frac{1}{(2k+1)(1-\cos \frac{(2k+1)\pi}{\Delta t^*})} \left[\sin \frac{(2k+1)\pi}{\Delta t_3} t - \sin \frac{(2k+1)\pi}{\Delta t_3} (t - \Delta t_1) + \sin \frac{(2k+1)\pi}{\Delta t_3} (t + \Delta t^* - \Delta t_1) \sin \frac{(2k+1)\pi}{\Delta t_3} (t + \Delta t^*) \right] \right\}, \quad (2.41)$$

$$\bar{\bar{C}}(\beta, \gamma, \alpha, t) /_{t=0} = 0. \quad (2.42)$$

Розв'язок задачі (2.41), (2.42) буде

$$\bar{\bar{C}} = \frac{\Delta t_1}{2\Delta t^* D(\alpha^2 + \beta^2 + \gamma^2)} (1 - e^{-D(\alpha^2 + \beta^2 + \gamma^2)t}) + \frac{Q_0}{2\pi} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{1}{k} \cdot \frac{1}{D^2(\alpha^2 + \beta^2 + \gamma^2)^2 + \frac{4\pi^2 k^2}{\Delta t^*}} \left[D(\alpha^2 + \beta^2 + \gamma^2)^* \right.$$

$$* \left(\sin \frac{2\pi k}{\Delta t^*} t - \sin \frac{2\pi k}{\Delta t^*} (t - \Delta t_1) \right) - \frac{2\pi k}{\Delta t^*} \left(\cos \frac{2\pi k}{\Delta t^*} t - \cos \frac{2\pi k}{\Delta t^*} (t - \Delta t_1) \right) \left] + \frac{Q_0}{\pi} * \right.$$

$$* \sum_{k=0}^{\infty} \frac{1}{(2k+1)(1-\cos \frac{(2k+1)\pi}{\Delta t_3})} \left(\frac{1}{D^2(\alpha^2 + \beta^2 + \gamma^2)^2 + \frac{(2k+1)^2 \pi^2}{\Delta t_3^2}} \left[D(\alpha^2 + \beta^2 + \gamma^2)^* \right. \right.$$

$$\left. \left. \sin \frac{(2k+1)\pi}{\Delta t_3} t \right] \right)$$

$$\begin{aligned}
& *_{t-\sin \frac{(2k+1)\pi}{\Delta t_3}(t-\Delta t_1)+\sin \frac{(2k+1)\pi}{\Delta t_3}(t+\Delta t^*-\Delta t_1)-\sin \frac{(2k+1)\pi}{\Delta t_3}(t+\Delta t^*)} - \frac{(2k+1)\pi}{\Delta t_3} \left[\cos \frac{(2k+1)\pi}{\Delta t_3} t - \right. \\
& \left. - \cos \frac{(2k+1)\pi}{\Delta t_3}(t-\Delta t_1) + \cos \frac{(2k+1)\pi}{\Delta t_3}(t+\Delta t^*-\Delta t_1) - \cos \frac{(2k+1)\pi}{\Delta t_3}(t+\Delta t^*) \right] \Bigg\} - \left\langle \frac{Q_0}{2\pi} * \right. \\
& \left. * \sum_{k=1}^{\infty} \frac{1}{k} \frac{1}{D^2(\alpha^2 + \beta^2 + \gamma^2)^2 + \frac{4\pi^2 k^2}{\Delta t^{*2}}} \left[D(\alpha^2 + \beta^2 + \gamma^2) \sin \frac{2\pi k}{\Delta t^*} \Delta t_1 - \frac{2\pi k}{\Delta t^*} (1 - \cos \frac{2\pi k}{\Delta t^*} \Delta t_1) \right] + \right. \\
& \left. + \frac{Q_0}{\pi} \sum_{k=0}^{\infty} \frac{1}{(2k+1)(1 - \cos \frac{(2k+1)\pi}{\Delta t_3} \Delta t^*)} \left\{ \frac{1}{D^2(\alpha^2 + \beta^2 + \gamma^2)^2 + \frac{(2k+1)^2 \pi^2}{\Delta t_3^2}} \left[D(\alpha^2 + \beta^2 + \gamma^2) (\sin \frac{(2k+1)\pi}{\Delta t_3} \Delta t_1 + \right. \right. \right. \\
& \left. \left. \left. + \sin \frac{(2k+1)\pi}{\Delta t_3} (\Delta t^* - \Delta t_1) - \sin \frac{(2k+1)\pi}{\Delta t_3} \Delta t^*) - \frac{(2k+1)\pi}{\Delta t_3} (1 - \cos \frac{(2k+1)\pi}{\Delta t_3} \Delta t_1 + \cos \frac{(2k+1)\pi}{\Delta t_3} (\Delta t^* - \Delta t_1) - \right. \right. \right. \\
& \left. \left. \left. - \cos \frac{(2k+1)\pi}{\Delta t_3} \Delta t^*) \right] \right\} * e^{-D(\alpha^2 + \beta^2 + \gamma^2)t}, \right. \tag{2.43}
\end{aligned}$$

$$\text{де } Q_0 = \frac{\sqrt{2}}{2\pi\sqrt{\pi}} \frac{Q_0}{s} \cos \lambda z_1 \sum_{i=1}^{12} e^{i(\beta x_i + \gamma y_i)}.$$

Виконуємо обернене косинус-перетворення Фур'є

$$\bar{\bar{C}}(\beta, \gamma, z, t) = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \int_0^\infty \bar{C}(\beta, \gamma, \alpha, t) \cos \alpha z d\alpha,$$

при цьому отримаємо

$$\begin{aligned}
\bar{\bar{C}} &= \frac{\Delta t_1}{2\Delta t^*} a_1 \int_0^\infty \frac{\cos \lambda z \cos \lambda z_1}{D(\alpha^2 + \beta^2 + \gamma^2)} (1 - e^{-D(\alpha^2 + \beta^2 + \gamma^2)t}) d\alpha + \frac{a_1}{2\pi} \sum_{k=1}^{\infty} \sum_{l=1}^{\infty} \frac{1}{k} \cdot \frac{1}{D^2(\alpha^2 + \beta^2 + \gamma^2)^2 + \frac{4\pi^2 k^2}{\Delta t^{*2}}} * \\
& * \left[D(\alpha^2 + \beta^2 + \gamma^2) \left(\sin \frac{2\pi k}{\Delta t^*} t - \sin \frac{2\pi k}{\Delta t^*} (t - \Delta t_1) \right) - \frac{2\pi k}{\Delta t^*} \left(\cos \frac{2\pi k}{\Delta t^*} t - \cos \frac{2\pi k}{\Delta t^*} (t - \Delta t_1) \right) \right] * \\
& * \cos \alpha z \cos \alpha z_1 d\lambda + \frac{a_1}{\pi} \sum_{k=0}^{\infty} \sum_{l=0}^{\infty} \frac{1}{(2k+1)(1 - \cos \frac{(2k+1)\pi}{\Delta t_3} \Delta t^*)} \left\langle \frac{1}{D^2(\alpha^2 + \beta^2 + \gamma^2)^2 \frac{(2k+1)^2 \pi^2}{\Delta t_3^2}} \right. \\
& \left. * \left\{ D(\alpha^2 + \beta^2 + \gamma^2) \left[\sin \frac{(2k+1)\pi}{\Delta t_3} t - \sin \frac{(2k+1)\pi}{\Delta t_3} (t - \Delta t_1) + \sin \frac{(2k+1)\pi}{\Delta t_3} (t + \Delta t^* - \Delta t_1) - \right. \right. \right. \\
& \left. \left. \left. - \cos \frac{(2k+1)\pi}{\Delta t_3} (t - \Delta t_1) + \cos \frac{(2k+1)\pi}{\Delta t_3} (t + \Delta t^* - \Delta t_1) - \cos \frac{(2k+1)\pi}{\Delta t_3} (t + \Delta t^*) \right] \right\} \right\rangle
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \left[-\sin \frac{(2k+1)\pi}{\Delta t_3} (t + \Delta t^*) \right] - \frac{(2k+1)\pi}{\Delta t_3} \left[\cos \frac{(2k+1)\pi}{\Delta t_3} t - \cos \frac{(2k+1)\pi}{\Delta t_3} (t - \Delta t_1) + \cos \frac{(2k+1)\pi}{\Delta t_3} (t + \Delta t^* - \Delta t_1) - \right. \\
& \left. - \cos \frac{(2k+1)\pi}{\Delta t_3} (t + \Delta t^*) \right] \} \cos \alpha z \cos \alpha z_1 d\alpha - \int_0^\infty \left(\frac{Q_0}{2\pi} \sum_{k=1}^\infty \frac{1}{k} \frac{1}{D^2 (\alpha^2 + \beta^2 + \gamma^2)^2 + \frac{4\pi^2 k^2}{\Delta t^*}} \right. \\
& * \left[D(\alpha^2 + \beta^2 + \gamma^2) \sin \frac{2\pi k}{\Delta t^*} \Delta t_1 - \frac{2\pi k}{\Delta t^*} (1 - \cos \frac{2\pi k}{\Delta t^*} \Delta t_1) \right] + \frac{a_1}{\pi} \sum_{k=0}^\infty \frac{1}{(2k+1)(1 - \cos \frac{(2k+1)\pi}{\Delta t_3} \Delta t^*)} * \\
& * \left\{ \frac{1}{D^2 (\alpha^2 + \beta^2 + \gamma^2)^2 + \frac{4\pi^2 k^2}{\Delta t_3^2}} \left[D(\alpha^2 + \beta^2 + \gamma^2) \left(\sin \frac{(2k+1)\pi}{\Delta t_3} \Delta t_1 + \sin \frac{(2k+1)\pi}{\Delta t_3} (\Delta t^* - \Delta t_1) - \right. \right. \right. \\
& \left. \left. \left. - \sin \frac{(2k+1)\pi}{\Delta t_3} \Delta t^* \right) - \frac{(2k+1)\pi}{\Delta t_3} (1 - \cos \frac{(2k+1)\pi}{\Delta t_3} \Delta t_1 + \cos \frac{(2k+1)\pi}{\Delta t_3} (\Delta t^* - \Delta t_1) - \cos \frac{(2k+1)\pi}{\Delta t_3} \Delta t^*) \right] \right\} * \\
& * e^{-D(\alpha^2 + \beta^2 + \gamma^2)t} \cos \alpha z \cdot \cos \alpha z_1 d\alpha, \quad (2.44)
\end{aligned}$$

$$\text{де } a_1 = \frac{1}{\pi^2} \frac{Q_0}{\rho} \sum_{i=1}^{12} e^{i(\beta x_i + \gamma y_i)}.$$

Перевіркою встановлено, що аналітичний вираз (2.44) задовольняє диференціальне рівняння (2.34) і граничну, і початкову умови (2.35).

Обернене експоненціальне перетворення Фур'є по змінній y знаходиться за формулою [41,42,65,68]

$$\bar{C}(\beta, y, z, t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} \bar{C}(\beta, \gamma, z, t) e^{-iy\gamma} d\gamma. \quad (2.44)$$

У результаті виконання цього перетворення при врахуванні ординат джерел маси будемо мати

$$\begin{aligned}
\bar{C} &= \frac{\Delta t_1}{\Delta t^*} \frac{1}{\pi^2 \sqrt{2\pi}} \frac{Q_0}{\rho} (\ell^{-i\beta a} + 1 + e^{+i\beta a}) \int_0^\infty [\cos \gamma(y - 1,5b) + \cos \gamma(y + 1,5b) + \cos \gamma(y - 0,5b) + \\
& + \cos \gamma(y + 0,5b)] \int_0^\infty \frac{\cos \alpha z \cos \alpha z_1}{D(\alpha^2 + \beta^2 + \gamma^2)} (1 - e^{-D(\alpha^2 + \beta^2 + \gamma^2)t}) d\alpha d\gamma +
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + \frac{1}{\pi^3 \sqrt{2\pi}} \frac{Q_0}{\rho} (e^{-i\beta a} + e^{i\beta a}) \int_0^\infty [\cos\gamma(y-1,5b) + \cos\gamma(y+1,5b) + \cos\gamma(y-0,5b) + \cos\gamma(y+0,5b)]^* \\
& * \sum_{k=1}^\infty \frac{1}{k} \frac{1}{D^2(\alpha^2 + \beta^2 + \gamma^2)^2 + \frac{4\pi^2 k^2}{\Delta t^* 2}} \left[D(\alpha^2 + \beta^2 + \gamma^2) (\sin \frac{2\pi k}{\Delta t^*} t - \sin \frac{2\pi k}{\Delta t^*} (t - \Delta t_1)) - \frac{2\pi k}{\Delta t^*} \right] * \\
& * \left[(\cos \frac{2\pi k}{\Delta t^*} t - \cos \frac{2\pi k}{\Delta t^*} (t - \Delta t_1)) \right] \cos\alpha \cos\alpha_1 d\alpha \Big\} d\gamma + \frac{2}{\pi^3 \sqrt{2\pi}} \frac{Q_0}{\rho} (e^{-i\beta a} + e^{i\beta a})^* \\
& * \int_0^\infty [\cos\gamma(y-1,5b) + \cos\gamma(y+1,5b) + \cos\gamma(y-0,5b) + \cos\gamma(y+0,5b)] \int_0^\infty \sum_{k=0}^\infty \frac{1}{(2k+1)(1-\cos \frac{(2k+1)\pi}{\Delta t^*} \Delta t_3)} * \\
& * \left\{ \frac{1}{D^2(\alpha^2 + \beta^2 + \gamma^2)^2 + \frac{(2k+1)^2 \pi^2}{\Delta t_3^2}} \left[D(\alpha^2 + \beta^2 + \gamma^2) (\sin \frac{(2k+1)\pi}{\Delta t_3} t - \sin \frac{(2k+1)\pi}{\Delta t_3} (t - \Delta t_1)) + \right. \right. \\
& + \sin \frac{(2k+1)\pi}{\Delta t_3} (t + \Delta t^* - \Delta t_1) - \sin \frac{(2k+1)\pi}{\Delta t_3} (t + \Delta t^*) - \frac{(2k+1)\pi}{\Delta t_3} (\cos \frac{(2k+1)\pi}{\Delta t_3} t - \\
& \left. \left. - \cos \frac{(2k+1)\pi}{\Delta t_3} (t - \Delta t_1) + \cos \frac{(2k+1)\pi}{\Delta t_3} (t + \Delta t^* - \Delta t_1) - \cos \frac{(2k+1)\pi}{\Delta t_3} (t + \Delta t^*) \right] \right\} \cos\alpha \cos\alpha_1 * \\
& * d\alpha \Big\} d\gamma - \frac{2}{\sqrt{2\pi}} (e^{-i\beta a} + e^{i\beta a}) \int_0^\infty [\cos\gamma(y-1,5b) + \cos\gamma(y+1,5b) + \cos\gamma(y-0,5b) + \\
& + \cos\gamma(y+0,5b)] \int_0^\infty \left\{ \frac{1}{2\pi^3} \frac{Q_0}{\rho} \sum_{k=1}^\infty \frac{1}{k} \frac{1}{D^2(\alpha^2 + \beta^2 + \gamma^2)^2 + \frac{4\pi^2 k^2}{\Delta t^* 2}} (D(\alpha^2 + \beta^2 + \gamma^2) \sin \frac{2\pi k}{\Delta t^*} \Delta t_1 - \right. \\
& \left. - \frac{2\pi k}{\Delta t^*} (1 - \cos \frac{2\pi k}{\Delta t^*} \Delta t_1)) + \frac{1}{\pi^3} \frac{Q_0}{\rho} \sum_{k=0}^\infty \frac{1}{(2k+1)(1-\cos \frac{(2k+1)\pi}{\Delta t^*} \Delta t_3)} \cdot \frac{1}{D^2(\alpha^2 + \beta^2 + \gamma^2)^2 + \frac{(2k+1)^2 \pi^2}{\Delta t_3^2}} \right. * \\
& * \left[D(\alpha^2 + \beta^2 + \gamma^2) (\sin \frac{(2k+1)\pi}{\Delta t_3} \Delta t_1 + \sin \frac{(2k+1)\pi}{\Delta t_3} (\Delta t^* - \Delta t_1) - \sin \frac{(2k+1)\pi}{\Delta t_3} \Delta t^*) - \frac{(2k+1)\pi}{\Delta t_3} \right. * \\
& * \left. \left. \left. \left. (1 - \cos \frac{(2k+1)\pi}{\Delta t_3} \Delta t_1 + \cos \frac{(2k+1)\pi}{\Delta t_3} (\Delta t^* - \Delta t_1) - \cos \frac{(2k+1)\pi}{\Delta t_3} \Delta t^*) \right] e^{-D(\alpha^2 + \beta^2 + \gamma^2)t} * \cos\alpha \cos\alpha_1 d\alpha \right\} d\gamma. \quad (2.46)
\right.
\end{aligned}$$

Аналітичний вираз (2.46) є розв'язком задачі (2.33), оскільки він задовільняє диференціальне рівняння (2.33), початкову(2.32) і граничну умови (2.34).

Знаходимо обернене експоненціальне перетворення Фур'є по змінній x , користуючись формулою

$$C(x, y, z, t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} \bar{C}(\beta, y, z, t) e^{-i\beta x} d\beta.$$

Після виконання цього перетворення одержимо

$$\begin{aligned} C(x, y, z, t) = & \frac{\Delta t_1}{\Delta t^*} \frac{1}{\pi^3} \frac{Q_0}{\rho} \int_0^\infty \left\langle (\cos \beta(x+a) + \cos \beta x + \cos \beta(x-a)) \int_0^\infty [\cos \gamma(y-1,5b) + \right. \\ & + \cos(y+1,5b) + \cos(y-0,5b) + \cos(y+0,5b)] \int_0^\infty \frac{\cos \alpha \cos \alpha}{0D(\alpha^2 + \beta^2 + \gamma^2)} (1 - e^{-D(\alpha^2 + \beta^2 + \gamma^2)t}) d\alpha dy \right\rangle d\beta + \\ & + \frac{1}{\pi^4} \frac{Q_0}{\rho} \int_0^\infty \left\langle (\cos \beta(x+a) + \cos \beta x + \cos \beta(x-a)) \int_0^\infty [\cos \gamma(y-1,5b) + \cos \gamma(y+1,5b) + \cos \gamma(y-0,5b) + \right. \\ & + \cos \gamma(y+0,5b)] \int_0^\infty \sum_{k=1}^\infty \frac{1}{k} \frac{1}{D^2(\alpha^2 + \beta^2 + \gamma^2)^2 + \frac{4\pi^2 k^2}{\Delta t^{*2}}} \left[D(\alpha^2 + \beta^2 + \gamma^2) \left(\sin \frac{2\pi k}{\Delta t^*} t - \sin \frac{2\pi k}{\Delta t^*} (t - \Delta t_1) \right) - \right. \\ & \left. - \frac{2\pi k}{\Delta t^*} \left(\cos \frac{2\pi k}{\Delta t^*} t - \cos \frac{2\pi k}{\Delta t^*} (t - \Delta t_1) \right) \right] \cos \alpha \cos \alpha_1 d\alpha \right\rangle d\beta + \frac{2}{\pi^4} \frac{Q_0}{\rho} * \\ & * \int_0^\infty \left\langle (\cos \beta(x+a) + \cos \beta x + \cos \beta(x-a)) \int_0^\infty [\cos \gamma(y-1,5b) + \cos \gamma(y+1,5b) + \cos \gamma(y-0,5b) + \right. \\ & + \cos \gamma(y+0,5b)] \int_0^\infty \sum_{k=0}^\infty \frac{1}{(2k+1)(1 - \cos \frac{(2k+1)\pi}{\Delta t_3})} \cdot \frac{1}{D^2(\alpha^2 + \beta^2 + \gamma^2)^2 + \frac{(2k+1)^2 \pi^2}{\Delta t_3^2}} \left[D(\alpha^2 + \beta^2 + \gamma^2) * \right. \\ & * \left(\sin \frac{(2k+1)\pi}{\Delta t_3} t - \sin \frac{(2k+1)\pi}{\Delta t_3} (t - \Delta t_1) + \sin \frac{(2k+1)\pi}{\Delta t_3} (t + \Delta t^* - \Delta t_1) - \sin \frac{(2k+1)\pi}{\Delta t_3} (t + \Delta t^*) \right) - \\ & - \frac{(2k+1)\pi}{\Delta t_3} \left(\cos \frac{(2k+1)\pi}{\Delta t_3} t - \cos \frac{(2k+1)\pi}{\Delta t_3} (t - \Delta t_1) + \cos \frac{(2k+1)\pi}{\Delta t_3} (t + \Delta t^* - \Delta t_1) - \cos \frac{(2k+1)\pi}{\Delta t_3} (t + \right. \\ & \left. + \Delta t^*) \right] \cdot \cos \alpha \cos \alpha_1 d\alpha \right\rangle d\beta - \frac{2}{\pi} \int_0^\infty \left\langle (\cos \beta(x+a) + \cos \beta x + \cos \beta(x-a)) * \right. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& * \int_0^\infty [\cos \gamma(y - 1,5b) + \cos \gamma(y + 1,5b) + \cos \gamma(y - 0,5b) + \cos \gamma(y + 0,5b)] \int_0^\infty \left[\frac{1}{2\pi^3} \frac{Q_0}{\rho} \right] * \\
& * \sum_{k=1}^\infty \frac{1}{k} \frac{1}{D^2(\alpha^2 + \beta^2 + \gamma^2)^2 + \frac{4\pi^2 k^2}{\Delta t^{*2}}} (D(\alpha^2 + \beta^2 + \gamma^2) \sin \frac{2\pi k}{\Delta t^*} \Delta t_1 - \frac{2\pi k}{\Delta t^*} (1 - \cos \frac{2\pi k}{\Delta t^*} \Delta t_1)) + \\
& + \frac{1}{\pi^3} \frac{Q_0}{\rho} \sum_{k=0}^\infty \frac{1}{(2k+1)(1 - \cos \frac{(2k+1)\pi}{\Delta t_3} \Delta t^*)} \cdot \frac{1}{D^2(\alpha^2 + \beta^2 + \gamma^2)^2 + \frac{(2k+1)^2 \pi^2}{\Delta t_3^2}} (D(\alpha^2 + \beta^2 + \gamma^2) * \\
& * (\sin \frac{(2k+1)\pi}{\Delta t_3} \Delta t_1 + \sin \frac{(2k+1)\pi}{\Delta t_3} (\Delta t^* - \Delta t_1) - \sin \frac{(2k+1)\pi}{\Delta t_3} \cdot \Delta t^*) - \frac{(2k+1)\pi}{\Delta t_3} (1 - \\
& - \cos \frac{(2k+1)\pi}{\Delta t_3} \Delta t_1 + \cos \frac{(2k+1)\pi}{\Delta t_3} (\Delta t^* - \Delta t_1) - \cos \frac{(2k+1)\pi}{\Delta t_3} \Delta t^*)) \times \left. \right\} d\gamma \right\} d\beta. \quad (2.47) \\
& \times e^{-D(\alpha^2 + \beta^2 + \gamma^2)t} \cos \alpha z \cos \alpha z_1 d\alpha
\end{aligned}$$

Функція (2.47) задовольняє диференціальне рівняння (2.3), початкову умову (2.4) і граничну умову (2.6), тобто є розв'язок задачі дифузії парів бензину в нерухомому середовищі.

Запишемо розв'язок (2.47) у більш компактному вигляді

$$\begin{aligned}
C(x, y, z, t) = & \frac{Q_0}{\pi^3 D \rho} \frac{\Delta t_1}{\Delta t^*} \int_0^\infty f_1(\beta, x) \int_0^\infty f_2(\gamma, y) \int_0^\infty \frac{\cos \alpha z \cos \alpha z_1}{\alpha^2 + \beta^2 + \gamma^2} (1 - e^{-D(\alpha^2 + \beta^2 + \gamma^2)t}) d\alpha d\gamma d\beta + \\
& + \frac{1}{\pi^4} \frac{Q_0}{\rho} \int_0^\infty f_1(\beta, x) \int_0^\infty f_2(\gamma, y) \int_0^\infty \left[\sum_{k=1}^\infty f_3(\lambda, \beta, \gamma, k, t) + 2 \sum_{k=0}^\infty f_4(\lambda, \beta, \gamma, k, t) \right] \cos \alpha z * \\
& * \cos \alpha z_1 d\alpha d\gamma d\beta - \frac{1}{\pi^4} \frac{Q_0}{\rho} \int_0^\infty f_1(\beta, x) \int_0^\infty f_2(\gamma, y) \int_0^\infty \left[\sum_{k=1}^\infty f_5(\alpha, \beta, \gamma, k) + \right. \\
& \left. + 2 \sum_{k=0}^\infty f_6(\alpha, \beta, \gamma, k) \right] e^{-D(\alpha^2 + \beta^2 + \gamma^2)t} \cos \alpha z \cos \alpha z_1 d\alpha d\gamma d\beta,
\end{aligned}$$

де $f_1(\beta, x) = \cos \beta(x + a) + \cos \beta x + \cos \beta(x - a)$;

$$f_2(\gamma, y) = \cos \gamma(y - 1,5b) + \cos \gamma(y + 1,5b) + \cos \gamma(y - 0,5b) + \cos \gamma(y + 0,5b);$$

$$f_3(\lambda, \beta, \gamma, k, t) = \frac{1}{k} \frac{1}{D^2(\alpha^2 + \beta^2 + \gamma^2)^2 + \frac{4\pi^2 k^2}{\Delta t^{*2}}} \left[D(\alpha^2 + \beta^2 + \gamma^2)(\sin \frac{2\pi k}{\Delta t^{*}} t - \right. \\ \left. - \sin \frac{2\pi k}{\Delta t^{*}}(t - \Delta t_1)) - \frac{2\pi k}{\Delta t^{*}} (\cos \frac{2\pi k}{\Delta t^{*}} t - \cos \frac{2\pi k}{\Delta t^{*}}(t - \Delta t_1)) \right];$$

$$f_4(\alpha, \beta, \gamma, k, t) = \frac{1}{(2k+1)(1-\cos \frac{(2k+1)\pi}{\Delta t_3} \Delta t^{*})} \cdot \frac{1}{D^2(\alpha^2 + \beta^2 + \gamma^2)^2 + \frac{(2k+1)^2 \pi^2}{\Delta t_3^2}} \left[D(\alpha^2 + \beta^2 + \gamma^2)^{*} \right. \\ \left. * (\sin \frac{(2k+1)\pi}{\Delta t_3} t - \sin \frac{(2k+1)\pi}{\Delta t_3} (t - \Delta t_1) + \sin \frac{(2k+1)\pi}{\Delta t_3} (t + \Delta t^{*} - \Delta t_1) - \sin \frac{(2k+1)\pi}{\Delta t_3} (t + \Delta t^{*})) - \right. \\ \left. - \frac{(2k+1)\pi}{\Delta t_3} (\cos \frac{(2k+1)\pi}{\Delta t_3} t - \cos \frac{(2k+1)\pi}{\Delta t_3} (t - \Delta t_1) + \cos \frac{(2k+1)\pi}{\Delta t_3} (t + \Delta t^{*} - \Delta t_1) - \right. \\ \left. - \cos \frac{(2k+1)\pi}{\Delta t_3} (t + \Delta t^{*})) \right];$$

$$f_5(\alpha, \beta, \gamma, k, t) = \frac{1}{k} \cdot \frac{1}{D^2(\alpha^2 + \beta^2 + \gamma^2)^2 + \frac{(2k+1)^2 \pi^2}{\Delta t^{*2}}} \left[D(\alpha^2 + \beta^2 + \gamma^2) \sin \frac{2\pi k}{\Delta t^{*}} \Delta t_1 - \right. \\ \left. - \frac{2\pi k}{\Delta t^{*}} (1 - \cos \frac{2\pi k}{\Delta t^{*}} \Delta t_1) \right];$$

$$f_6(\alpha, \beta, \gamma, k) = \frac{1}{(2k+1)(1-\cos \frac{(2k+1)\pi}{\Delta t_3} \Delta t^{*})} \cdot \frac{1}{D^2(\alpha^2 + \beta^2 + \gamma^2)^2 + \frac{(2k+1)^2 \pi^2}{\Delta t_3^2}} * \\ * \left[D(\alpha^2 + \beta^2 + \gamma^2) (\sin \frac{(2k+1)\pi}{\Delta t_3} \Delta t_1 + \sin \frac{(2k+1)\pi}{\Delta t_3} (\Delta t^{*} - \Delta t_1) - \sin \frac{(2k+1)\pi}{\Delta t_3} \Delta t^{*}) - \frac{(2k+1)\pi}{\Delta t_3} * \right. \\ \left. * (1 - \cos \frac{(2k+1)\pi}{\Delta t_3} \Delta t_1 + \cos \frac{(2k+1)\pi}{\Delta t_3} (\Delta t^{*} - \Delta t_1) - \cos \frac{(2k+1)\pi}{\Delta t_3} \Delta t^{*}) \right].$$

Оскільки зробити обчислення за формулою (2.47) дуже важко (потрійний інтеграл, підінтегральна функція осцилююча і, крім того, в другому і третьому потрійному інтегралах є ще нескінчені суми), вирішено було розв'язати спочатку задачу по визначеню концентрації дифундуючої речовини (парів бензину) у нерухомому середовищі, викликаної одним джерелом потужністю Q_0 кг/с, яке починає діяти в момент часу $t = \Delta t$ і діє протягом часу Δt_1 (рис. 2.3).

Джерело, як видно, працює не безперервно. У такому випадку математична задача запишеться так:

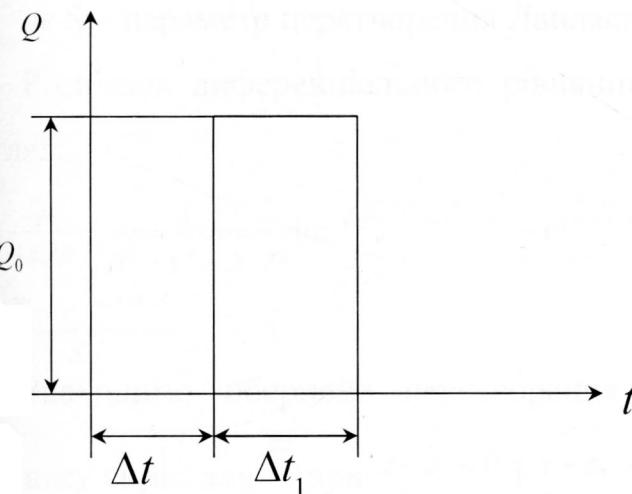


Рис. 2.3 Схема викидів одного джерела в момент часу $t = \Delta t$

$$\Delta C - \frac{1}{D} \frac{\partial c}{\partial t} = -\frac{Q_0}{D\rho} \delta(x)\delta(y)\delta(z - z_1)[U(t - \Delta t) - U(t - \Delta t - \Delta t_1)] \quad (2.48)$$

Початкова і гранична умова задачі

$$C(x, y, z)_{|t=0} = 0, \quad \frac{\partial c}{\partial z}_{|z=0} = 0, \quad C \rightarrow 0 \quad (2.49)$$

де $\nabla = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$; $\delta(x), \delta(y), \delta(z - z_1)$ - дельта-функції Дірака;

$U(t - \Delta t), U(t - \Delta t - \Delta t_1)$ - одиничні функції Хевісайда.

Задача (2.48), (2.49) симетрична відносно осей X і Y, тому для змінних x і y можна застосувати експоненціальне перетворення Фур'є.

$$\bar{f}(\beta) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} f(x) e^{i\beta x} dx$$

І при цьому отримаємо

$$(\beta^2 + \gamma^2) \bar{C} + \frac{\partial^2 \bar{C}}{\partial z^2} - \frac{1}{D} \frac{\partial \bar{C}}{\partial t} = -\frac{Q_0}{D\rho} \frac{1}{2\pi} \delta(z - z_1) [U(t - \Delta t) - U(t - \Delta t - \Delta t_1)], \quad (2.50)$$

$$\bar{C}(\beta, \gamma, z, t)_{/t=0} = 0, \frac{\partial \bar{C}}{\partial z}_{/z=0} = 0, \bar{C} \xrightarrow[z \rightarrow \infty]{} \infty, \quad (2.51)$$

Тут β, γ – параметри перетворення Фур'є; \bar{C} - подвійне перетворення Фур'є функції C .

Далі по часу t застосовуємо перетворення Лапласа:

$$(\beta^2 + \gamma^2 + \frac{S}{D})\bar{C} + \frac{d^2 \bar{C}}{dz^2} = -\frac{Q}{2\pi\rho D} \delta(z - z_1) \frac{e^{-\Delta ts} - e^{-(\Delta t + \Delta t_1)s}}{S}, \quad (2.52)$$

$$\frac{d \bar{C}}{dz}_{/z=0} = 0, \bar{C} \xrightarrow[z \rightarrow \infty]{} \infty, \quad (2.53)$$

де S – параметр перетворення Лапласа.

Розв'язок диференціального рівняння (2.52) при умовах (2.53) має такий вигляд:

$$\bar{C} = \frac{Q_0}{4\pi D\rho} \frac{1}{\sqrt{\beta^2 + \gamma^2 + S/D}} [(e^{-\sqrt{\beta^2 + \gamma^2 + S/D}(z-z_1)} - e^{\sqrt{\beta^2 + \gamma^2 + S/D}(z-z_1)}U(z-z_1) + e^{\sqrt{\beta^2 + \gamma^2 + S/D}(z-z_1)} + \\ (z-z_1)) \frac{e^{-\Delta ts} - e^{-(\Delta t + \Delta t_1)s}}{S}] \quad (2.54)$$

Знаходимо обернене перетворення Лапласа функції (3.27). Запишемо спочатку вираз для \bar{C} при $z - z_1 < 0$ і $z - z_1 > 0$

a) $z \leq z_1$

$$\bar{C} = \frac{Q_0}{4\pi D\rho} \frac{1}{\sqrt{\beta^2 + \gamma^2 + S/D}} \left[e^{\sqrt{\beta^2 + \gamma^2 + S/D}(z-z_1)} + e^{-\sqrt{\beta^2 + \gamma^2 + S/D}(z+z_1)} \right] \frac{e^{-\Delta ts} - e^{-(\Delta t + \Delta t_1)s}}{S} \quad (2.55)$$

б) $z \leq z_1$

$$\bar{C} = \frac{Q_0}{4\pi D\rho} \frac{1}{\sqrt{\beta^2 + \gamma^2 + S/D}} \left[e^{-\sqrt{\beta^2 + \gamma^2 + S/D}(z-z_1)} + e^{-\sqrt{\beta^2 + \gamma^2 + S/D}(z+z_1)} \right] \frac{e^{-\Delta ts} - e^{-(\Delta t + \Delta t_1)s}}{S} \quad (2.56)$$

Обернені перетворення функції (2.55) і (2.56) знаходяться за допомогою таблиць

Обернене перетворення Лапласа [62,70]

$$\begin{aligned} \bar{C} = & \frac{Q_0}{8\pi D\rho} \frac{1}{\sqrt{\beta^2 + \gamma^2}} \{ [e^{-(z-z_1)\sqrt{\beta^2 + \gamma^2}} erfc(\frac{z_1 - z}{2\sqrt{D(t - \Delta t)}} - \sqrt{D(\beta^2 + \gamma^2)(t - \Delta t)}) - e^{(z-z_1)\sqrt{\beta^2 + \gamma^2}} * \\ & * erfc(\frac{z_1 - z}{2\sqrt{D(t - \Delta t)}} + \sqrt{D(\beta^2 + \gamma^2)(t - \Delta t)})] - [e^{-(z-z_1)\sqrt{\beta^2 + \gamma^2}} erfc(\frac{z_1 - z}{2\sqrt{D(t - \Delta t - \Delta t_1)}} - \\ & - \sqrt{D(\beta^2 + \gamma^2)(t - \Delta t - \Delta t_1)}) - e^{(z-z_1)\sqrt{\beta^2 + \gamma^2}} erfc(\frac{z_1 - z}{2\sqrt{D(t - \Delta t - \Delta t_1)}} + \sqrt{D(\beta^2 + \gamma^2)(t - \Delta t - \Delta t_1)})] + \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + [e^{-(z-z_1)\sqrt{\beta^2+\gamma^2}} \operatorname{erfc}(\frac{z_1-z}{2\sqrt{D(t-\Delta t)}} - \sqrt{D(\beta^2+\gamma^2)(t-\Delta t)}) - e^{(z-z_1)\sqrt{\beta^2+\gamma^2}} \operatorname{erfc}(\frac{z_1-z}{2\sqrt{D(t-\Delta t)}} + \\
& \sqrt{D(\beta^2+\gamma^2)(t-\Delta t)})] - [e^{-(z-z_1)\sqrt{\beta^2+\gamma^2}} \operatorname{erfc}(\frac{z_1-z}{2\sqrt{D(t-\Delta t-\Delta t_1)}} - \sqrt{D(\beta^2+\gamma^2)(t-\Delta t-\Delta t_1)}) - \\
& - e^{(z-z_1)\sqrt{\beta^2+\gamma^2}} \operatorname{erfc}(\frac{z_1-z}{2\sqrt{D(t-\Delta t-\Delta t_1)}} + \sqrt{D(\beta^2+\gamma^2)(t-\Delta t-\Delta t_1)})] \quad (2.57)
\end{aligned}$$

а для $z \geq z_1$

$$\begin{aligned}
C &= \frac{Q_0}{8\pi D\rho} \frac{1}{\sqrt{\beta^2+\gamma^2}} \{ [e^{-(z-z_1)\sqrt{\beta^2+\gamma^2}} \operatorname{erfc}(\frac{z_1-z}{2\sqrt{D(t-\Delta t)}} - \sqrt{D(\beta^2+\gamma^2)(t-\Delta t)}) - e^{(z-z_1)\sqrt{\beta^2+\gamma^2}} * \\
& * \operatorname{erfc}(\frac{z_1-z}{2\sqrt{D(t-\Delta t)}} + \sqrt{D(\beta^2+\gamma^2)(t-\Delta t)})] - [e^{-(z-z_1)\sqrt{\beta^2+\gamma^2}} \operatorname{erfc}(\frac{z_1-z}{2\sqrt{D(t-\Delta t-\Delta t_1)}} - \\
& - \sqrt{D(\beta^2+\gamma^2)(t-\Delta t-\Delta t_1)}) - e^{(z-z_1)\sqrt{\beta^2+\gamma^2}} \operatorname{erfc}(\frac{z_1-z}{2\sqrt{D(t-\Delta t-\Delta t_1)}} + \sqrt{D(\beta^2+\gamma^2)(t-\Delta t-\Delta t_1)})] + \\
& + [e^{-(z-z_1)\sqrt{\beta^2+\gamma^2}} \operatorname{erfc}(\frac{z_1-z}{2\sqrt{D(t-\Delta t)}} - \sqrt{D(\beta^2+\gamma^2)(t-\Delta t)}) - e^{(z-z_1)\sqrt{\beta^2+\gamma^2}} \operatorname{erfc}(\frac{z_1-z}{2\sqrt{D(t-\Delta t)}} + \\
& \sqrt{D(\beta^2+\gamma^2)(t-\Delta t)})] - [e^{-(z-z_1)\sqrt{\beta^2+\gamma^2}} \operatorname{erfc}(\frac{z_1-z}{2\sqrt{D(t-\Delta t-\Delta t_1)}} - \sqrt{D(\beta^2+\gamma^2)(t-\Delta t-\Delta t_1)}) - \\
& - e^{(z-z_1)\sqrt{\beta^2+\gamma^2}} \operatorname{erfc}(\frac{z_1-z}{2\sqrt{D(t-\Delta t-\Delta t_1)}} + \sqrt{D(\beta^2+\gamma^2)(t-\Delta t-\Delta t_1)})] \} \quad (2.58)
\end{aligned}$$

Виконуючи обернені експоненціальні перетворення по y і x отримаємо:

a) $z \leq z_1$

$$\begin{aligned}
C(x, y, z, t) &= \frac{Q_0}{8\pi D\rho} \int_0^\infty \cos \beta x \int_0^\infty \cos \gamma y \frac{1}{\sqrt{\beta^2+\gamma^2}} \{ [e^{-(z-z_1)\sqrt{\beta^2+\gamma^2}} \operatorname{erfc}(\frac{z_1-z}{2\sqrt{D(t-\Delta t)}} - \sqrt{D(\beta^2+\gamma^2)(t-\Delta t)}) - \\
& e^{(z-z_1)\sqrt{\beta^2+\gamma^2}} \operatorname{erfc}(\frac{z_1-z}{2\sqrt{D(t-\Delta t)}} + \sqrt{D(\beta^2+\gamma^2)(t-\Delta t)})] - [e^{-(z-z_1)\sqrt{\beta^2+\gamma^2}} \operatorname{erfc}(\frac{z_1-z}{2\sqrt{D(t-\Delta t-\Delta t_1)}} - \\
& - \sqrt{D(\beta^2+\gamma^2)(t-\Delta t-\Delta t_1)}) - e^{(z-z_1)\sqrt{\beta^2+\gamma^2}} \operatorname{erfc}(\frac{z_1-z}{2\sqrt{D(t-\Delta t-\Delta t_1)}} + \sqrt{D(\beta^2+\gamma^2)(t-\Delta t-\Delta t_1)})] + \\
& + [e^{-(z-z_1)\sqrt{\beta^2+\gamma^2}} \operatorname{erfc}(\frac{z_1-z}{2\sqrt{D(t-\Delta t)}} - \sqrt{D(\beta^2+\gamma^2)(t-\Delta t)}) - e^{(z-z_1)\sqrt{\beta^2+\gamma^2}} \operatorname{erfc}(\frac{z_1-z}{2\sqrt{D(t-\Delta t)}} + \\
& \sqrt{D(\beta^2+\gamma^2)(t-\Delta t)})] - [e^{-(z-z_1)\sqrt{\beta^2+\gamma^2}} \operatorname{erfc}(\frac{z_1-z}{2\sqrt{D(t-\Delta t-\Delta t_1)}} - \sqrt{D(\beta^2+\gamma^2)(t-\Delta t-\Delta t_1)}) - \\
& - e^{(z-z_1)\sqrt{\beta^2+\gamma^2}} \operatorname{erfc}(\frac{z_1-z}{2\sqrt{D(t-\Delta t-\Delta t_1)}} + \sqrt{D(\beta^2+\gamma^2)(t-\Delta t-\Delta t_1)})] \} d\gamma d\beta \quad (2.59)
\end{aligned}$$

б) $z \geq z_1$

$$\begin{aligned}
C(x, y, z, t) &= \frac{Q_0}{8\pi D\rho} \int_0^\infty \cos \beta x \int_0^\infty \cos \gamma y \frac{1}{\sqrt{\beta^2+\gamma^2}} \{ [e^{-(z-z_1)\sqrt{\beta^2+\gamma^2}} \operatorname{erfc}(\frac{z_1-z}{2\sqrt{D(t-\Delta t)}} - \sqrt{D(\beta^2+\gamma^2)(t-\Delta t)}) - \\
& e^{(z-z_1)\sqrt{\beta^2+\gamma^2}} \operatorname{erfc}(\frac{z_1-z}{2\sqrt{D(t-\Delta t)}} + \sqrt{D(\beta^2+\gamma^2)(t-\Delta t)})] - [e^{-(z-z_1)\sqrt{\beta^2+\gamma^2}} \operatorname{erfc}(\frac{z_1-z}{2\sqrt{D(t-\Delta t-\Delta t_1)}} - \\
& - \sqrt{D(\beta^2+\gamma^2)(t-\Delta t-\Delta t_1)}) - e^{(z-z_1)\sqrt{\beta^2+\gamma^2}} \operatorname{erfc}(\frac{z_1-z}{2\sqrt{D(t-\Delta t-\Delta t_1)}} + \sqrt{D(\beta^2+\gamma^2)(t-\Delta t-\Delta t_1)})] +
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & + [e^{-(z-z_1)\sqrt{\beta^2+\gamma^2}} erfc(\frac{z_1-z}{2\sqrt{D(t-\Delta t)}} - \sqrt{D(\beta^2+\gamma^2)(t-\Delta t)}) - e^{(z-z_1)\sqrt{\beta^2+\gamma^2}} erfc(\frac{z_1-z}{2\sqrt{D(t-\Delta t)}} + \\
 & \sqrt{D(\beta^2+\gamma^2)(t-\Delta t)})] - [e^{-(z-z_1)\sqrt{\beta^2+\gamma^2}} erfc(\frac{z_1-z}{2\sqrt{D(t-\Delta t-\Delta t_1)}} - \sqrt{D(\beta^2+\gamma^2)(t-\Delta t-\Delta t_1)}) - \\
 & - e^{(z-z_1)\sqrt{\beta^2+\gamma^2}} erfc(\frac{z_1-z}{2\sqrt{D(t-\Delta t-\Delta t_1)}} + \sqrt{D(\beta^2+\gamma^2)(t-\Delta t-\Delta t_1)})] \} dy d\beta \quad (2.60)
 \end{aligned}$$

Формули (2.59) і (2.60) визначають концентрацію дефундуючої речовини (парів бензину), викликану одним джерелом маси, що розміщене в точці з координатами $x=0, y=0, z=z_1$, яке діє в інтервалі часу $\Delta t \leq t \leq (\Delta t + \Delta t_1)$ (дія джерела відбувається протягом проміжку часу Δt_1). У випадку, якщо джерело маси знаходиться в точці з координатами $x = a/2, y = b/2, z = z_1$, у формулах (2.59) і (2.60) замість $\cos \gamma y$ необхідно взяти $\cos \gamma(y - 0.5b)$, а замість $\cos \beta x - \cos \beta(x - 0.5a)$.

Як і в теорії теплопровідності для декількох джерел можна використати принцип елементарної суперпозиції [68], тобто принцип незалежності дії джерел маси у даному випадку. Якщо джерела розміщені так, як вказано на рис. 2.4, то концентрація дифузійної речовини, викликана цими джерелами, буде:

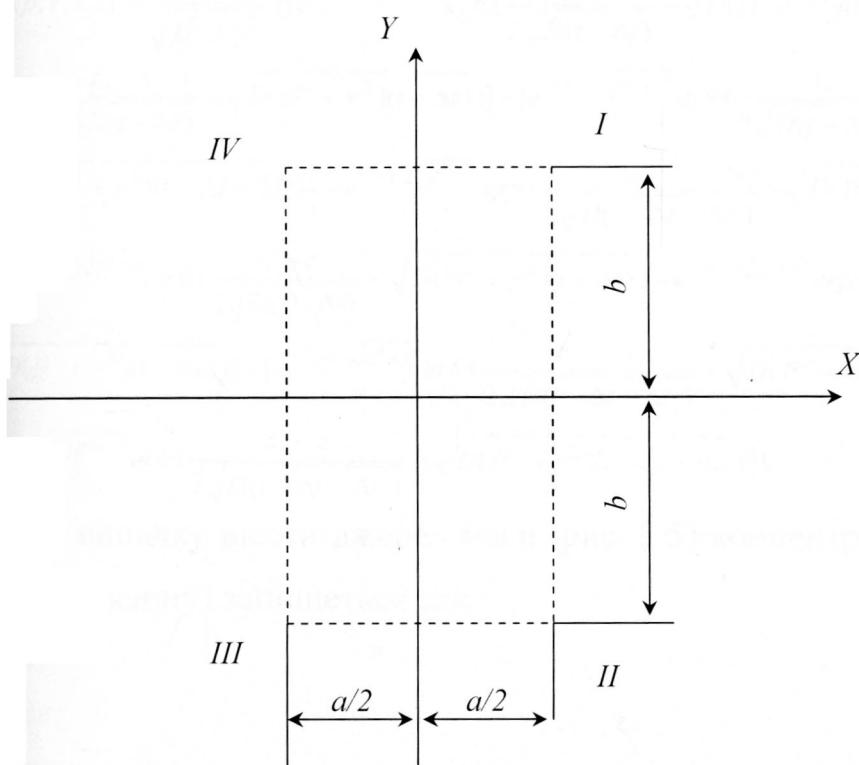


Рис. 2.4 Схема розміщення джерел маси у випадку 4- ох резервуарів ($z = z_1$)

a) $z \leq z_1$

$$C(x, y, z, t) = \frac{Q_0}{4\pi^2 D\rho} \int_0^\infty [\cos \beta(x - a/2) + \cos \beta(x + a/2)] \int_0^\infty [\cos \gamma(y - b/2) + \cos \gamma(y + b/2)] * f_1(\beta, \gamma, z, t) d\gamma d\beta$$

6) $z \geq z_1$

$$C(x, y, z, t) = \frac{Q_0}{4\pi^2 D\rho} \int_0^\infty [\cos \beta(x - a/2) + \cos \beta(x + a/2)] \int_0^\infty [\cos \gamma(y - b/2) + \cos \gamma(y + b/2)] * f_2(\beta, \gamma, z, t) d\gamma d\beta \quad (2.61)$$

де

$$\begin{aligned} f_1(\beta, \gamma, z, t) = & \frac{1}{\sqrt{\beta^2 + \gamma^2}} \{ [e^{-(z-z_1)\sqrt{\beta^2 + \gamma^2}} \operatorname{erfc}(\frac{z_1 - z}{2\sqrt{D(t - \Delta t)}} - \sqrt{D(\beta^2 + \gamma^2)(t - \Delta t)}) - e^{(z-z_1)\sqrt{\beta^2 + \gamma^2}} * \\ & * \operatorname{erfc}(\frac{z_1 - z}{2\sqrt{D(t - \Delta t)}} + \sqrt{D(\beta^2 + \gamma^2)(t - \Delta t)})] - [e^{-(z-z_1)\sqrt{\beta^2 + \gamma^2}} \operatorname{erfc}(\frac{z_1 - z}{2\sqrt{D(t - \Delta t - \Delta t_1)}} - \\ & - \sqrt{D(\beta^2 + \gamma^2)(t - \Delta t - \Delta t_1)}) - e^{(z-z_1)\sqrt{\beta^2 + \gamma^2}} \operatorname{erfc}(\frac{z_1 - z}{2\sqrt{D(t - \Delta t - \Delta t_1)}} + \\ & + [e^{-(z-z_1)\sqrt{\beta^2 + \gamma^2}} \operatorname{erfc}(\frac{z_1 - z}{2\sqrt{D(t - \Delta t)}} - \sqrt{D(\beta^2 + \gamma^2)(t - \Delta t)}) - e^{(z-z_1)\sqrt{\beta^2 + \gamma^2}} \operatorname{erfc}(\frac{z_1 - z}{2\sqrt{D(t - \Delta t)}} + \\ & \sqrt{D(\beta^2 + \gamma^2)(t - \Delta t)})] - [e^{-(z-z_1)\sqrt{\beta^2 + \gamma^2}} \operatorname{erfc}(\frac{z_1 - z}{2\sqrt{D(t - \Delta t - \Delta t_1)}} - \sqrt{D(\beta^2 + \gamma^2)(t - \Delta t - \Delta t_1)}) - \\ & - e^{(z-z_1)\sqrt{\beta^2 + \gamma^2}} \operatorname{erfc}(\frac{z_1 - z}{2\sqrt{D(t - \Delta t - \Delta t_1)}} + \sqrt{D(\beta^2 + \gamma^2)(t - \Delta t - \Delta t_1)})] \} \quad (2.62) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_2(\beta, \gamma, z, t) = & \frac{1}{\sqrt{\beta^2 + \gamma^2}} \{ [e^{-(z-z_1)\sqrt{\beta^2 + \gamma^2}} \operatorname{erfc}(\frac{z_1 - z}{2\sqrt{D(t - \Delta t)}} - \sqrt{D(\beta^2 + \gamma^2)(t - \Delta t)}) - e^{(z-z_1)\sqrt{\beta^2 + \gamma^2}} * \\ & * \operatorname{erfc}(\frac{z_1 - z}{2\sqrt{D(t - \Delta t)}} + \sqrt{D(\beta^2 + \gamma^2)(t - \Delta t)})] - [e^{-(z-z_1)\sqrt{\beta^2 + \gamma^2}} \operatorname{erfc}(\frac{z_1 - z}{2\sqrt{D(t - \Delta t - \Delta t_1)}} - \\ & - \sqrt{D(\beta^2 + \gamma^2)(t - \Delta t - \Delta t_1)}) - e^{(z-z_1)\sqrt{\beta^2 + \gamma^2}} \operatorname{erfc}(\frac{z_1 - z}{2\sqrt{D(t - \Delta t - \Delta t_1)}} + \\ & + [e^{-(z-z_1)\sqrt{\beta^2 + \gamma^2}} \operatorname{erfc}(\frac{z_1 - z}{2\sqrt{D(t - \Delta t)}} - \sqrt{D(\beta^2 + \gamma^2)(t - \Delta t)}) - e^{(z-z_1)\sqrt{\beta^2 + \gamma^2}} \operatorname{erfc}(\frac{z_1 - z}{2\sqrt{D(t - \Delta t)}} + \\ & \sqrt{D(\beta^2 + \gamma^2)(t - \Delta t)})] - [e^{-(z-z_1)\sqrt{\beta^2 + \gamma^2}} \operatorname{erfc}(\frac{z_1 - z}{2\sqrt{D(t - \Delta t - \Delta t_1)}} - \sqrt{D(\beta^2 + \gamma^2)(t - \Delta t - \Delta t_1)}) - \\ & - e^{(z-z_1)\sqrt{\beta^2 + \gamma^2}} \operatorname{erfc}(\frac{z_1 - z}{2\sqrt{D(t - \Delta t - \Delta t_1)}} + \sqrt{D(\beta^2 + \gamma^2)(t - \Delta t - \Delta t_1)})] \} \quad (2.63) \end{aligned}$$

У випадку шести джерел маси (рис. 2.5) концентрація дифузійної речовини (парів бензину) запишеться так :

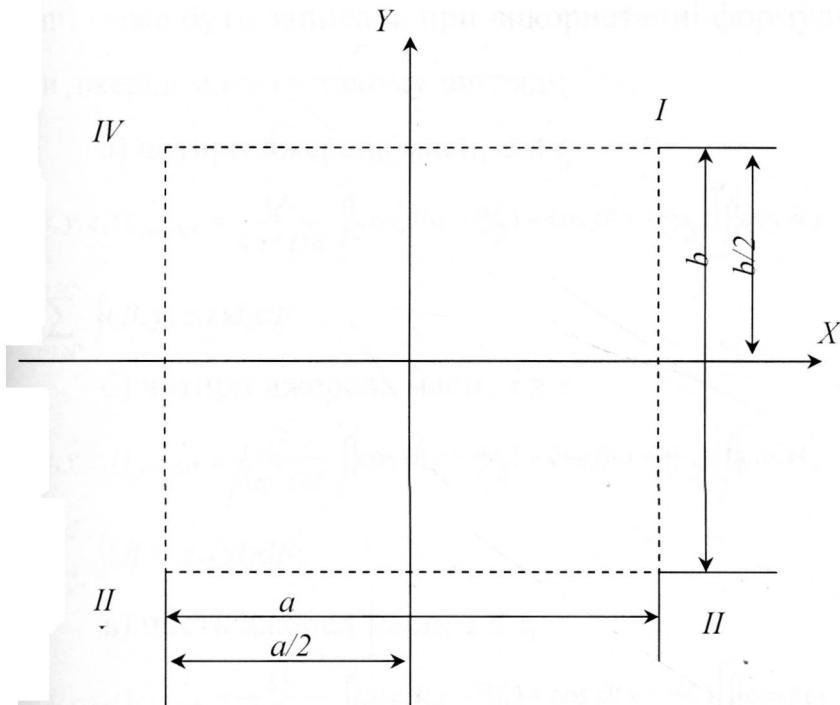


Рис 2.5 Схема розміщення джерел маси у випадку 6 –ти резервуарів ($z = z_1$)

1) $z \leq z_1$

$$C(x, y, z, t) = \frac{Q_0}{4\pi^2 D\rho} \int_0^\infty [\cos \beta(x - a/2) + \cos \beta(x + a/2)] \int_0^\infty [\cos \gamma(y - b) + \cos \gamma(y + b)] * f_1(\beta, \gamma, z, t) d\gamma d\beta$$

6) $z \geq z_1$

$$C(x, y, z, t) = \frac{Q_0}{4\pi^2 D\rho} \int_0^\infty [\cos \beta(x - a/2) + \cos \beta(x + a/2)] \int_0^\infty [\cos \gamma(y - b) + \cos \gamma(y + b)] * f_2(\beta, \gamma, z, t) d\gamma d\beta \quad (2.64)$$

Формули (2.59), (2.60), (2.61), (2.64) дають можливість визначити концентрацію парів бензину, спричинену одним джерелом маси (формули (2.59), (2.60) чотирма джерелами (формули (2.61)), шістма джерелами (формули (2.64))). Вони визначають концентрацію парів бензину від одного опрацювання запобіжних клапанів резервуарів, як зображене на рис. 2.1.

У дійсності протягом світлового дня, довжину якого приймемо рівною $t = 12$ год., клапани спрацьовують m раз і приблизно періодично з періодом Δt^* . У такому разі концентрація парів бензину $C(x, y, z, t)$ в момент часу $t = n \cdot \Delta t^*$ (n

$\leq m$) може бути записана при використанні формули (2.61), (2.64) (випадки 4-х і 6-и джерел маси) у такому вигляді:

a) чотири джерела маси, $z \leq z_1$

$$c(x, y, z, t)_{/t=n \cdot \Delta t^*} = \frac{Q_0}{4\pi^2 D \delta} \int_0^\infty [\cos \beta(x - a/2) + \cos \beta(x + a/2)] \int_0^\infty [\cos \gamma(y - b/2) + \cos \gamma(y + b/2)] * \sum_{i=1 \cdot \Delta t^*}^{n \cdot \Delta t^*} \int (\beta, \gamma, z, t) d\gamma d\beta, \quad (2.65)$$

б) чотири джерела маси, $z \geq z_1$

$$c(x, y, z, t)_{/t=n \cdot \Delta t^*} = \frac{Q_0}{4\pi^2 D \delta} \int_0^\infty [\cos \beta(x - a/2) + \cos \beta(x + a/2)] \int_0^\infty [\cos \gamma(y - b/2) + \cos \gamma(y + b/2)] * \sum_{i=1 \cdot \Delta t^*}^{n \cdot \Delta t^*} \int (\beta, \gamma, z, t) d\gamma d\beta; \quad (2.66)$$

в) шість джерел маси, $z \leq z_1$

$$c(x, y, z, t)_{/t=n \cdot \Delta t^*} = \frac{Q_0}{4\pi^2 D \delta} \int_0^\infty [\cos \beta(x - a/2) + \cos \beta(x + a/2)] \int_0^\infty [\cos \gamma(y - b) + \cos \gamma(y + b)] * \sum_{i=1 \cdot \Delta t^*}^{n \cdot \Delta t^*} \int (\beta, \gamma, z, t) d\gamma d\beta, \quad (2.67)$$

г) шість джерел маси, $z \geq z_1$

$$c(x, y, z, t)_{/t=n \cdot \Delta t^*} = \frac{Q_0}{4\pi^2 D \delta} \int_0^\infty [\cos \beta(x - a/2) + \cos \beta(x + a/2)] \int_0^\infty [\cos \gamma(y - b) + \cos \gamma(y + b)] * \sum_{i=1 \cdot \Delta t^*}^{n \cdot \Delta t^*} \int (\beta, \gamma, z, t) d\gamma d\beta, \quad (2.68)$$

Оскільки у формулах (2.34), (2.37), (2.38)- (2.41) вважаємо, що перше спрацювання запобіжних клапанів відбувається в момент часу $t = 0$, тому в аналітичних виразах для функцій $\int (\beta, \gamma, z, t)$, $\int (\beta, \gamma, z, t)$ необхідно покласти $\Delta t = 0$.

Для довільного моменту часу $t = t_1$, але кратного Δt^* , концентрацію парів

бензину $c(x, y, z, t)$ для випадків 4-х і 6-и джерел маси можна подати так:

a) чотири джерела маси, $z \leq z_1$

$$c(x, y, z, t)_{/t=n \cdot \Delta t^*} = \frac{Q_0}{4\pi^2 D \delta} \int_0^\infty [\cos \beta(x - a/2) + \cos \beta(x + a/2)] \int_0^\infty [\cos \gamma(y - b/2) + \cos \gamma(y + b/2)] * \sum_{k=1}^{\ell} \sum_{r_1}^{r_2} \int (\beta, \gamma, z, t) d\gamma d\beta,$$

б) чотири джерела маси, $z \geq z_1$

$$c(x, y, z, t)_{/t=n \cdot \Delta t^*} = \frac{Q_0}{4\pi^2 D \delta} \int_0^\infty [\cos \beta(x - a/2) + \cos \beta(x + a/2)] \int_0^\infty [\cos \gamma(y - b) + \cos \gamma(y + b)]^* \\ \int_0^\infty [\cos \gamma(y - b/2) + \cos \gamma(y + b/2)]^* \sum_{\kappa=1}^{\ell} \sum_{r_1}^{r_2} \int_0^\infty (\beta, \gamma, z, t) d\gamma d\beta,$$

в) шість джерел маси, $z \leq z_1$

$$c(x, y, z, t)_{/t=n \cdot \Delta t^*} = \frac{Q_0}{4\pi^2 D \delta} \int_0^\infty [\cos \beta(x - a/2) + \cos \beta(x + a/2)] \int_0^\infty [\cos \gamma(y - b) + \cos \gamma(y + b)]^*$$

$$\sum_{\kappa=1}^{\ell} \sum_{r_1}^{r_2} \int_0^\infty (\beta, \gamma, z, t) d\gamma d\beta,$$

г) шість джерел маси, $z \geq z_1$

$$c(x, y, z, t)_{/t=n \cdot \Delta t^*} = \frac{Q_0}{4\pi^2 D \delta} \int_0^\infty [\cos \beta(x - a/2) + \cos \beta(x + a/2)] \int_0^\infty [\cos \gamma(y - b) + \cos \gamma(y + b)]^*$$

$$\sum_{\kappa=1}^{\ell} \sum_{r_1}^{r_2} \int_0^\infty (\beta, \gamma, z, t) d\gamma d\beta,$$

де n – кількість циклів спрацювання запобіжних клапанів, що відповідає

$$t = t_1$$

моменту часу $= n \cdot \Delta t^*$, від початку викидів парів бензину в атмосферу;

$$r_1 = [(n+1) - ((2k-1)m - r)] \Delta t^*,$$

$$r_2 = [n - (2k-2)m] \Delta t^*;$$

m - кількість спрацювань запобіжного клапана резервуара за світлову пору доби (день);

k - число, яке вказує на номер доби від початку викидів парів бензину;

ℓ - максимальне значення для величини k (номер останньої доби, для одного із моментів якої визначається $c(x, y, z, t)$;

r - величина, яка може приймати значення 0, 1, 2, 3, 4 у випадку, якщо $m = 5$.

Якщо m більше 5, наприклад, $m = 6$, то r може приймати значення 0, 1, 2, 3, 4, 5. Ця величина відмінна від нуля тільки для світлової пори останньої доби від початку викидів парів бензину в атмосферу. Для всіх попередніх діб і нічної пори доби $r = 0$. Величина $r = 1$, якщо до закінчення світлової пори останньої доби не вистачає $\cdot \Delta t^*$ часу, $r = 2$, якщо до закінчення світлової пори останньої доби не вистачає $2 \cdot \Delta t^*$ часу і т. д.

Приклад. Нехай $t = t_1 = 57,6$ год, $\Delta t^* = 2,4$ год. У такому разі $n = \frac{t_1}{\Delta t^*} = \frac{57,6}{2,4} = 24$

Оскільки час одного циклу спрацювання запобіжних клапанів $\Delta t^* = 2,4$ год,

то $m = \frac{t_g}{\Delta t^*} = \frac{12}{2,4} = 5$ (тут t_g - час світлової пори доби, прийнято $t_g = 12$ год).

Момент часу $t_1 = 57,6$ год припадає на третю добу, тому $\ell = 3$. Крім того, момент

часу $t_1 = 57,6$ год. Відповідає світловій порі третьої доби і до її закінчення не

вистачає часу Δt^* , тому $r = 1$. Враховуючи значення величини n, m, r .

Наприклад, за першою формулою (2.65) будемо мати.

$$c(x, y, z, t)_{t=57,6} = \frac{Q_0}{4\pi^2 D \delta} \int_0^\infty [\cos \beta(x - a/2) + \cos \beta(x + a/2)] \int_0^\infty [\cos \gamma(y - b/2) + \cos \gamma(y + b/2)]$$

$$*(\sum_{l=1 \cdot \Delta t^*}^{n \cdot \Delta t^*} f_l(x, \gamma, z, t) + \sum_{l=1 \cdot \Delta t^*}^{n \cdot \Delta t^*} f_l(x, \gamma, z, t) + \sum_{r_1}^{r_2} f_r(x, \gamma, z, t)).$$

На основі розробленої математичної моделі будується криві забруднення, за допомогою яких визначають концентрацію забруднень в атмосфері від вуглеводневих сполук.

Дану модель можна використовувати і для інших видів забруднень довкілля. Модель створено з метою визначення швидкості забруднень, а також накопичення інформації про забруднення за будь-який проміжок часу.

2.3. Висновки до розділу 2.

1. Проведено аналіз існуючих математичних моделей викидів забруднюючих шкідливих речовин у атмосферу, за результатами якого сформульовано основні підходи для вирішення цієї проблеми.
2. Розроблено просторову математичну модель процесу випаровування нафтопродуктів і викидів парів бензину. За допомогою моделі розраховують концентрацію викидів від «малих» і «великих» дихань резервуарів.
3. Досліджено і виведено формулі для визначення концентрації дифузійних речовин від багатьох джерел для різних висот і схем їх розміщення.
4. Накопичувати дані при довготривалих викидах і будувати картограми забруднень.

5. Прогнозувати викиди речовин у регіонах, де розміщуються резервуари для зберігання нафти і нафтопродуктів, будувати криві залежності концентрації викидів у атмосферу в часі, по довжині й висоті.

РОЗДІЛ 3.

РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ І РЕАЛІЗАЦІЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ДИФУЗІЇ ВИКИДІВ ШКІДЛИВИХ РЕЧОВИН У АТМОСФЕРУ

У даному розділі при розробці алгоритму і розв'язанні цієї задачі використано математичну модель (формули (2.59-2.61) і (2.64-2.68)). Реалізацію програм проведено на алгоритмічній мові FORTRAN-4.

Із приведеного прикладу (розділ 2) стає зрозуміло, що для будь-якого моменту часу кратного Δt^* можна знайти $c(x, y, z, t)$, якщо буде відомий масив значень $c(x, y, z, t)$, викликаний першим викидом парів бензину в атмосферу. При цьому необхідно сумувати певні його члени, як це видно з останньої формули. Цей факт спрощує обчислення функції $c(x, y, z, t)$ для будь-якого моменту часу.

Окрім того розглянуто задачу викидів у атмосферу шкідливих речовин при спалюванні природного газу для переробки нафти в нафтопродукти та побудову моделі регресійного аналізу [42,45].

3.1. Розробка алгоритму математичної моделі викидів із резервуарів нафтопродуктів.

Аналізуючи формули (2.59-2.61) і (2.64-2.68) розділу 2 (параграф 2.2) можна зробити наступний висновок: для обчислення функції $c(x, y, z, t)$ розроблені дві комп'ютерні програми DUF6 і DUF (Додатки А, Б). Перша комп'ютерна програма DUF6 дає можливість обчислити концентрацію парів бензину, викликану викидами в атмосферу з чотирьох резервуарів протягом світлової пори першої доби від початку викидів для моментів часу, кратних Δt^* . За допомогою другої комп'ютерної програми

DUF7 можна обчислити $c(x, y, z, t)$ від викидів парів у атмосферу протягом першого тижня від початку викидів для всіх моментів часу кратних Δt^* .

Як програма DUF6, так і програма DUF7 пов'язані з обчисленням невласних подвійних інтегралів (інтегрування по γ і β). При інтегруванні по γ під знаком інтеграла маємо монотонні спадні функції $f_1(x, y, z, t), f_2(x, y, z, t)$ і функції косинусів $\cos \gamma(y - b/2) \cos \gamma(y + b/2)$. Останні дві функції викликають осциляцію всієї підінтегральної функції. Для обчислення інтеграла по γ використано алгоритм для сильно осцилюючих функцій. Суть цього алгоритму полягає в тому, що інтервал інтегрування розбиваємо на рівні частини з кроком h й інтеграл у межах одного кроku знаходимо, користуючись такою формулою.

$$\int_{x_j}^{x_j+h} f(x) \cos(wx) \cdot dx = \frac{h}{2} \cos\left(w \cdot \left(x_j + \frac{h}{2}\right)\right) \frac{\sin(w \frac{h}{2})}{w \frac{h}{2}} [f(x_1) + f(x_2)] \quad (3.1)$$

$f(x)$ - множинна функція, $x_1 = x_j, x_2 = x_j + h$, і після цього значення інтегралів на кожному кроці інтегрування сумуємо. В результаті інтегрування по γ утворюється осцилююча функція. Тому при інтегруванні по β осциляція підінтегральної функції викликається як результатом інтегрування по γ , так і функціями косинусів $\cos \beta(x - a/2) \cos \beta(x + a/2)$. Для обчислення інтеграла по β використано метод Сімпсона.

Нижченаведений алгоритм основної програми DUF6. За допомогою цієї програми обчислюють концентрацію викидів у атмосферу з резервуарів на протязі світлового дня. Для обчислень концентрації викидів для любого періоду (тиждень, два, місяць і т.д.) створено програму DUF7. Програми DUF6 і DUF7 складаються, крім основних програм, з двох підпрограм FPZY і FPX1. Підпрограма FPZY обчислює функції $f_1(\beta, \gamma, z, t), f_2(\beta, \gamma, z, t)$ (формули (3.35), (3.36)). Якщо $z_1 \geq z$, то обчислюється функція $f_1(\beta, \gamma, z, t)$, а якщо $z \geq z_1$, то обчислюється функція $f_2(\beta, \gamma, z, t)$.

Функції $f_1(\beta, \gamma, z, t), f_2(\beta, \gamma, z, t)$ при $\beta = \gamma = 0$ являють собою невизначеності вигляду $\frac{0}{0}$. Розкриваючи ці невизначеності, користуючись правилом Лопіталя, отримаємо:

$$\text{a)} z_1 \geq z$$

$$\begin{aligned} f_1(\beta, \gamma, z, t)_{\beta=0, \gamma=0} &= -2(z_1 - z) \operatorname{erfe} \frac{z_1 - z}{2\sqrt{D(t - \Delta t)}} + \frac{4}{\sqrt{\pi}} \sqrt{D(t - \Delta t)} e - \frac{(z_1 - z)^2}{4D(t - \Delta t)} + 2(z_1 - z)* \\ &* \operatorname{erfe} \frac{z_1 - z}{2\sqrt{D(t - \Delta t - \Delta t_1)}} - \frac{4}{\sqrt{\pi}} \sqrt{D(t - \Delta t - \Delta t_1)} e - \frac{(z_1 - z)^2}{4D(t - \Delta t - \Delta t_1)} - 2(z + z_1) \operatorname{erfe} \frac{z + z_1}{2\sqrt{D(t - \Delta t_1)}} + \\ &+ \frac{4}{\sqrt{\pi}} \sqrt{D(t - \Delta t)} e - \frac{(z + z_1)^2}{4D(t - \Delta t)} + 2(z + z_1) \operatorname{erfe} \frac{z + z_1}{2\sqrt{D(t - \Delta t - \Delta t_1)}} - \frac{4}{\sqrt{\pi}} \sqrt{D(t - \Delta t - \Delta t_1)}* \\ &* e - \frac{(z + z_1)}{4D(t - \Delta t - \Delta t_1)}; \end{aligned} \quad (3.2)$$

$$\text{б)} z \geq z_1$$

$$\begin{aligned} f_2(\beta, \gamma, z, t)_{\beta=0, \gamma=0} &= -2(z - z_1) \operatorname{erfe} \frac{z - z_1}{2\sqrt{D(t - \Delta t)}} + \frac{4}{\sqrt{\pi}} \sqrt{D(t - \Delta t)} e - \frac{(z - z_1)^2}{4D(t - \Delta t)} + 2(z - z_1)* \\ &* \operatorname{erfe} \frac{z - z_1}{2\sqrt{D(t - \Delta t - \Delta t_1)}} - \frac{4}{\sqrt{\pi}} \sqrt{D(t - \Delta t - \Delta t_1)} e - \frac{(z - z_1)^2}{4D(t - \Delta t - \Delta t_1)} - 2(z + z_1) \operatorname{erfe} \frac{z + z_1}{2\sqrt{D(t - \Delta t_1)}} + \\ &+ \frac{4}{\sqrt{\pi}} \sqrt{D(t - \Delta t)} e - \frac{(z + z_1)^2}{4D(t - \Delta t)} + 2(z + z_1) \operatorname{erfe} \frac{z + z_1}{2\sqrt{D(t - \Delta t - \Delta t_1)}} - \frac{4}{\sqrt{\pi}} \sqrt{D(t - \Delta t - \Delta t_1)}* \\ &* e - \frac{(z + z_1)}{4D(t - \Delta t - \Delta t_1)}; \end{aligned} \quad (3.3)$$

Формули (3.2), (3.3) ураховані при складанні підпрограми FPZY. Для обчислення функції $\operatorname{erfe}(x)$ ($32 > x > 0$) використовувалася її апроксимація раціональними функціями у такому вигляді [32,43,58,59,70,71]

$$\operatorname{erfe}(x) \approx (a_1 t + a_2 t^2 + a_3 t^3 + a_4 t^4 + a_5 t^5) e^{-x^2}, t = \frac{1}{1 + PX}, \quad (3.4)$$

де $P = 0,3275911$, $a_1 = 0,254829592$, $a_2 = -0,284496736$, $a_3 = 1,421413741$, $a_4 = -1,453152027$, $a_5 = 1,061405429$.

При цьому похибка обчислення не перевищує $1,5 \cdot 10^{-7}$. У випадку, якщо $x < 0$, але $|x| < 3,2$, використовувалася формула

$$\operatorname{erfe}(x) \approx 2 - (a_1 t + a_2 t^2 + a_3 t^3 + a_4 t^4 + a_5 t^5) e^{-x^2}, t = \frac{1}{1 - PX}. \quad (3.5)$$

Якщо $x \geq 3,2$, то для обчислення функції $erfe(x)$ використовувалася асимптотична формула:

$$erfe(x) \approx \frac{e^{-x^2}}{x\sqrt{\pi}} \left(1 - \frac{1}{2x^2} + \frac{1 \cdot 3}{(2x^2)^2} - \frac{1 \cdot 3 \cdot 5}{(2x^2)^3} \right). \quad (3.6)$$

Як показала перевірка останньої формули, її точність у такому випадку значно вища, ніж попередньої формули.

Якщо ж $x < 0$, але $|x| \geq 3,2$, то при цьому, виходячи з формули (6), користувалися такою формулою:

$$erfe(x) = 2 - \frac{e^{-x^2}}{|x|\sqrt{\pi}} \left(1 - \frac{1}{2x^2} + \frac{3}{(2x^2)^2} - \frac{15}{(2x^2)^3} \right). \quad (3.7)$$

Всі ці нюанси знайшли своє застосування у підпрограмі FPZY. Блок-схема цієї підпрограми подається у додатку Е.

Результати розрахунків приведені у додатку В.

3.2. Алгоритм розрахунку викидів забруднень у атмосферу

Математична модель, яка описує викиди забруднень у атмосферу, створена у попередньому розділі, є досить складною і рішити її звичайними методами складно. Тому необхідно розробити спеціальний алгоритм для її розв'язку, який повинен враховувати всі можливі варіанти розташування резервуарів і для різної їх кількості, оскільки кожне нафтопереробне підприємство (в залежності від об'єму переробки нафти) має різну їх кількість. Крім того, під час модернізації підприємства може виникнути необхідність у збільшенні резервуарного парку, тому цю ситуацію необхідно врахувати при розробці алгоритму. Розробка алгоритму, рішення математичної моделі або алгоритмізація задачі являє собою перший етап програмування. У процесі його виконання встановлюється необхідна послідовність арифметичних і логічних дій, за допомогою яких реалізується вибраний числовий метод. При його розробці необхідно дотримуватися трьох обов'язкових вимог: алгоритм повинен бути детермінованим (або

визначеним), результативним і масовим. Якщо для даної математичної моделі при рішенні задачі неможливо скласти такий алгоритм, котрий володіє даними властивостями, то задача є алгоритмічно не розв'язуваною і не може бути вирішена на персональному комп'ютері. Враховуючи вищесказане, необхідно створити алгоритм, який буде вміщувати наступні кроки. Така послідовність є загальною структурою алгоритму.

1. Введемо дані про резервуари: висоту резервуару (відповідно висоту розміщення клапану) z , інтенсивність викиду Q , час між викидами Δt , час викиду Δt_1 , поточну координату z_1 та інші допоміжні параметри для реалізації моделі.
2. Формуємо масиви чисел для підрахунку інтенсивності викидів.
3. Обчислюємо, в залежності від параметрів α, β інтенсивність викидів $q_{10} = f_1(\beta, \gamma, z, t)$ (формула (3.2)), або $q_{10} = f_2(\beta, \gamma, z, t)$ (формула (3.3)).
4. Організовуємо цикл по I .
5. Організовуємо цикл по J .
6. Створюємо цикл по K .
7. Створюємо цикл по L .
8. Визначаємо допоміжні параметри $A1, B1, E2, K2$. На основі даних параметрів визначаємо суму накопичень викидів для даної площинки.
9. Створюємо цикл по M .
10. Визначаємо допоміжні коефіцієнти $Aj, Bj, E1, K1$.
11. Створюємо цикл по N .
12. Згідно математичної моделі визначаємо параметри $R0, R1, R2, R3, R4, R5$
13. Проводимо сумування $SUM1, SUM2$.
14. Закриваємо цикл по N .
15. Визначаємо параметри $R6, R7, D1$
16. На основі даних параметрів знаходимо $SUM3, SUM4$
17. Визначаємо нові значення параметрів $Aj, Bj, E1$.
18. На основі визначених параметрів знаходимо $SUM5, SUM6$

19. Закриваємо цикл по M .
20. Визначаємо параметри $D2, R$
21. На основі даних параметрів накопичуємо $SUM7$
22. Створюємо цикл по KA .
23. Визначаємо SUM - сумарні накопичення на визначеному рівні (координата z).
24. Закриваємо цикл по KA .
25. Заносимо інформацію про викиди на даному рівні в масив.
26. Закриваємо цикл по L .
27. Змінюємо координату z , тобто висоту розповсюдження викидів.
28. Закриваємо цикл по K .
29. Змінюємо координату Y - розповсюдження викидів у горизонтальній площині на деякий крок (задається довільно).
30. Закриваємо цикл по J .
31. Змінюємо координату X - розповсюдження викидів у горизонтальній площині (задача в прямокутній системі координат X, Y).
32. Закриваємо цикл по I .
33. Записуємо всю інформацію про викиди в просторовій моделі в файл, який зберігається на зовнішньому пристрої.

Даний алгоритм створений для накопичення викидів у атмосферу для всіх джерел окремо, потім всі джерела додаються і отримуємо загальну картину розповсюдження забруднень на території підприємств і їх оточуючу територію. Територію підприємств можна задавати будь-якої конфігурації за допомогою координат X, Y . За створеним структурним алгоритмом розроблено блок-схему, зображену в Додатку Е, котра реалізовує даний алгоритм.

3.3. Результати досліджень розповсюдження викидів з резервуарів у атмосфері

Метою проведених розрахунків із реалізації створеної математичної моделі та аналізу отриманих результатів є встановлення закономірностей формування хмари забруднень у повітряному середовищі, викликаних викидами вертикальних сталіних резервуарів, які є паровою фазою випаровування нафти і нафтопродуктів.

Слід зауважити, що класичною задачею дифузійного зростання хмари в атмосфері є задача, наведена в [2,3,14,29,31,47,57,66,67]. Однак, при її постановці та реалізації не враховувалась множина джерел, які є причиною формування хмари. Тому модель у такій постановці не здатна відтворити характеру забруднення атмосфери джерелами, котрі мають характерне розміщення в просторі й діють періодично в часі. Створена нова просторова нестационарна математична модель зміни концентрації забруднень у атмосфері від точкових джерел, розміщених у просторі з заданими коефіцієнтами і діючих у розрахункові моменти часу із заданою тривалістю, дозволить відтворити реальну картину формування хмари парів нафтопродуктів у районі резервуарного парку та встановити закономірності дифузійного забруднення атмосфери.

Реалізація математичної моделі здійснювалась для умов, максимально наблизених до зберігання бензину А-92 у резервуарному парку Надвірнянського нафтопереробного заводу (НПЗ), в якому встановлено у відповідності до норм проектування і правил технічної експлуатації нафтобаз 4 резервуари РВС-5000, обладнаних дихальними клапанами НДКМ-200.

Технічна характеристика НДКМ-200

Діаметр умовного проходу, мм	200
Гиск спрацювання клапану p_H , Па	1470-1568
Вакуум спрацювання Δp_B , Па	176,4-196
Пропускна здатність R , м ³ /год.	900

Традиційний план розміщення джерел викидів резервуарів наведений на рис.1.3 (Розділ 1).

Розрахунки проводились для літнього періоду експлуатації резервуарного парку, температурний режим регіону взято за статистичними даними Гідрометцентру України. Було проведено ряд серій розрахунків по математичній моделі, в кожній з яких приймався різний рівень заповнення резервуару нафтопродуктом.

У розрахунках вважалося, що інтенсивність джерела забруднень кожного з чотирьох резервуарів однакова. Вона визначалась для кожної серії розрахункових дослідів у залежності від рівня нафтопродукту в резервуарі. Об'єм газового простору резервуара $V_{\text{ГП}}$ визначався як різниця між загальним об'ємом резервуара $V_{\text{рез}}$ і об'ємом нафтопродукту, що зберігався у ньому $V_{n/n}$, тобто

$$V_{\text{ГП}} = V_{\text{рез}} - V_{n/n} \quad (3.8)$$

Завдяки великій площі дзеркала нафтопродукту в резервуарі й значній його масі рівень при зміні температури можна вважати практично сталою, що відповідає сталості об'єму газового простору під час "малих" дихань. Тому процес нагрівання горлового простору резервуару вважається ізохорним .

При мінімальній температурі повітря, характерній для нічного періоду доби, тиск у газовому просторі резервуару мінімальний і пов'язаний із температурою рівнянням закону Менделєєва-Клапейрона

$$P_{\min} V_{\text{ГП}} = M_0 \frac{R_\mu}{\mu} T_{\min}, \quad (3.9)$$

де M_0 - маса пароповітряної суміші в газовому просторі,

R_μ - універсальна газова стала,

μ - молекулярна маса газоповітряної суміші, яка може бути визначена для бензину за імперичною формулою Войнова

$$\mu = 60 + 0,3(t_{nk} - 30) + 0,0001(t_{nk} - 30)^2 \quad (3.10)$$

t_{nk} - температура початку кипіння нафтопродукту.

Використовуючи величину швидкості прогрівання газового простору [53,104], запишемо рівняння Менделєєва-Клапейрона для моменту спрацювання дихального клапана:

$$Q = \frac{V_{en} T_{np}}{273}. \quad (3.11)$$

Звідси

$$P_x V_{en} \left(1 + \frac{\Delta T_{np}}{273}\right) = M_0 \frac{R_\mu}{\mu} T_x \quad (3.12)$$

або

$$(P_{\max} - P_{\min}) V_{en} = M_0 \frac{R_\mu}{\mu} T_x \frac{T_{\max} - T_{\min}}{1 + \frac{\Delta T_{np}}{273}} \quad (3.13)$$

Величина $P_{\max} - P_{\min} = P_{ck}$ - є тиск спрацювання дихального клапану, приведений у його технічній характеристиці. Вважаючи, що $\rho = \frac{\mu_0}{V_{en}}$ є густина пароповітряної суміші, одержимо рівняння для визначення моменту часу нагрівання газового простору до моменту спрацювання дихального клапана

$$\frac{P_{ck}}{(P_{\max} - P_{\min})} = \frac{R_\mu}{\mu} \frac{1}{1 + \frac{\Delta T_{np}}{273}} \quad (3.14)$$

Звідси визначимо час нагрівання пароповітряної суміші в газовому просторі резервуару до спрацювання дихального клапана

$$\tau_1 = \frac{273(T_{\max} - T_{\min})}{\Delta T_{np}} \frac{(P_{\max} - P_{\min})}{P_{ck}} - \rho \frac{R_{\mu}}{\mu} \quad (3.15)$$

Після відкриття дихального клапану в атмосферу з резервуара викидається певна маса пароповітряної суміші, яку вважаємо інтенсивністю джерела

$$q = \frac{Q_x \rho}{\tau_2} = \frac{V_{np} \Delta T_{np} \rho}{273 \tau_2}, \text{ кг/с} \quad (3.16)$$

де τ_2 - тривалість дії джерела, яка визначається за продуктивністю дихального клапана $Q_{кл}$, взятої з його технічної характеристики

$$\tau_2 = \frac{Q_x}{Q_{кл}} \quad (3.17)$$

Таким чином, задача дифузії викидів пароповітряної суміші в атмосфері зводиться до реалізації створеної математичної моделі при розрахунковому часі між двома викидами τ_1 і тривалості викиду з кожного з чотирьох резервуарів τ_2 інтенсивністю q (розділ 2.2).

Для реалізації математичної моделі (розділ 3.2) складено програму розрахунку на алгоритмічній мові ФОРТРАН-IV, текст якої з результатами розрахунків приведено в Додатку А.

У результаті реалізації програми видаються концентрації викидів у атмосферному повітрі в межах площинки у формі квадрату розмірами 100*100 м, причому центр трьохвимірної координатної системи ($x = 0; y = 0; z = 0$) розміщено у геометричному центрі виділеної площинки, а джерела викидів (дихальні клапани резервуарів) розміщено в геометричному центрі з координатами $A_1(-20,0); A_2(20,0); A_3(0,-20); A_4(0,20)$, апліката всіх джерел викидів відповідала висоті встановленого клапана $z = 12$ м [42,45].

На рисунках 3.1-3.7 наведені графічні залежності концентрації викидів із резервуарів по площі виділеної площаці для фікованих моментів часу при різних значеннях аплікати. Відлік часу нестационарного процесу починається з моменту відкриття дихальних клапанів (у всіх резервуарах одночасно).

Загальний аналіз графіків показує, що процес формування хмар забруднень у атмосфері, викликаний викидами з резервуарів, є коливальним процесом як у просторі, так і в часі, причому варто зауважити, що зміна амплітуди процесу суттєво більша в часі, ніж по площі горизонтального повітряного шару, ѹ різко зменшується при відхиленні аплікати від рівня $z = 12$ м, якому відповідає рівень розміщення джерел викидів.

На рівні $z = 12$ м (рис 3.5), де діють чотири точкових джерела викидів, починаючи з моменту часу $t = 0$ концентрація викидів у атмосфері підвищується майже рівномірно по всій площі й на момент $t = 2.4$ год складає $2 \cdot 10^{-6}$, а в центрі площаці залишається меншою і складає $3.44 \cdot 10^{-6}$. За наступний проміжок часу $\Delta t = 2.4$ год. концентрація в точках дії джерел підвищується до величини $36.548 \cdot 10^{-6}$, а в центрі площаці за рахунок суперпозиції викидів усіх резервуарів збільшується до $38.21 \cdot 10^{-6}$. У той же час $t = 4.8$ год на кутах площаці, як на найбільш віддалених точках від центру концентрація складає $18 \cdot 10^{-6}$. У порівнянні з моментом часу $t = 2.4$ год у цих периферійних точках концентрація зросла на величину $14 \cdot 10^{-6}$. Найбільше зростання концентрації викидів у атмосфері спостерігається в центрі площаці і складає $34.766 \cdot 10^{-6}$. Відхилення максимальної концентрації до її мінімального значення складає 2.123.

У наступний момент часу $t = 7.2$ год. спостерігається тенденція до вирівнювання концентрації викидів по площі площаці. У найбільш віддалених точках від центру площаці концентрація викидів зросла до $20 \cdot 10^{-6}$, а в центрі вона складає $49.8855 \cdot 10^{-6}$. Спостерігається зниження концентрації на величину $11.6795 \cdot 10^{-6}$. У точках дії джерел викидів

концентрації складає $36.548 \cdot 10^{-6}$. Відношення максимального значення концентрації до мінімального рівне 2.4943.

За наступні 2,4 год., тобто у момент часу $t = 9.6$ год., спостерігається подальше вирівнювання концентрації по площі при загальному її зростанні. Мінімальна концентрація викидів на кутах ділення збільшилась до $40 \cdot 10^{-6}$, концентрація в точках дії джерел складає $62.4982 \cdot 10^{-6}$, максимальна в центрі ділянки - досягає $76.7277 \cdot 10^{-6}$. Відношення максимальної концентрації до мінімальної 1.9182.

У момент часу $t = 12$ год., тобто за наступні 2,4 год., продовжується вирівнювання концентрації викидів по площі виділеної території з одночасним зростанням її величини. Мінімальне значення концентрації у найбільш віддалених від центра точках складає $51 \cdot 10^{-6}$, а максимальне значення в центрі площинки $95.297 \cdot 10^{-6}$. Відношення максимальної концентрації до мінімальної складає 1.86856.

Із метою встановлення закономірностей формування хмари викидів у атмосфері при періодичній дії викидів пароповітряної суміші з резервуарів проведено аналітичні та числові дослідження процесу на різних горизонтальних рівнях по площинці встановлення резервуарів.

На рівні $z = 12$ м (рис 3.5), де діють чотири точкових джерела викидів, починаючи з моменту часу $t = 0$ концентрація викидів у атмосфері підвищується майже рівномірно по всій площі і на момент $t = 2.4$ год. складає $2 \cdot 10^{-6}$, а в центрі площинки залишається меншою і складає $3.44 \cdot 10^{-6}$. За наступний проміжок часу $\Delta t = 2.4$ год. концентрація в точках дії джерел підвищується до величини $36.548 \cdot 10^{-6}$, а в центрі площинки за рахунок уперпозиції викидів усіх резервуарів збільшується до $38.21 \cdot 10^{-6}$.

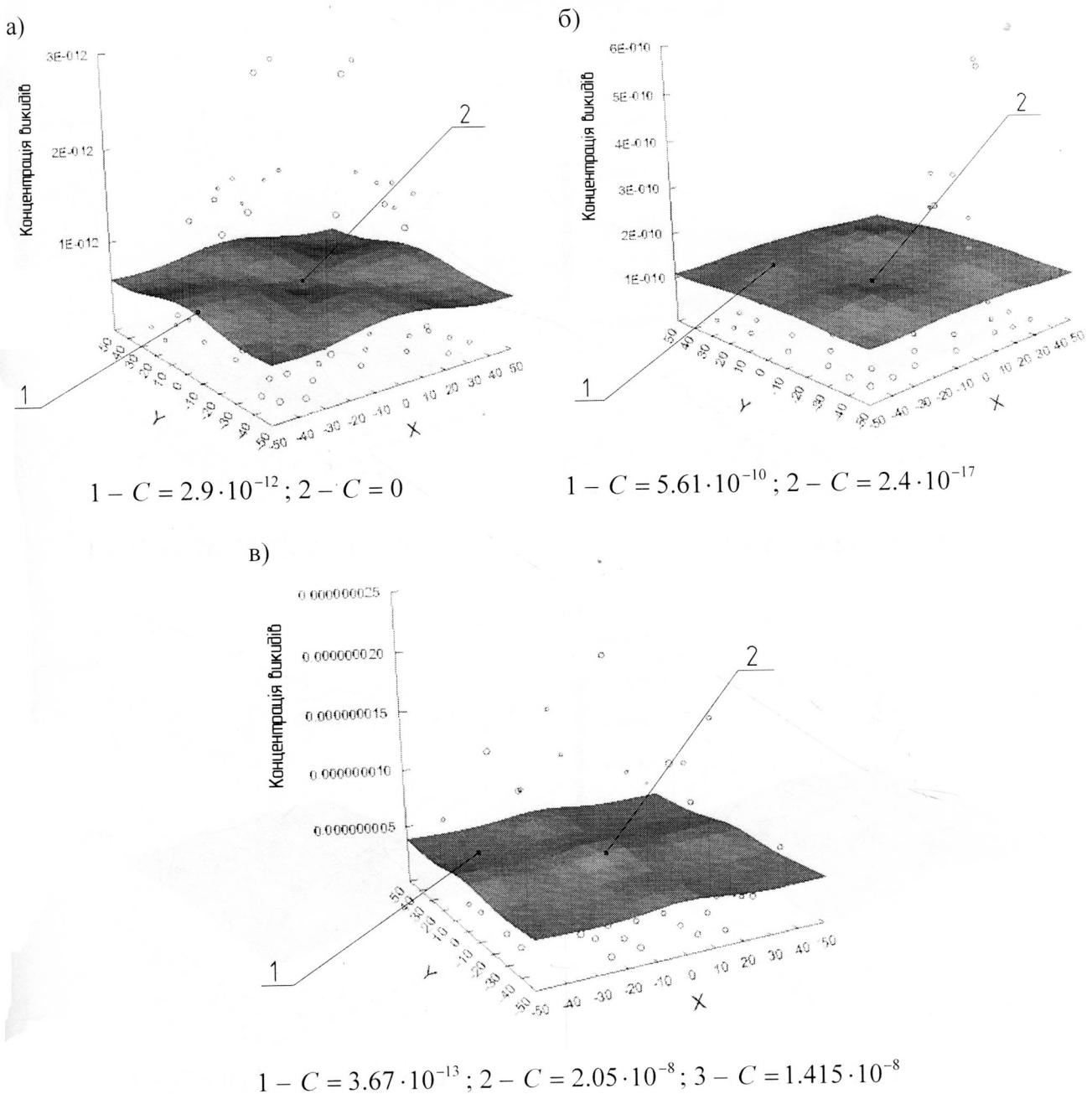


Рис.3.1 – Результати розрахунку вмісту парів бензину в атмосфері на висоті $h=8\text{м}$:
а) $t=7,2$ год.; б) $t=9,6$ год.; в) $t=12$ год.

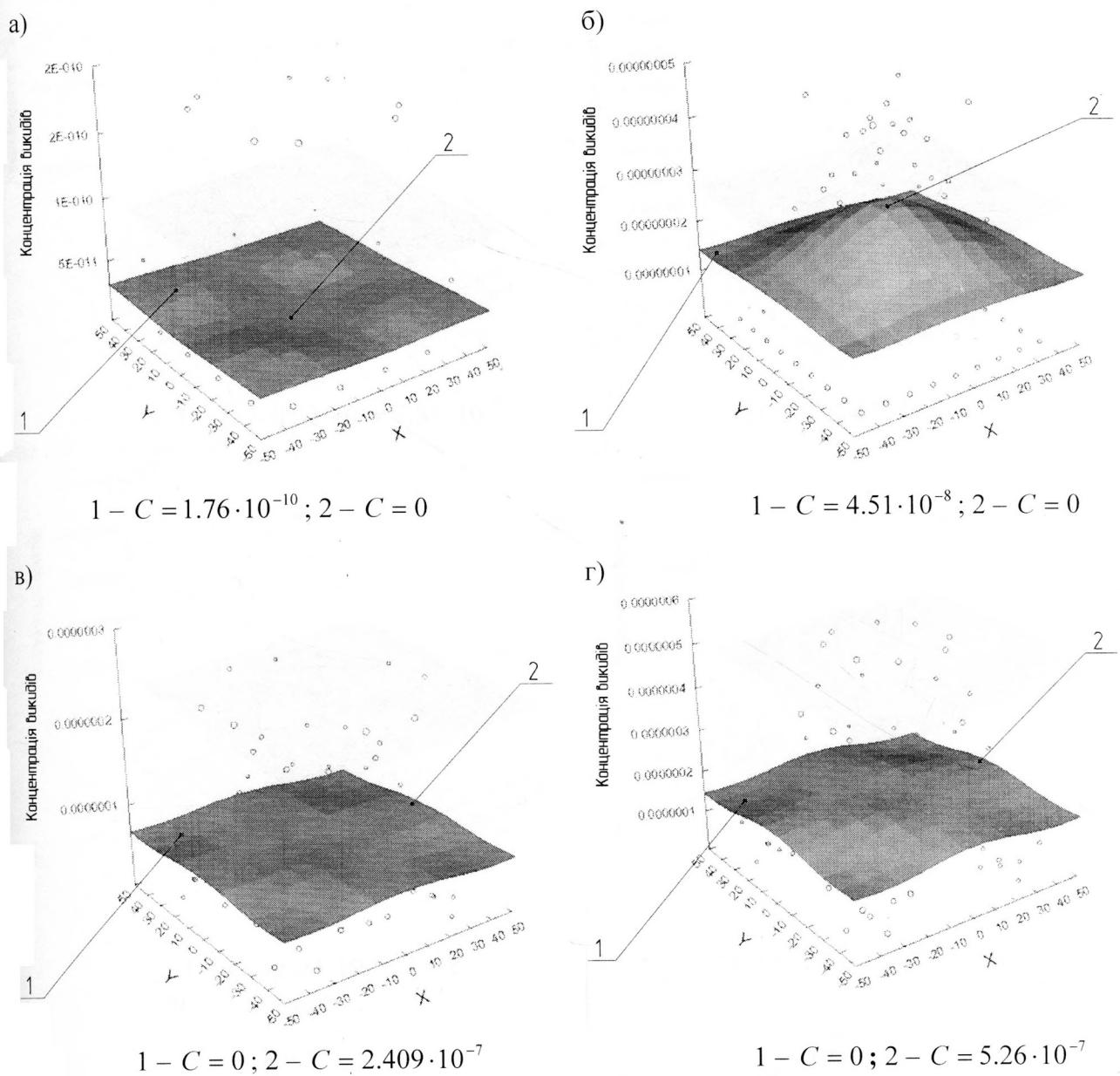


Рис.3.2 – Результати розрахунку вмісту парів бензину в атмосфері на висоті $h=9\text{м}$:
а) $t=4,8$ год.; б) $t=7,2$ год.; в) $t=9,6$ год. ; г) $t=12$ год.;

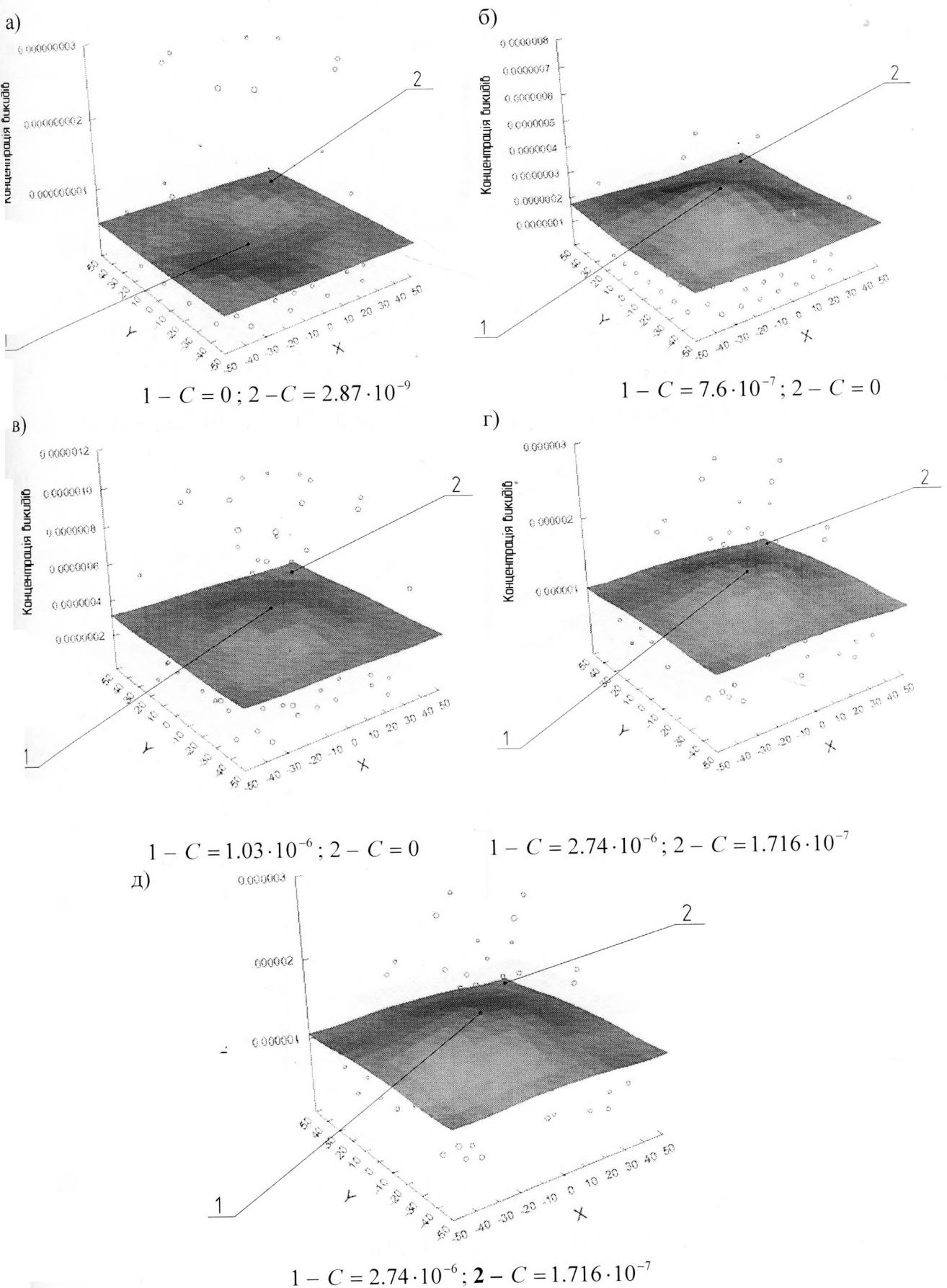


Рис.3.3 – Результати розрахунку вмісту парів бензину в атмосфері на висоті $h=10\text{м}$:
а) $t=2,4\text{ год.}$; б) $t=4,8\text{ год.}$; в) $t=7,2\text{ год.}$; г) $t=9,6\text{ год.}$; д) $t=12\text{ год.}$

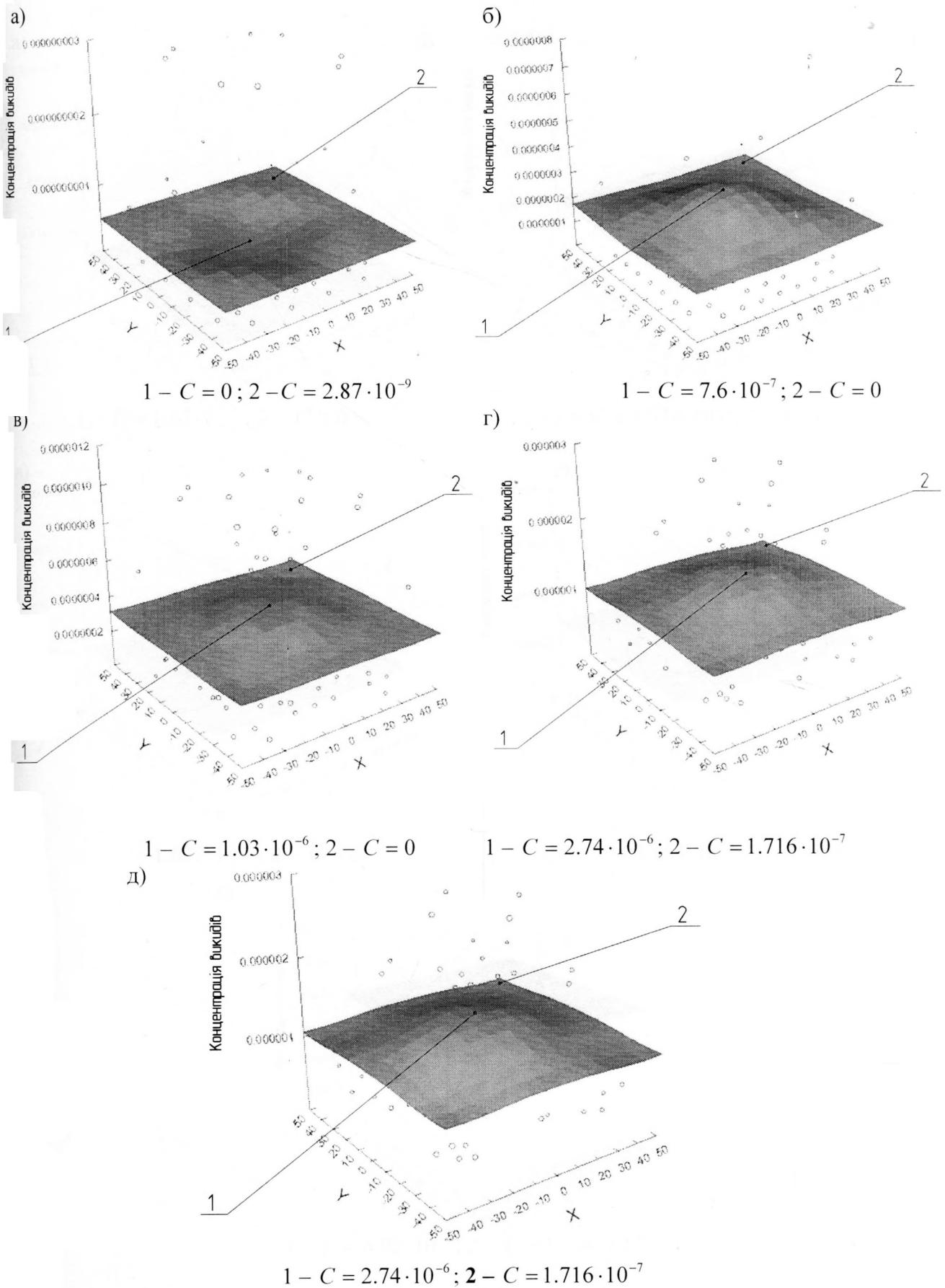


Рис.3.3 – Результати розрахунку вмісту парів бензину в атмосфері на висоті $h=10\text{м}$:
а) $t=2,4\text{ год.}$; б) $t=4,8\text{ год.}$; в) $t=7,2\text{ год.}$; г) $t=9,6\text{ год.}$; д) $t=12\text{ год.}$

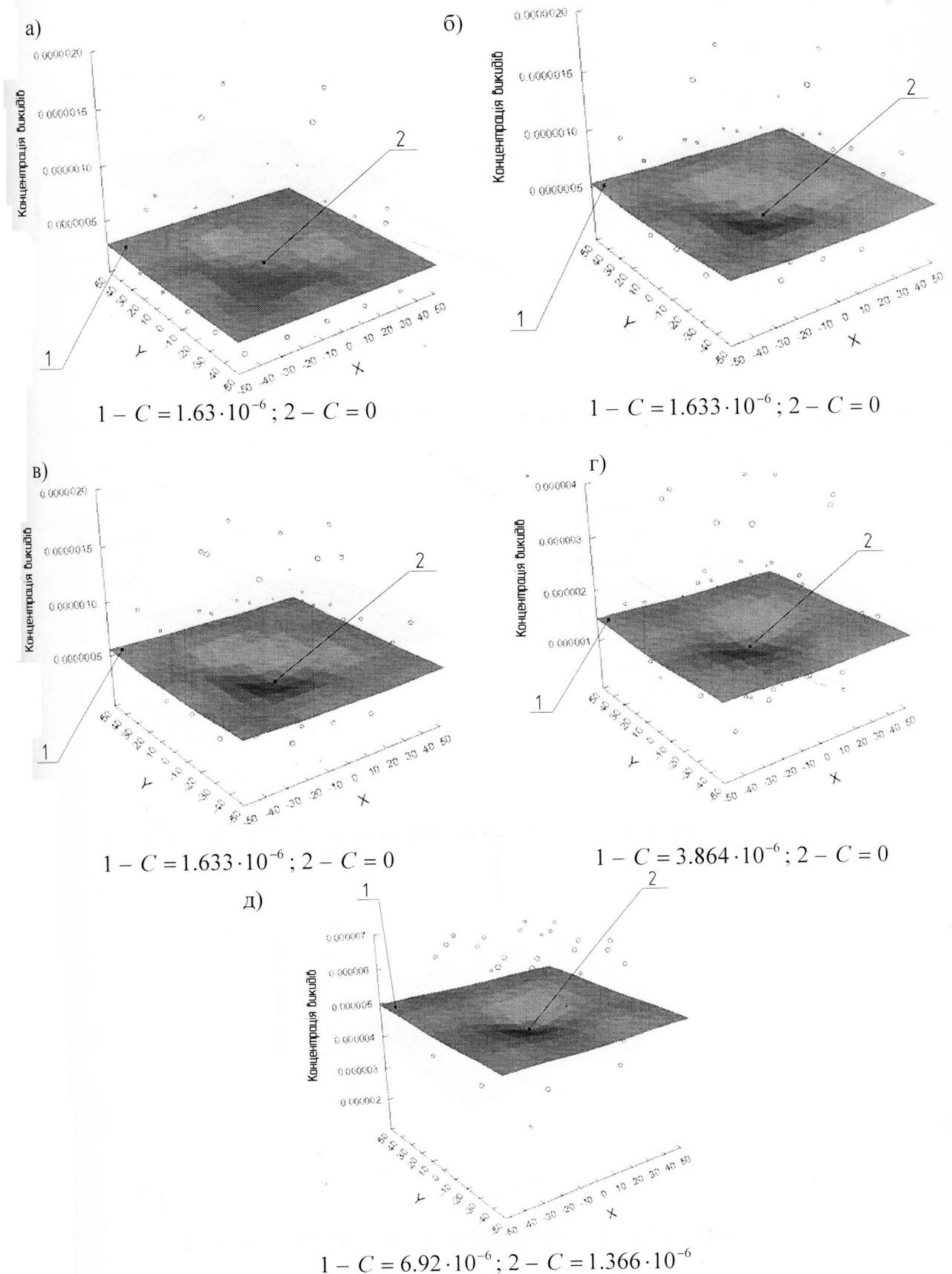


Рис.3.4 – Результати розрахунку вмісту парів бензину в атмосфері на висоті $h=11\text{м}$:
а) $t=2,4 \text{ год.}$; б) $t=4,8 \text{ год.}$; в) $t=7,2 \text{ год.}$; г) $t=9,6 \text{ год.}$; д) $t=12 \text{ год.}$

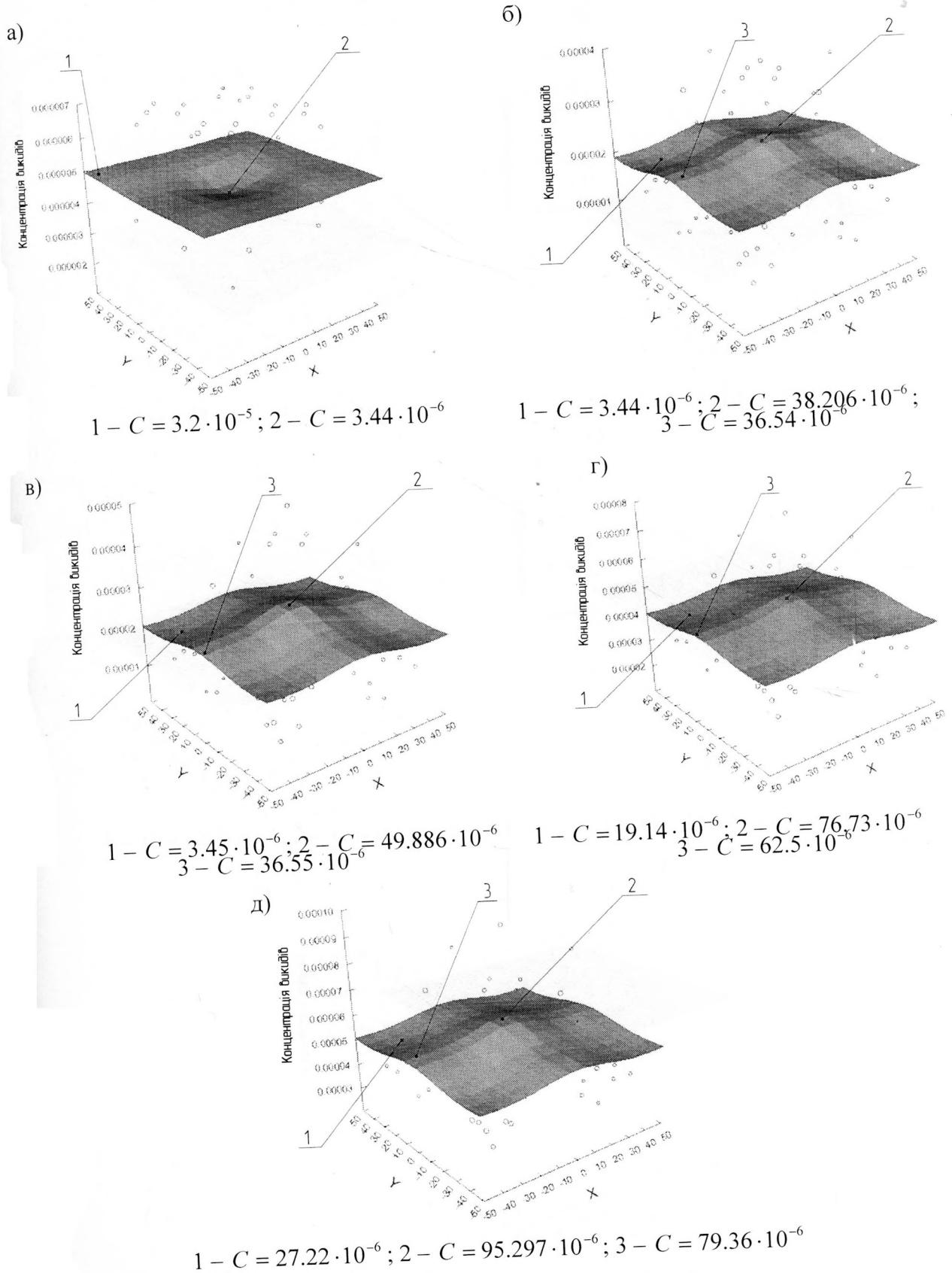


Рис.3.5 – Результати розрахунку вмісту парів бензину в атмосфері на висоті $h=12\text{м}$:
а) $t=2,4$ год.; б) $t=4,8$ год.; в) $t=7,2$ год.; г) $t=9,6$ год.; д) $t=12$ год.

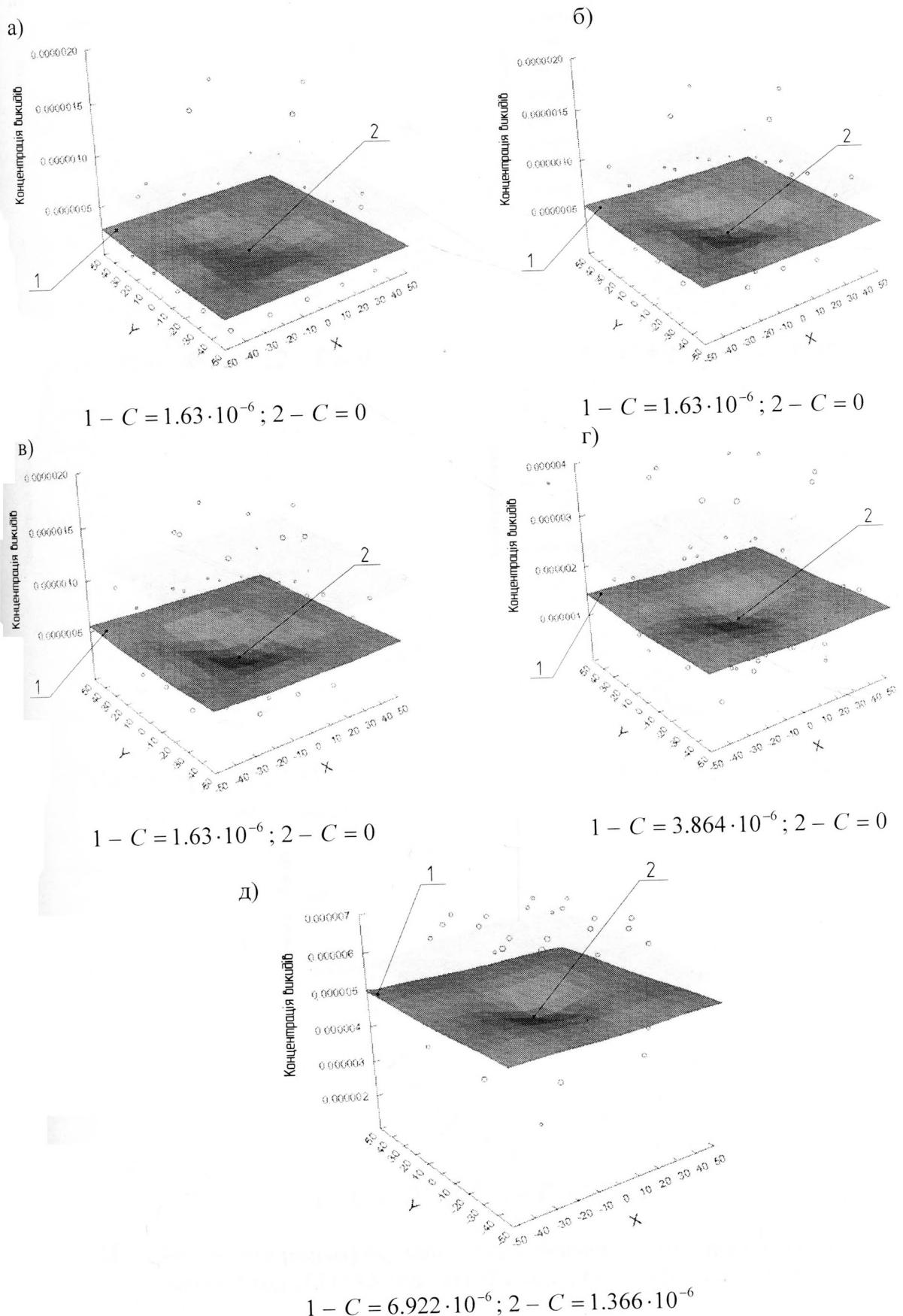


Рис.3.6 – Результати розрахунку вмісту парів бензину в атмосфері на висоті $h=13\text{м}$:
а) $t=2,4$ год.; б) $t=4,8$ год.; в) $t=7,2$ год. ; г) $t=9,6$ год.; д) $t=12$ год.

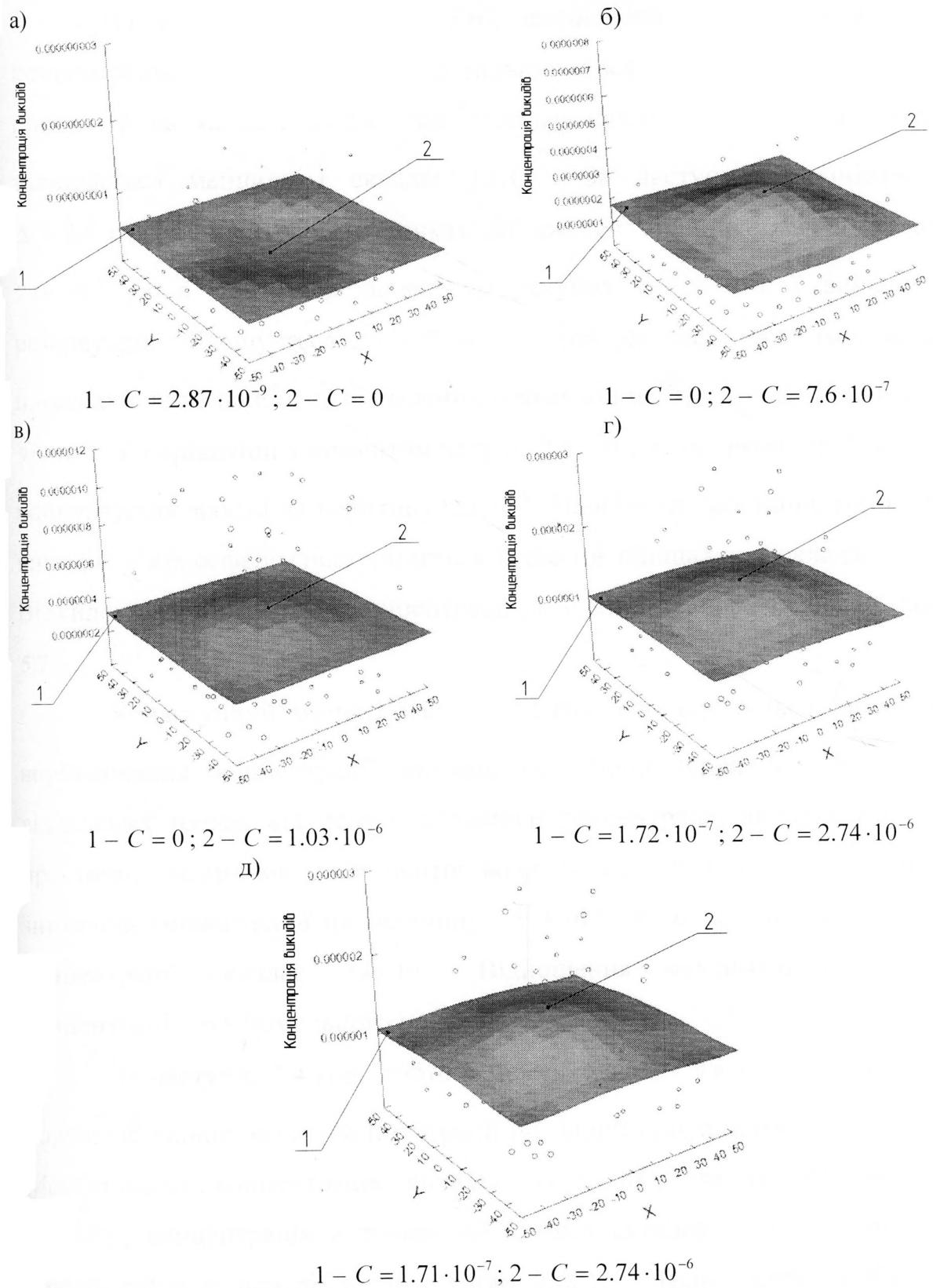


Рис.3.7 – Результати розрахунку вмісту парів бензину в атмосфері на висоті $h=14\text{м}$:
а) $t=2,4$ год.; б) $t=4,8$ год.; в) $t=7,2$ год.; г) $t=9,6$ год.; д) $t=12$ год.

На рівні $z = 13$ м (рис 3.6), починаючи з моменту часу $t = 0$, концентрація викидів у атмосфері підвищується майже рівномірно по всій площі і на момент $t = 2.4$ год. складає $6.95 \cdot 10^{-7}$, а в центрі площасти залишається меншою і складає $1.1 \cdot 10^{-7}$. За наступний проміжок часу $\Delta t = 2.4$ год. концентрація в точках дії джерел підвищується до величини $2.86 \cdot 10^{-7}$, а в центрі площасти за рахунок суперпозиції викидів усіх резервуарів збільшується до $4.75 \cdot 10^{-6}$. У той же час $t = 4.8$ год. на кутах площасти як на найбільш віддалених точках від центру концентрація складає $9.5 \cdot 10^{-7}$. У порівнянні з моментом часу $t = 2.4$ год. у цих периферійних точках концентрація зросла на величину $2.55 \cdot 10^{-7}$. Найбільше зростання концентрації викидів у атмосфері спостерігається в центрі площасти і складає $1.63 \cdot 10^{-6}$. Відхилення максимальної концентрації до її мінімального значення складає 5.7.

У наступний момент часу $t = 7.2$ год. спостерігається тенденція до вирівнювання концентрації викидів по площі площасти. У найбільш віддалених точках від центру площасти концентрація викидів залишилась практично незмінною, а в центрі вона складає $0.71 \cdot 10^{-7}$. Спостерігається зниження концентрації на величину $1.559 \cdot 10^{-6}$. У точках дії джерел викидів концентрації складає $2.86 \cdot 10^{-7}$. Відношення максимального значення концентрації до мінімального рівне 4.03.

За наступні 2,4 год., тобто у момент часу $t = 9.6$ год., спостерігається подальше вирівнювання концентрації по площі при загальному її зростанні. Максимальна концентрація викидів на кутах ділення збільшилась до $1.77 \cdot 10^{-6}$, концентрація в точках дії джерел складає $1.1 \cdot 10^{-6}$, а мінімальна концентрація в центрі ділянки сягає $0.78 \cdot 10^{-6}$. Відношення максимальної концентрації до мінімальної 2.27.

У момент часу $t = 12$ год., тобто за наступні 2,4 год., продовжується вирівнювання концентрації викидів по площі виділеної території з одночасним зростанням її величини. Максимальне значення концентрації у

найбільш віддалених від центра точках складає $4.86 \cdot 10^{-6}$, а мінімальне значення в центрі площини $1.366 \cdot 10^{-6}$. Відношення максимальної концентрації до мінімальної складає 3.56.

На рівні $z = 14\text{м}$ (рис. 3.7), починаючи з моменту часу $t = 0$ концентрація викидів у атмосфері підвищується майже рівномірно по всій площі та на момент $t = 2.4$ год. складає $7 \cdot 10^{-10}$, а в центрі площини залишається меншою і складає $4.8 \cdot 10^{-10}$. За наступний проміжок часу $\Delta t = 2.4$ год. концентрація в точках дії джерел і на периферії підвищується до величини $2.64 \cdot 10^{-7}$, а в центрі площини з мінімальної зростає до максимальної і складає $7.6 \cdot 10^{-7}$. У порівнянні з моментом часу $t = 2.4$ год. у цих периферійних точках концентрація зросла на величину $2.63 \cdot 10^{-7}$. Найбільше зростання концентрації викидів у атмосфері спостерігається в центрі площини і складає $7.59 \cdot 10^{-7}$. Відхилення максимальної концентрації до її мінімального значення складає 2.88.

У наступний момент часу $t = 7.2$ год. спостерігається тенденція до вирівнювання концентрації викидів по площі з одночасним її зростанням. У найбільш віддалених точках від центру площини концентрація викидів зросла до $5.5 \cdot 10^{-7}$, а в центрі вона складає $1.03 \cdot 10^{-6}$. Спостерігається зростання концентрації на величину $2.7 \cdot 10^{-7}$. У точках дії джерел викидів концентрації практично рівна концентрації на периферії. Відношення максимального значення концентрації до мінімального рівне 1.87.

За наступні 2,4 год., тобто у момент часу $t = 9.6$ год., спостерігається подальше вирівнювання концентрації по площі при загальному її зростанні. Мінімальна концентрація викидів на кутах ділення збільшилась до $5.5 \cdot 10^{-7}$, а максимальна концентрація в центрі ділянки сягає $2.74 \cdot 10^{-6}$. Відношення максимальної концентрації до мінімальної 4.98.

У момент часу $t = 12$ год., тобто за наступні 2,4 год., продовжується вирівнювання концентрації викидів по площі виділеної території. Мінімальне значення концентрації у найбільш віддалених від центра точках складає

$6.4 \cdot 10^{-7}$, а максимальне значення в центрі площасти 2.74 $\cdot 10^{-6}$. Відношення максимальної концентрації до мінімальної складає 4.28.

На рівні $z = 11\text{m}$ (рис 3.4), починаючи з моменту часу $t = 0$ концентрація викидів у атмосфері знижується майже рівномірно по всій площі в порівнянні з рівнем $z = 12\text{m}$ і на момент $t = 2.4$ год. складає 1.63 $\cdot 10^{-7}$, а в центрі площасти залишається мінімальною і складає 10^{-8} . У наступний проміжок часу $\Delta t = 2.4$ год. концентрація в точках дії джерел і периферії підвищується до величини 9.5 $\cdot 10^{-7}$, а в центрі площасти зменшується до 10^{-8} . У порівнянні з моментом часу $t = 2.4$ год. у цих периферійних точках концентрація зросла на величину 2.76 $\cdot 10^{-7}$. Найбільше зростання концентрації викидів у атмосфері спостерігається в точках дії джерел і складає 1.23 $\cdot 10^{-7}$. Від максимальної концентрації до її мінімального значення складає 28,6.

У наступний момент часу $t = 7.2$ год. спостерігається тенденція до поглиблення нерівномірності розподілу концентрації викидів по площі з одночасним зростанням її величини. У найбільш віддалених точках від центру площасти концентрація зросла до 9.5 $\cdot 10^{-7}$, а в центрі вона складає 10^{-8} . Відношення максимального значення концентрації до мінімального рівне 2.

За наступні 2,4 год., тобто у момент часу $t = 9.6$ год. спостерігається подальша тенденція поглиблення нерівномірності концентрації по площі при загальному її зростанні. Максимальна концентрація викидів на кутах ділення збільшилась до 1.77 $\cdot 10^{-6}$, концентрація в точках дії джерел складає 1.1 $\cdot 10^{-6}$, а мінімальна концентрація в центрі площасти складає 10^{-8} . Відношення максимальної концентрації до мінімальної 177.

У момент часу $t = 12$ год., тобто за наступні 2,4 год., починається вирівнювання концентрації викидів по площі виділеної території з одночасним зростанням її величини. Максимальне значення концентрації у найбільш віддалених від центра точках складає 4.85 $\cdot 10^{-7}$.

значення в центрі площації $1.366 \cdot 10^{-6}$. Відношення максимальної концентрації до мінімальної складає 3,55.

На рівні $z = 10\text{m}$ (рис 3.3), починаючи з моменту часу $t = 0$ концентрація викидів у атмосфері підвищується майже рівномірно по всій площині на момент $t = 2.4$ год. складає на периферії $7 \cdot 10^{-10}$, а в центрі площації залишається меншою і складає 10^{-11} . За наступний проміжок часу $\Delta t = 2.4$ год. концентрація в точках дії джерел і периферії підвищується до величини $2.6 \cdot 10^{-7}$, а в центрі площації досягає максимуму і складає $7.6 \cdot 10^{-7}$. Найбільше зростання концентрації викидів у атмосфері спостерігається в центрі площації і складає $7.6 \cdot 10^{-7}$. Відхилення максимальної концентрації до її мінімального значення складає 2,92.

У наступний момент часу $t = 7.2$ год. спостерігається тенденція до вирівнювання концентрації викидів по площині з одночасним зростанням її величини. У найбільш віддалених точках від центру площації концентрація викидів зросла до $5.51 \cdot 10^{-7}$, а в центрі вона складає $1.03 \cdot 10^{-6}$. Спостерігається зростання концентрації на величину $2.91 \cdot 10^{-7}$. У точках дії джерел викидів концентрації складає $3.65 \cdot 10^{-7}$. Відношення максимального значення концентрації до мінімального рівне 1,87.

За наступні 2,4 год., тобто у момент часу $t = 9.6$ год., спостерігається подальше вирівнювання концентрації по площині при загальному її зростанні. Мінімальна концентрація викидів на периферії збільшилась до $5.5 \cdot 10^{-7}$, концентрація в точках дії джерел практично така ж, а максимальна концентрація в центрі ділянки сягає $2.74 \cdot 10^{-6}$. Відношення максимальної концентрації до мінімальної 4,98.

У момент часу $t = 12$ год., тобто за наступні 2,4 год., продовжується вирівнювання концентрації викидів по площині виділеної території з одночасним зростанням її величини. Мінімальне значення концентрації у найбільш віддалених від центра точках складає $6.41 \cdot 10^{-7}$, а мінімальне

значення в центрі площації $2.74 \cdot 10^{-6}$. Відношення максимальної концентрації до мінімальної складає 4,27.

На рівні $z = 9\text{m}$ (рис 3.2) до моменту часу $t = 4.8\text{ c}$ підвищення концентрації практично не спостерігається. Починаючи з моменту часу $t = 4.8\text{c}$ концентрація викидів у атмосфері підвищується майже рівномірно по всій площі й на момент $t = 2.4\text{ год.}$ складає на периферії $5.2 \cdot 10^{-11}$, в центрі площації 10^{-12} . За наступний проміжок часу $\Delta t = 2.4\text{ год.}$ концентрація в центрі площації збільшується до $4.42 \cdot 10^{-8}$, а на периферії складає $5.2 \cdot 10^{-11}$. У порівнянні з моментом часу $t = 2.4\text{ год.}$ у центрі площації концентрація зросла на величину $4.42 \cdot 10^{-8}$. Відношення максимальної концентрації до її мінімального значення складає 850.

У наступний момент часу $t = 9.6\text{ год.}$ спостерігається тенденція до вирівнювання концентрації викидів по площі площації. У найбільш віддалених точках від центру площації концентрація зросла до $7.6 \cdot 10^{-8}$, а в центрі вона складає $4.42 \cdot 10^{-8}$. Відношення максимального значення концентрації до мінімального рівне 1,72.

За наступні 2,4 год., тобто у момент часу $t = 12\text{ год.}$, спостерігається подальше вирівнювання концентрації по площі при загальному її зростанні. Мінімальна концентрація викидів на периферії збільшилась до $7.6 \cdot 10^{-8}$, концентрація в точках дії джерел складає $18.5 \cdot 10^{-8}$, а максимальна концентрація в центрі ділянки сягає $5.98 \cdot 10^{-8}$. Відношення максимальної концентрації до мінімальної 2,43.

На рівні $z = 8\text{m}$ (рис 3.1) до моменту часу $t = 7.2\text{ год.}$ підвищення концентрації практично не спостерігається. Починаючи з моменту часу $t = 7.2\text{ год.}$ концентрація викидів у атмосфері підвищується майже рівномірно по всій площі й на момент $t = 7.2\text{ год.}$ складає на периферії $4.9 \cdot 10^{-14}$, в точках дії викидів $1.225 \cdot 10^{-12}$ в центрі площації залишається меншою і складає 10^{-15} . За наступний проміжок часу $\Delta t = 2.4\text{ год.}$ концентрація в точках дії джерел підвищується до величини $1.22 \cdot 10^{-12}$, а в центрі площації збільшується до

$2.25 \cdot 10^{-10}$. У той же час $t = 4,8$ год. на периферії площації концентрація складає $4.9 \cdot 10^{-14}$. Відхилення максимальної концентрації до її мінімального значення складає 24,89.

У наступний момент часу $t = 12$ год. спостерігається тенденція до вирівнювання концентрації викидів по площі площації. У найбільш віддалених точках від центру площації концентрація зросла до $5.89 \cdot 10^{-9}$, а в центрі вона складає $2.05 \cdot 10^{-8}$. Відношення максимального значення концентрації до мінімального рівне 1,44.

За результатами реалізації створеної моделі побудовано графічні залежності процесу формування хмари забруднень атмосфери викидами з резервуарів пароповітряної суміші для характерних точок площації резервуарного парку (рис. 3.8 – 3.10).

На рис. 3.8 виведено залежності концентрації від часу для точок площації, в яких розміщені джерела викидів. Як видно з графіків, на рівні 12 м (у точці розміщення джерела викидів (рис. 3.8а)) відбувається коливний процес зміни концентрації в часі, причому коливання здійснюються навколо осі, що є зростаючою прямою й виходить із початку координат. Спостерігається спочатку зростаюча фаза коливання, а потім спадаюча (при загальній тенденції до зростання концентрації). Коливальний процес не є гармонічним, його амплітуда і частота змінюються в часі. Період першого коливання складає 9 год. (частота $30,8 \cdot 10^{-6}$ Гц), а амплітудне значення концентрації – 22% від середньої величини. Друге коливання характеризується періодом 11,2 год. (частота $24,8 \cdot 10^{-6}$ Гц) і амплітудою 14% від середнього значення. На відмітці 13 м (висота 1 м над джерелом викиду (рис. 3.8б)) також спостерігається коливний процес. При загальному зростанні концентрації характер коливання знаходиться в протифазі з процесом на рівні 12 м, причому амплітуда коливань відносно зростаючої осі, що проходить через початок координат, зменшується, а період коливань зростає. Для першого коливання амплітуда складає 30,5 % від середнього

значення концентрації, а період – 11,1 год. (частота $25 \cdot 10^{-6}$ Гц). Наступне коливання має амплітуду 20,2%, а період 14,6 год. (частота $19 \cdot 10^{-6}$ Гц).

На рівні 14 м (висота 2 м над джерелом викиду (рис. 3.8в)) коливний процес характеризується зменшенням частоти і амплітуди, причому спостерігається синфазність із процесом на рівні джерела і зміщенням по фазі на 5 год. Період першого коливання складає 36 год. (частота $7,7 \cdot 10^{-6}$ Гц), а максимальна амплітуда – 27,1% від середнього значення концентрації.

На рис. 3.8. (г, д) приведені характеристики коливального процесу на рівнях 11 м і 10 м, тобто на 1 м і 2 м нижче розміщення джерела.

Аналіз графіків (рис. 3.8) показує, що характер протікання процесів на цих рівнях практично співпадає з аналогічними коливними процесами на рівні 13 м і 14 м (різниця тільки в абсолютних значеннях величини концентрації). На рис. 3.9 показано характер зміни концентрації викидів із резервуарів у атмосфері для геометричного центру площинки резервуарного парку. Слід зауважити, що характер коливального процесу в цій точці практично повторює коливання концентрації в точці викидів. Для рівня 12 м (висота розміщення джерела) характерні коливання з початковим періодом 10 год. (частота $27,7 \cdot 10^{-6}$ Гц) і початковою амплітудою 24,5%. Наступне коливання має період 12,8 год. (частота $21,7 \cdot 10^{-6}$ Гц) і максимальну амплітуду 15,1 % від середнього значення концентрації. Слід зауважити, що спочатку спостерігається зменшення концентрації, а потім її ріст. На рівні 13 м коливний процес синфазний із попереднім. Період першого коливання складає 16,1 год. (частота $16,9 \cdot 10^{-6}$ Гц), а максимальна амплітуда 23,7% від середньої концентрації. На другому коливанні період зростає до 19,3 год. (частота $14,3 \cdot 10^{-6}$ Гц), амплітуда зменшується до 11,25 від середнього значення концентрації.

На рис. 3.10 приведено характеристики коливального процесу в периферійних точках площинки резервуарного парку, тобто в точках найбільш віддалених від геометричного центру площинки. Характер протікання коливального процесу повторює закономірності в інших

характерних точках при менших абсолютних значеннях концентрації. На відмітці 12 м коливальний процес починається зі зменшення концентрації в періоді й подальшому її збільшенні. Період первого коливання складає 11,1 год. (частота $2,5 * 10^{-6}$ Гц), що абсолютно відповідає процесу в центрі площасти. Амплітудне значення первого коливання складає 19,1% від середньої концентрації й зменшується на другому коливанні до 9,2 % від середньої концентрації. На рівні 13 м коливальний процес знаходиться в протифазі з попереднім, його частотна характеристика відповідає процесу в центрі площасти, а амплітуда первого коливання складає 14% від середньої концентрації й на наступному коливанні зменшується до 6,2 %. Таким чином, дифузійний процес формування хмари забруднень атмосфери періодичними викидами з резервуарів є інерційним процесом. У початкові моменти часу в усіх точках об'єму атмосферного повітря періодично підвищується концентрація забруднень із загасаючою амплітудою і частотою. Аналіз розрахунків показує, що період коливань зростає від 8-9 год. для первого коливання до 40-46 год. для четвертого, при цьому амплітуда зменшується від 22-30% до 1-1,5% від середнього значення концентрації. Зростання хмари забруднень є згасаючим процесом навіть при періодичній дії джерел викидів. Протягом 40-46 год. спостерігається активний ріст хмари, а в загальному збільшенні її в атмосфері змінюється на 1-2%.

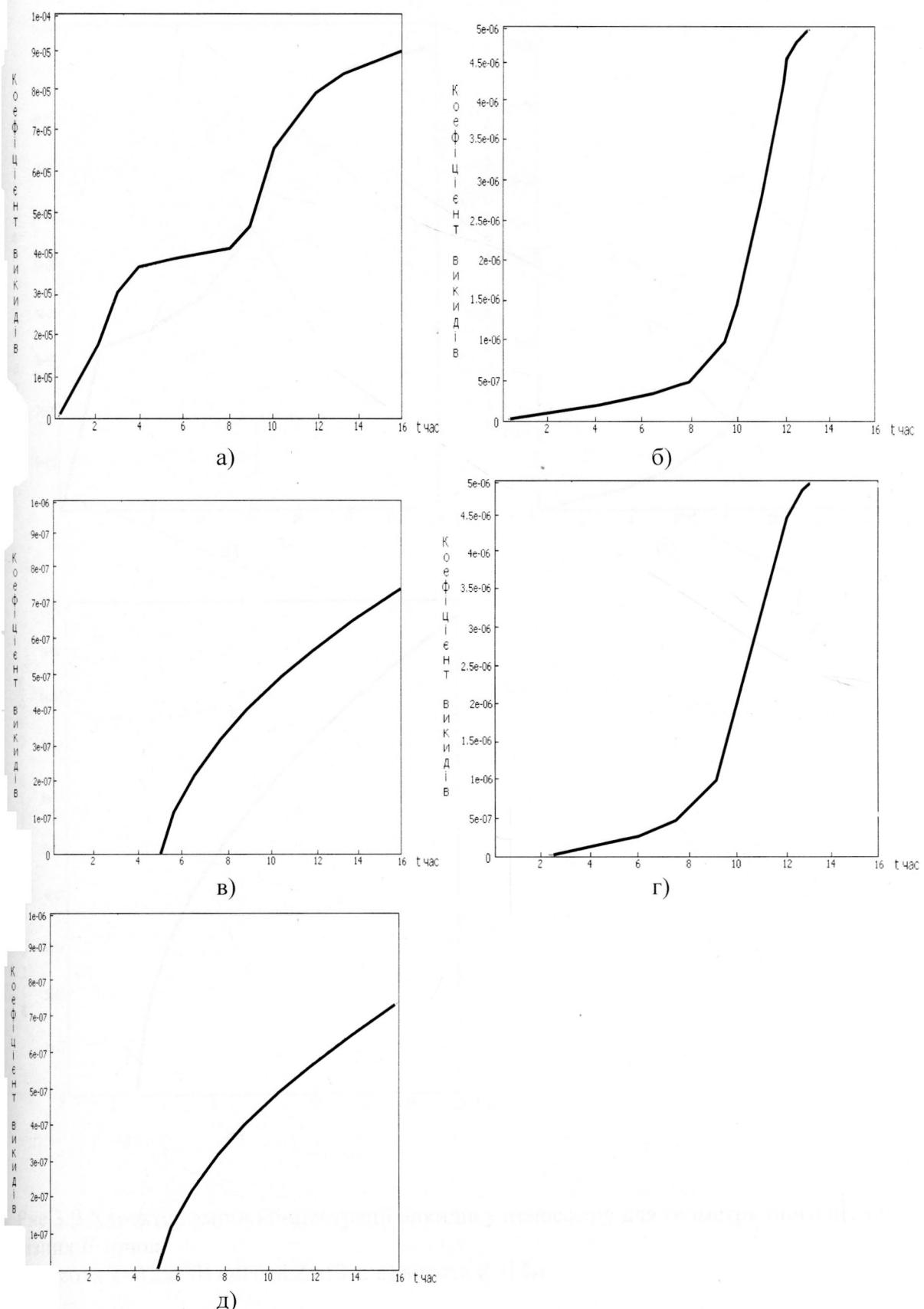


Рис 3.8 Залежність концентрації викидів від часу для точок площинки в яких розміщені джерела:

а) висота $Z=12\text{м}$; б) висота $Z=13\text{м}$; в) висота $Z=14\text{м}$; г) висота $Z=11\text{м}$; д) висота $Z=10\text{м}$.

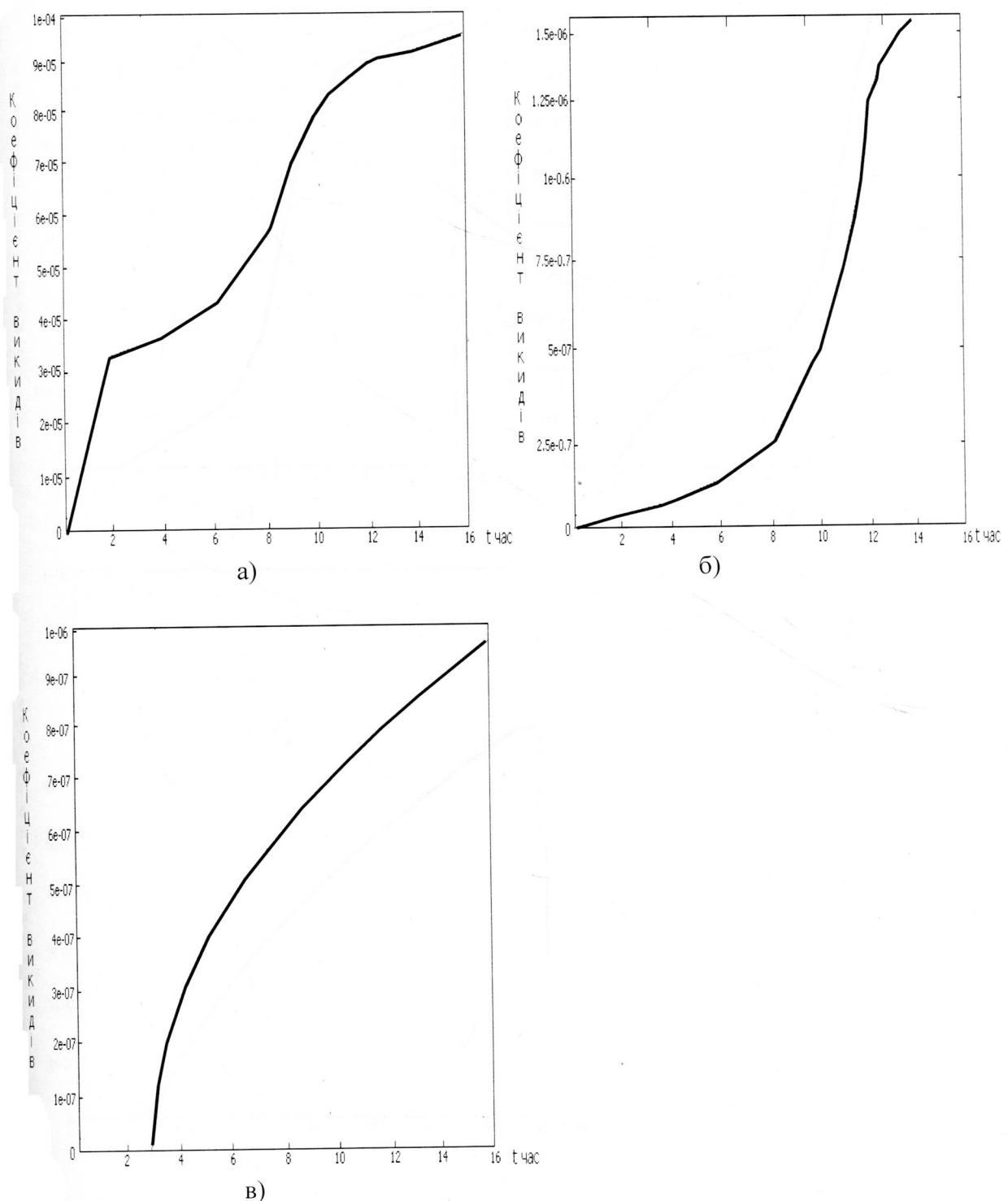


Рис 3.9 Характер зміни концентрації викидів у атмосферу для геометричного центру для різних її точок :

а) висота $Z=12\text{м}$; б) висота $Z=13\text{м}$; в) висота $Z=14\text{м}$.

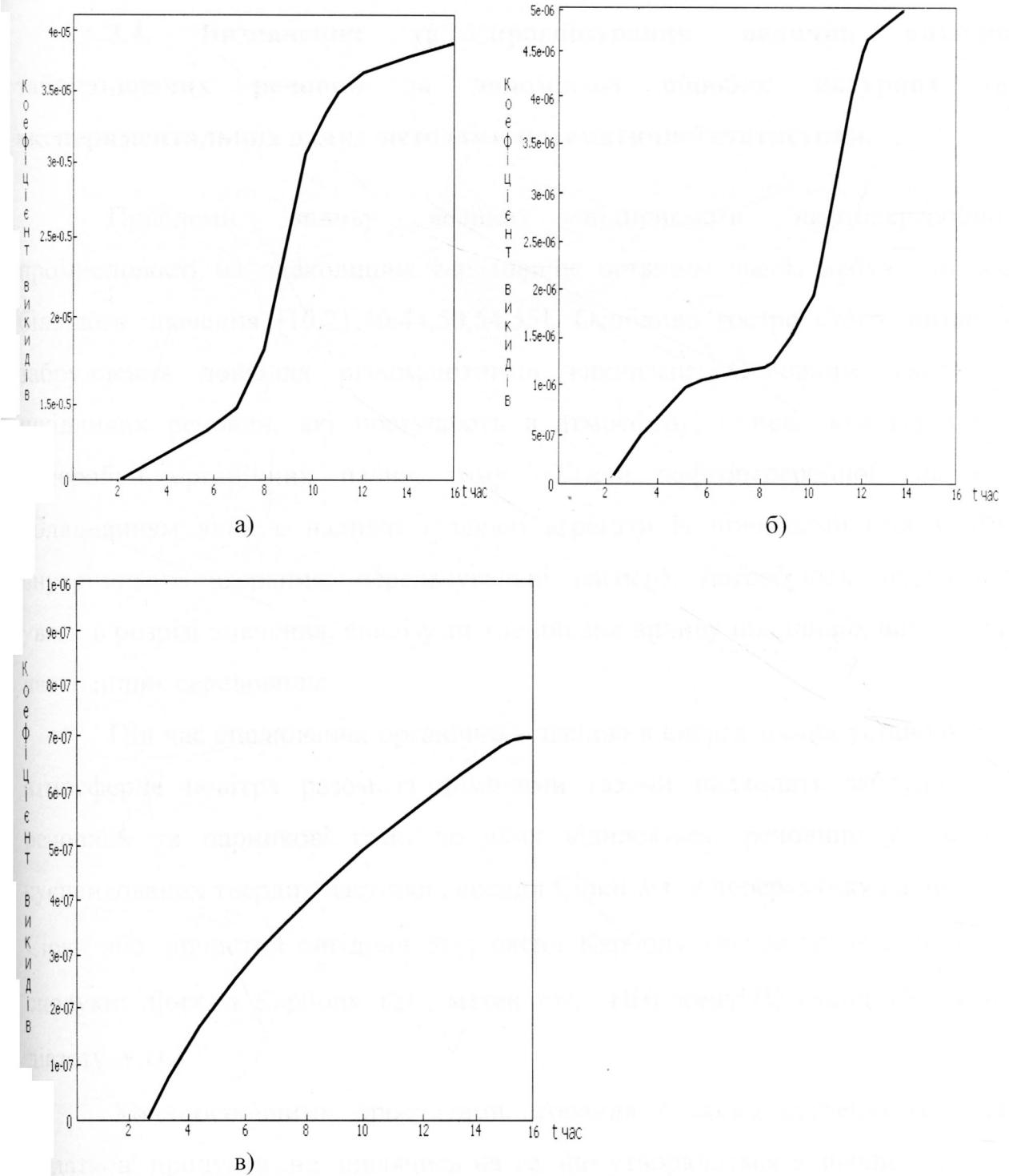


Рис 3.10 Характеристики коливального процесу викидів в периферійних точках площинки від часу для різних висот (найбільш віддалених від центру):
 а) висота $Z=12\text{м}$; б) висота $Z=13\text{м}$; в) висота $Z=14\text{м}$.

3.4. Визначення та прогнозування величин викидів забруднюючих речовин за допомогою обробки натурних та експериментальних даних методами математичної статистики.

Проблеми впливу великих підприємств нафтопереробної промисловості на навколишнє середовище останнім часом набувають все більшого значення [10,21,40,44,50,54,55]. Особливо гостро стоїть питання забруднення довкілля різноманітними викидами. Основним джерелом шкідливих речовин, які поступають в атмосферу, є продукти горіння і переробки органічних палив, тому об'єкти нафтопереробної системи, обладнанням яких є наливні і зливні агрегати із приводами (двигунами внутрішнього згорання, перекачувальні насоси), потребують додаткової уваги в розрізі вивчення, аналізу та зменшення впливу шкідливих викидів на навколишнє середовище.

Під час спалювання органічного палива в енергетичних установках у атмосферне повітря разом із димовими газами надходять забруднюючі речовини та парникові гази, до яких відносяться: речовини у вигляді суспендованих твердих частинок, оксиди Сірки SO_x у перерахунку на діоксид Сірки або сірчистий ангідрид SO_x ; оксид Карбону CO ; важкі метали та їх сполуки; діоксид Карбону CO_2 ; метан CH_4 ; Нітрогену (І) оксид або оксид діазоту N_2O .

Хоча основними продуктами згорання є оксид вуглецю та вода, додаткові продукти, не дивлячись на те, що утворюються в значно менших концентраціях, надзвичайно важливі з точки зору екології. Доведено, що окисли азоту NO та NO_2 (разом названі NO_x) є основними реагентами при утворенні фотохімічного смогу. Крім того, реакції, в яких бере участь NO_x , сприяють видаленню зі стратосфери озону. Таким чином, проблема зменшення забруднення навколишнього середовища окислами азоту є однією з ключових для екології. Для того, щоб знаходити нові шляхи зменшення

емісії окислів, необхідно чітко уявляти механізми їх утворення, проводити натуральні виміри викидів та досліджувати дію факторів, що впливають на результиуючу величину.

Іншим аспектом у необхідності проведення натуральних замірів викидів шкідливих речовин та здійснення статистичної обробки результатів досліджень є затверджений Постановою Кабінету Міністрів України №303 від 01.03.99 р. «Порядок встановлення нормативів збору за забруднення навколишнього природного середовища» і стягнення цього збору, згідно якого плата за забруднення здійснюється, виходячи з фактичних обсягів викидів. У даний час визначення обсягів викидів у атмосферу полягає в застосуванні показників питомих викидів, що, зважаючи на різні умови та режими роботи нафтових агрегатів, не є коректним.

Беззаперечно, самою об'єктивною оцінкою величини викидів буде їх натуральний замір, але результируча величина залежить від багатьох впливаючих на неї факторів, котрі, як і сам виток, змінюються в часі та різні по вагомості впливу на параметр, що досліджується. Процес проведення вимірів витоків, зважаючи на їх велику кількість та важкодоступність, достатньо трудомісткий і не може виконуватись безперервно в часі. Тому, як основа будь-якого експерименту та натурних замірів, виникає необхідність статистичної обробки заміряних величин, результатом якої буде побудова математичної моделі, що об'єднує й априорну, й експериментальну інформацію [42,45].

На виконання вищевикладеного проведено дослідження величини викидів від основних джерел нафтопереробного заводу.

Для реалізації даної мети проведено аналіз використання природного газу для випуску продукції підприємством (табл. 3.1).

Для проведення аналізу лінійної кореляції за експериментальними даними, побудови емпіричних рівнянь прямих регресій, знаходжені залежності середнього значення величини викиду NO_x від середнього значення витрати паливного газу вибрано установки, які найбільше

споживають природний газ: ЕЛОУ АВТ-2, ЕЛОУ АВТ-3, підготовки сировини, каталітичного реформингу, сповільненого коксування, термокрекінгу, теплоелектроцентраль.

Дослідження проведеної акредитованою екологічною лабораторією "Нафтохімік Прикарпаття" пристроєм для виміру забруднень під час переробки нафти в нафтопродукти при спалюванні природного газу «HI FLOW Sampler» виробництва фірми «Bacharach».

Таблиця 3.1. Результати натуральних замірів при викидах забруднюючих речовин (NO_x) за 2009 рік.

Місяці	Всього		Викиди забруднюючих речовин (NO_x)	
	Загальний об'єм сировини (в тонах)	Витрата палива ($m^3/\text{год.}$)	г/с	т/рік
1	259375	8816	4.31	248
2	258924	8908	4.56	272
3	174495	6858	3.98	196
4	240257	7756	4.07	218
5	345571	9154	4.68	299
6	250085	7484	4.06	210
7	395511	10183	5.32	314
8	404682	10920	6.34	364
9	393178	10850	6.12	342
10	256134	6353	3.4	178
11	233871	8530	4.48	260
12	274674	7579	3.92	202
Всього	3459757	103391	4.6	265

Для з'ясування залежності між величиною викиду (η) та витратою паливного газу (ξ) проводились заміри протягом року, які потім інтегрувались. Середні величини цих значень по місяцях приведені в таблиці 3.2.

Значення витрат паливного газу, що досліджувались, коливаються в діапазоні від $6353 m^3/\text{год.}$ до $10920 m^3/\text{год.}$, значення величин викидів – від 3.4 г/с до 6.34 г/с. Із метою складання впорядкованого інтервального

варіаційного ряду для значень викидів за формулою Стерджеса визначається оптимальна величина інтервалу:

$$h = \frac{\xi_{\max} - \xi_{\min}}{1 + 3.2 \lg n}; \quad (3.44)$$

Після розрахунку оптимальних інтервалів для значень витрат ($\approx 520 \text{ м}^3/\text{год.}$) та викидів ($\approx 0,4 \text{ г/с}$) отримують кореляційну таблицю (табл. 3.3), у кожній клітині якої вказана кількість замірів, що припадає на визначені діапазони величин значень витрат та викидів (числа m_{ij}):

Таблиця 3.2 Значення величини викиду від витрати паливного газу на ВАТ «Нафтохімік Прикарпаття» у 2009 р.

	Витрата паливного газу, $\text{м}^3/\text{год.}$							
Викид, $\text{м}^3/\text{год.}$	6350-6870	7390-7910	8430-8950	8950-9470	9990-10510	10510-11030	m_i^{II}	
3.4-3.8	1						1	
3.8-4.2	1	3					4	
4.2-4.6			3				3	
4.6-5.0				1			1	
5.0-5.4					1		1	
5.4-5.8							0	
5.8-6.2						1	1	
6.2-6.6						1	1	
m_i^I	2	3	3	1	1	2	12	

При розрахунку статистичних характеристик вибираються значення витрат, що попадають у даний інтервал, рівним середині c_i цього інтервалу, а величину викиду - рівну d_j середині відповідного інтервалу. Розрахунок вибіркових середніх, дисперсій і коефіцієнта кореляції здійснюють за формулами (3.45) і (3.46):

$$\bar{x} \approx v_1' + x_0, \quad \bar{s}_1^2 = v_2' - \frac{(v_1')^2 n}{n-1}, \quad (3.45)$$

$$\bar{y} \approx v_1'' + y_0, \quad \bar{s}_2^2 = v_2'' - \frac{(v_2'')^2 n}{n-1},$$

де

$$\begin{aligned}
 v'_1 &= \frac{\sum_{i=1}^k m'_i u_i}{n}, \quad v''_1 = \frac{\sum_{j=1}^s m''_j v_j}{n}, \\
 v'_2 &= \frac{\sum_{i=1}^k m'_i u_i^2}{n-1}, \quad v''_2 = \frac{\sum_{j=1}^s m''_j v_j^2}{n-1}, \\
 \bar{R} &= \frac{\sum_{i,j} m_{ij} u_i v_j - n v'_1 v''_1}{(n-1) \bar{s}_1 \bar{s}_2}, \tag{3.46}
 \end{aligned}$$

Наближене значення коефіцієнту регресії:

$$\rho(\eta/\xi) = R(\xi, \eta) \frac{\sigma(\eta)}{\sigma(\xi)} \approx \bar{R} \frac{\bar{s}_2}{\bar{s}_1}; \tag{3.47}$$

Рівняння емпіричних прямих регресій має вигляд:

$$y - \bar{y} = \bar{R} \frac{\bar{s}_2}{\bar{s}_1} (x - \bar{x}); \tag{3.48}$$

Для розрахунку \bar{x} , \bar{y} , \bar{s}_1 та \bar{s}_2 складаємо дві допоміжні таблиці (табл.3.3, табл.3.4), приймаючи $x_0 = 8690$ та $y_0 = 5,2$, тобто $u_i = c_i - 8690$ та $v_i = d_j - 5,2$

Таблиця 3.3. Допоміжна таблиця підрахунку середніх вибіркових

Номер інтервалу	Середина інтервалу C_i для значення витрат газу	u_i	m'_i	u_i^2	$u_i * m'_i$	$m'_i * u_i^2$
1	6610	-2080	2	4326400	8652800	-4160
2	7130	-1560	0	2433600	0	0
3	7650	-1040	3	1081600	3244800	-3120
4	8110	-580	0	336400	0	0
5	8690	0	3	0	0	0
6	9210	520	1	270400		520
7	9730	1040	0	1081600	0	0
8	10250	1560	1	2433600	2433600	1560
9	10770	2080	2	4326400	8652800	4160
Сума			12	16290000	22984000	-1040

Таблиця 3.4. Допоміжна таблиця підрахунку середніх вибіркових

Номер інтервалу	Середина інтервалу d_j для значення витрат газу	v_j	m_j'	v_j^2	$v_j * m_j'$	$v_j^2 * m_j'$
1	3,6	-1,6	1,0	2,56	-1,6	2,56
2	4,0	-1,2	4,0	1,44	-4,8	5,76
3	4,4	-0,8	3,0	0,64	-2,4	1,92
4	4,8	-0,4	1,0	0,16	-0,4	0,16
5	5,2	0	1,0	0,0	0,0	0,0
6	5,6	0,4	0,0	0,16	0,0	0,0
7	6,0	0,8	1,0	0,64	0,8	0,64
8	6,4	1,2	1,0	1,44	1,2	1,44
Сума			12,0		-7,2	12,48

Із табл. 3.3 для знаходження регресійної залежності зміни витрат газу (ξ) від витоків забруднень отримуємо:

$$v'_1 = \frac{\sum_{i=1}^9 m'_i u_i}{n} = \frac{-1040}{12} \approx -86 ;$$

$$v'_2 = \frac{\sum_{i=1}^5 m'_i u_i^2}{n-1} = \frac{22984000}{11} \approx 208945 ;$$

$$\bar{x} \approx v'_1 + x_0 = -86 + 8690 = 8604 ;$$

$$\bar{s}_1^2 = v'_2 - \frac{(v'_1)^2 n}{n-1} = 208945 - \frac{86 * 86}{11} \approx 200876 ;$$

$$\bar{s}_1 = \sqrt{\bar{s}_1^2} = \sqrt{200876} \approx 448 ;$$

Із табл.3.4 для значення величини витоку (η) знаходимо:

$$v''_1 = \frac{\sum_{j=1}^8 m''_j v_j}{n} = \frac{-7.2}{12} \approx -0.6 ;$$

$$v''_2 = \frac{\sum_{j=1}^5 m''_j v_j^2}{n-1} = \frac{12.48}{11} \approx 1.14 ;$$

$$\bar{y} \approx v_1'' + y_0 = -0.6 + 5.2 = 4.6;$$

$$\bar{s}_2^2 = v_2'' - \frac{(v_1'')^2 n}{n-1} = 1.14 - \frac{(-0.6)^2 * 12}{11} \approx 0.747;$$

$$\bar{s}_2 = \sqrt{\bar{s}_2^2} = \sqrt{0.747} \approx 0.865;$$

Для підрахунку $\sum_{i,j} m_{ij} u_i v_j$ складаємо нову таблицю (табл.3.5). У

кожній клітині (праворуч) вказано число m_{ij} , що має одні й ті ж самі значення u_i та v_j , а зліва вказано добуток $m_{ij} u_i v_j$. Останній стовпчик складається із суми всіх $m_{ij} u_i v_j$ при постійному j . Як видно з таблиці

$$\sum_{i,j} m_{ij} u_i v_j = 4148$$

Таблиця.3.5. Таблиця підрахунку коефіцієнта кореляції

	u_i									
v_j	-2080	-1560	-1040	-580	0	520	1040	1560	2080	Сума
-1,6					0					
-1,2	2496				0					2496
-0,8		1248			0					1248
-0,4					0					
0					0					
0,4					0					
0,8					0	404				404
1,2					0					
Сума										4148

Використовуючи формулу (3.46), знайдемо вибірковий коефіцієнт кореляції:

$$\bar{R} = \frac{\sum_{i,j} m_{ij} u_i v_j - nv_1' v_1''}{(n-1)\bar{s}_1 \bar{s}_2} = \frac{4148 - 12 * (-0/6) * (-86)}{11 * 448 * 0.865} \approx 0.76$$

По лінійному коефіцієнту кореляції маємо змогу оцінити характер зв'язку.

Оскільки знайдений коефіцієнт кореляції лежить у діапазоні $0,7 \leq \bar{R} \leq +1$, то лінійна залежність є досить високою - зв'язок прямий сильний; для визначення того, на скільки відсотків у середньому варіація результативного признаку пояснюється за рахунок варіації факторного признаку, знайдемо коефіцієнт детермінації:

$$D = \bar{R}^2 \cdot 100 \%$$

$$D = 58,3 \%$$

За формулами (3.47) знаходимо наближене значення коефіцієнта регресії:

$$\rho(\eta / \xi) = R(\xi, \eta) \frac{\sigma(\eta)}{\sigma(\xi)} \approx \bar{R} \frac{\bar{s}_2}{\bar{s}_1} = 0.76 \frac{0.865}{448} \approx 0,0014674$$

За формулою (3.48) знайдемо емпіричне рівняння прямої регресії.

Рівняння прямої η на ξ має вигляд:

$$y - 4.6 = 0.0014674 * (x - 8604) \quad y = 0.0014674x - 8.026; \quad (3.49)$$

У формулі (3.49) x моделює витрати паливного газу, а y - величину викидів у атмосферу.

Таким чином, за допомогою отриманого рівняння для досліджуваних об'єктів, які використовують паливний газ у виробництві й які забруднюють навколишнє середовище, можна при реальних значеннях витрати паливного газу визначати величину викидів у атмосферу NO_x без проведення трудомістких замірів.

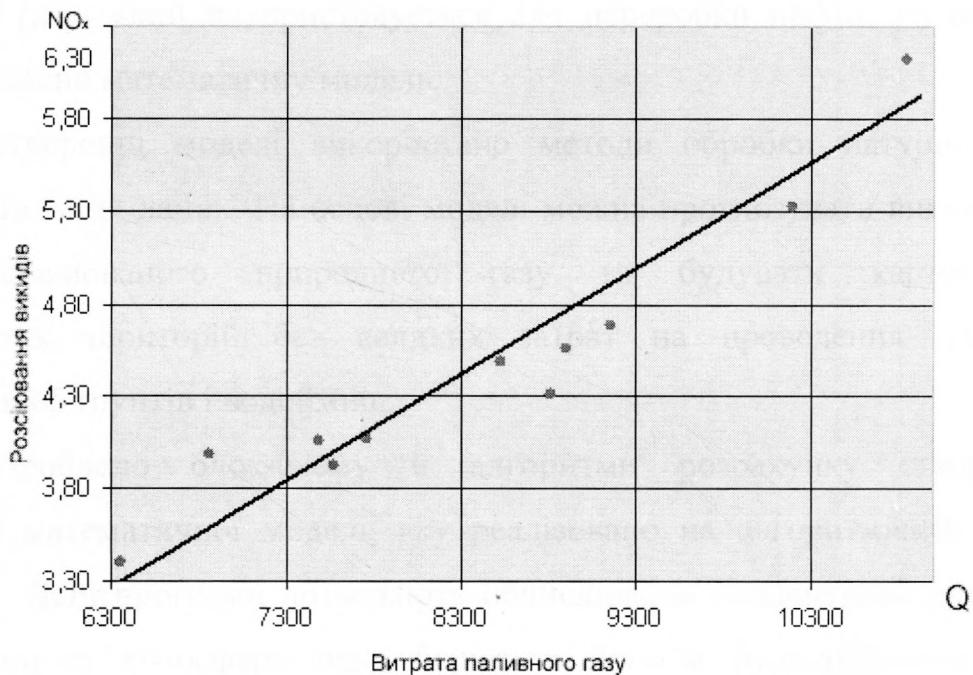


Рис.3.11. Діаграма розсіювання викидів NO_x та розходу паливного газу.

- - фактичні дані замірів викидів шкідливих речовин;
- — розрахункові дані згідно аналітичної залежності.

На рис. 3.11 зображена діаграма розсіювання викидів від величини витрати паливного газу, одержаних під час замірів. Там же нанесено теоретичну лінію регресії залежності викидів NO_x від витрат паливного газу.

На основі розробленого алгоритму можливо провести розрахунки і побудувати математичну модель і для інших типів об'єктів, які забруднюють довкілля другими викидами, такими як CO, SO_2 .

3.4 Висновки до розділу 3.

1. Досліджено та проаналізовано результати розрахунків розповсюдження викидів із резервуарів у атмосферу. Показано, що процес випаровування носить періодичний характер і забруднення атмосфери відбувається циклічно з різною амплітудою і фазою в циклах по висоті й у часі.

2. Досліджено величину викидів шкідливих речовин при спалюванні природного газу, який використовується для переробки нафти, на основі цього розроблено математичну модель.

При створенні моделі використано методи обробки натурних та експериментальних даних. На основі моделі можна прогнозувати викиди по кількості спалюваного природного газу та будувати картограми забруднюючих територій без великих затрат на проведення аналізу атмосфери проб ґрунтів і водоймищ.

3. Розроблено блок-схему та алгоритми розрахунку створеної просторової математичної моделі, яку реалізовано на алгоритмічній мові Фортран-IV. Дані програми дозволяють обчислювати концентрації викидів парів бензину в атмосферу при зберіганні його в будь-якій кількості резервуарів протягом світлової пори для різних моментів часу, величини площин, починаючи від доби, тижня, місяця і т.д. При цьому враховано сильноосцилюючі підінтегральні функції.

РОЗДІЛ 4

ПРОМИСЛОВО-ДОСЛІДНА АПРОБАЦІЯ ЗАПРОПОНОВАНИХ МЕТОДІВ РОЗСІЮВАННЯ ВИПАРОВУВАНЬ НАФТОПРОДУКТІВ У АТМОСФЕРІ

На даний час поверхневі явища і піноактивні речовини (ПАР) визначають важливі технологічні й природні процеси та використовуються у всіх галузях господарства. Однією з основних областей використання піноактивних речовин у нафтопереробній промисловості є сповільнення і зменшення випаровувань нафтопродуктів за допомогою плівок нерозчинних ПАР [52,53]. Ця область виникла у зв'язку з проблемами екології й у даний час достатньо активно розвивається, проте ще мало вивчена. З цією метою необхідне проведення досліджень залежності швидкості випаровування ПАР і можливі механізми сповільнення випаровування, такі як гасіння хвиль на поверхні й зменшення площі поверхні дотику речовин, що випаровуються, з навколошнім середовищем.

4.1. Методи зменшення інтенсивності викидів парів нафтопродуктів із резервуарів у атмосферу.

Проблема скорочення втрат нафтопродуктів від випаровування багатогранна. Найважливішими її аспектами є економічний та екологічний. Важко оцінити, котрий із цих аспектів по мірі збитковості слід розмістити на першому місці, але є очевидним, що і втрати нафтопродуктів, і забруднення повітря є задачами першочергової важливості.

Основи теорії втрат нафтопродуктів від випаровування з резервуарів були закладені в працях Чернікіна В. Д. [104] і в подальшому розвинені його учнями Едігаровим С. Г., Яковлевим Є. І., Константиновичем М. М., Абузовою Ф. І. та ін. У них встановлені основні закономірності випаровування рідин (зокрема нафтопродуктів) і вентиляції газового

простору резервуарів, що призводить до викидів парів нафтопродуктів у атмосферу.

Випаровування – це перехід нафтопродуктів із рідкого до газоподібного стану при температурі нижчій, ніж температура кипіння при даному тиску. Швидкість випаровування залежить від тиску насыщених парів, фракційного складу, середньої температури кипіння і коефіцієнта дифузії.

Тиск насыщених парів – це тиск парів, що відповідає динамічній рівновазі між рідкою і паровою фазою нафтопродукту при даній температурі.

Якщо тиск насыщених парів при даній температурі вищий парціального тиску при тій самій температурі, то нафтопродукт буде випаровуватись тим інтенсивніше, чим більша та різниця. Чим вищий тиск насыщених парів, тим більші втрати для випаровування при інших умовах.

Для індивідуальних рідин тиск насыщених парів – фізична константа, що залежить від молекулярних властивостей даної рідини і від температури; для рідин неоднорідного складу, таких, наприклад, як нафта чи бензин, тиск насыщених парів при даній температурі є складною функцією складу рідини і залежить від об'єму простору, в якому знаходиться парова фаза. Це пояснюється тим, що при різних об'ємах у парову фазу буде переходити різна кількість компонентів із найбільшим значенням тиску насыщених парів, і відповідно склад рідкої фази буде також різним. Таким чином, для кожного співвідношення рідкої та парової фази рівновага парів буде встановлюватись із рідиною іншого складу, а це впливає на величину тиску насыченої пари.

Очевидно, зі збільшенням температури нафтопродуктів резервуарі зростає тиск його пружних парів, що призводить до збільшення інтенсивності випаровування та зростання концентрації шарів нафтопродукту в газовому просторі резервуару. Крім того при зростанні температури рідини в резервуарі відбувається збільшення її об'єму, що в умовах ізобарного процесу призводить до зменшення об'єму газового простору. Величина, на яку зменшився об'єм газового простору резервуару

внаслідок добового температурного перепаду "ніч-день", називається малим диханням резервуару й є величиною викиду пароповітряної суміші в атмосферу.

Таким чином величина викиду пароповітряної суміші з резервуару в атмосферу залежить від загальної (середньодобової) температури нафтопродукту в трубопроводі від добового перепаду температур.

Тиск насичених парів нафтопродукту в залежності від температури визначається за емпіричною формулою, що має вигляд [104].

$$P_{st} = 56519 \exp[-0.026(t_{nk} - t)] \text{ Pa} \quad (4.1),$$

де t_{nk} - температура початку кипіння продукту.

Зменшення тиску пружних пір'їв призведе до зменшення інтенсивності випаровування нафтопродукту й, отже, до зменшення величини шкідливих викидів у атмосферу.

Існуючі методи зменшення шкідливих викидів парів нафтопродуктів із резервуарів у атмосферу можна умовно розділити на декілька груп.

1. Методи, пов'язані зі зменшенням температури нафтопродукту і добового температурного перепаду. До цієї групи слід віднести фарбування резервуарів у сріблястий (сонцевідштовхуючий) колір, температурну ізоляцію газового простору, спорудження напівзаглублених резервуарів.

2. Конструктивні методи. Сюди відносяться створення й експлуатація резервуарів підвищеного тиску, резервуарів із понтонами, резервуарів із плаваючим дахом, упровадження газової обв'язки резервуарів.

3. Методи, спрямовані на зниження пружного тиску пружних пір'їв. До цих методів відносяться покриття поверхні нафтопродукту в резервуарі шаром легких (плаваючих) срібних предметів (наприклад, пінопластових кульок), добавки до нафти чи продукту компонентів, які суттєво знижують тиск насичених парів. Слід зауважити, що в першому випадку при викачуванні продукту з резервуарів існує небезпека потрапляння твердих тіл у проточну частину насосу, а в другому – порушення кондиційності продукту. У кожному конкретному випадку слід зважити величину збитків

від випарювання та некондиційності продукту і вибрati найбільш оптимальний варіант.

Для випадку покриття поверхні нафтопродукту в резервуарі захисним шаром іншої рідини необхідно, щоб рідина покриваючого шару мала меншу густину від нафтопродукту, який вона захищає. Крім того, рідина покриваючого шару повинна мати нафтову основу, щоб не псувати якість нафтопродукту, котрий зберігається. В такому випадку температура початку кипіння рідини покриваючого шару буде меншою за температуру початку кипіння нафтопродукту, що зберігається, й у відповідності до формули (4.1) тиск насичених шарів рідини покриваючого шару, який повинен бути тонким, швидко випарується і втратить захисні функції.

Пропонується з метою зменшення випаровування з резервуарів періодично заповнювати газоповітряний простір резервуару піною, одержаною шляхом аерації водних розчинів піноутворюючих поверхнево-активних речовин (ПАР) на нафтовій основі. В початковий момент часу (після закінчення газоповітряного простору) парціальний тиск піни перевищуватиме тиск пружних парів нафтопродукту, що практично зведе до нуля випаровування. Стійкість піни визначається часом, за який її об'єм зменшується наполовину. Тому нафтопродукт буде зберігатися практично без випаровування протягом часу, що приблизно дорівнює подвійній стійкості піни. Після повного осідання піни на поверхні нафтопродукту утвориться шар розчину ПАР, який буде дифундувати в глибину нафтопродукту, утворюючи суміш, тиски насичених парів якої значно менший тиску насичених парів нафтопродукту. Отже, після осідання піни певний час, що підлягає визначеню, випаровування нафтопродукту буде менш інтенсивним.

Нехай об'єм газового простору резервуару складає V_{pp} , а тиск насичення парів у ньому складає p_{np} при температурі T_{pp} . Тоді маса парів нафтопродукту в газовому просторі (молекулярна маса μ_p) складає

$$m_n = \frac{P_{HK} V}{R_\mu \cdot T_{GP}} \cdot \frac{1}{\mu_G}, \quad (4.2)$$

де R_μ - універсальна газова стала.

Якщо в газовий простір резервуару ввести аерований розчин ПАР із кратністю піни κ при парціальному тиску $P_{\text{ПАР}} \geq P_{\text{ГП}}$, то в граничному випадку матимемо

$$V_{\text{ПАР}} \cdot \kappa \cdot P_{\text{ПАР}} = m_{\text{ПАР}} \frac{R_\mu}{\mu_{\text{ПАР}}} \cdot T_{\text{ПАР}}. \quad (4.3)$$

Очевидно, що співвідношення парціальних тисків і температур для кожного компонента повинні бути рівними, тобто

$$\frac{R_{\text{ГП}}}{\mu_{\text{ГП}}} = \frac{R_{\text{ПАР}}}{\mu_{\text{ПАР}}} \quad (4.4)$$

Тоді одержимо

$$m_{\text{ПАР}} = m_H \frac{\mu_{\text{ПАР}}}{\mu_H}$$

Таким чином, витрата ПАР залежить від мас парів нафтопродукту в газоповітряній суміші резервуару і співвідношення молекулярних мас поверхнево-активної речовини та парів нафтопродукту.

Вибір необхідної концентрації ПАР у водному розчині, а також самої природи речовини, визначають технологію скорочення викидів із резервуарів. Тому для реалізації цих задач необхідні додаткові експериментальні дослідження характеру зміни тиску насищених парів в суміші нафтопродукту і ПАР при різних температурах.

4.2 Експериментальні дослідження властивостей піноактивних речовин.

Однією з важливих властивостей речовин є поверхневий натяг, а для характеристики ПАР ця властивість є основною. Матеріал по поверхневому натягу представляється у вигляді коефіцієнтів рівняння, яке описує

поверхневий натяг як функцію температури у визначеному температурному інтервалі:

$$\sigma = \sigma_0 - bt = \sigma_0 + \left(\frac{d\sigma}{dt} \right) t, \quad (4.5)$$

де σ_0 - поверхневий натяг при 0°C ; t - температура, $^{\circ}\text{C}$; $\frac{d\sigma}{dt} = -b$ -

температурний коефіцієнт поверхневого натягу в системі рідина-газ. Експериментально встановлено, що поверхневий натяг залежить від тиску насищеної пару P :

$$\sigma = \sigma_m - RT h \ln P, \quad (4.6)$$

де σ_m - поверхневий натяг при $P=1$; h - коефіцієнт пропорційності. Дане рівняння отримали при інтегруванні рівняння адсорбції Гіббса

$$d\sigma = -\Gamma R T d \ln N \gamma \quad (4.7)$$

при умові: $\Gamma = \text{const}$ (на поверхні існує постійний шар). При інтегруванні одержуємо:

$$\sigma = \sigma_m - RT \text{const} \ln N \gamma = \sigma_m - RT h \ln P \quad (4.8)$$

N - концентрація, мольні долі; γ - коефіцієнт активності.

Іншою характеристикою ПАР є стійкість піни. ПАР – це дисперсійні системи, які можна класифікувати за певними ознаками. Згідно класифікації дисперсійним систем за агрегатним станом фаз піни – це дисперсійні системи у яких дисперсна фаза – газ, а дисперсійне середовище – рідина. Стійкість піни вимірюється часом існування певного об'єму, який залежить тільки від міцності плівок, розділяючих пухирці газу [1,99,100]. Для досліджень вибрано високомолекулярні сполуки: ПЕГ-6000, ПЕГ-8000 та Стеарокс-6.

Для оцінки якості піноутворюючих розчинів і приготовлених із них пін користуються різними критеріями: об'ємом чи висотою стовпа піни у певних умовах проведення експерименту, відношення об'єму чи висоти стовпа піни до часу її повного руйнування, зміни об'єму піни в часі. До цього часу універсального критерію піноутворення, який би одночасно оцінював усі системи, що утворюють піну за будь-яких умов не існує.

Пінотворчу здатність для наших досліджень визначали на лабораторній установці (рис. 4.1), основним елементом якої є трубка довжиною 1100 мм, діаметром 65 мм, при кімнатній температурі.

У 500 мл дистильованої води розчиняємо 0,2 г ПЕГ-6000 і через досліджуваний розчин барботуємо повітря. Кожної хвилини замірюємо висоту утвореного стовпа піни. Коли висота утвореного стовпа піни залишається стабільною, припиняємо барботування і замірюється стійкість піни. Перед кожним певним визначенням трубку промиваємо дистильованою водою. Беремо 0,5 г ПЕГ-6000 і розчиняємо в 500 мл дистильованої води і знову барботуємо повітря. Всі інші досліди повторюються так само, як і перший, тільки змінюючи концентрацію розчинів ПАР.

Одержані результати занесено до таблиці 4.1.

Для порівняння пінотворчої стійкості ПЕГ-6000 замінений розчинник. Вибір розчинника обумовлений тим, що більшість технологічних процесів відбувається у воді різної твердості.

Розчиняємо такі ж маси ПЕГ-6000 у твердій воді і проводимо барботування повітря крізь розчин. Кожної хвилини замірюємо висоту стовпа піни; отримані дані занесено до таблиці 4.2.

Аналогічні дослідження проводились для різних ПАР: ПЕГ-8000 та Стеароксу-6. Дані приведені у відповідних таблицях 4.3 -4.6

За отриманими даними побудовано графіки (рисунки 4.2-4.4).

Наступні дослідження полягають у визначення поверхневого натягу речовини за допомогою торсійної ваги. Спочатку визначаємо сталу торсійної ваги. Беремо дистильовану воду і визначаємо експериментальну силу, необхідну для відриву кільця при кімнатній температурі рівній 16°C . Сталу торсійної ваги визначали за формулою: $K = F/\sigma = 1,16$. Поверхневий натяг води брали із довідника. Визначаємо експериментальну силу, необхідну для відриву кільця для розчинів ПЕГ і Стеароксу 6. Визначаємо поверхневий натяг кожної із речовин за формулою

$\sigma = F/k$. Результати експериментального дослідження занесено до таблиць 4.7-4.8.

Таблиця 4.1. – Залежність властивості піни, утвореної при розчиненні ПЕГ-6000 у дистильованій воді.

Час τ , с	Концентрація C, %	Висота піни, H_0 , мм	Стійкість піни с
60	0,03	20	12
60	0,09	15	8
240	0,4	15	8
240	0,8	8	1
240	1,6	8	1
240	3,1	0,5	1
240	5	0,2	1

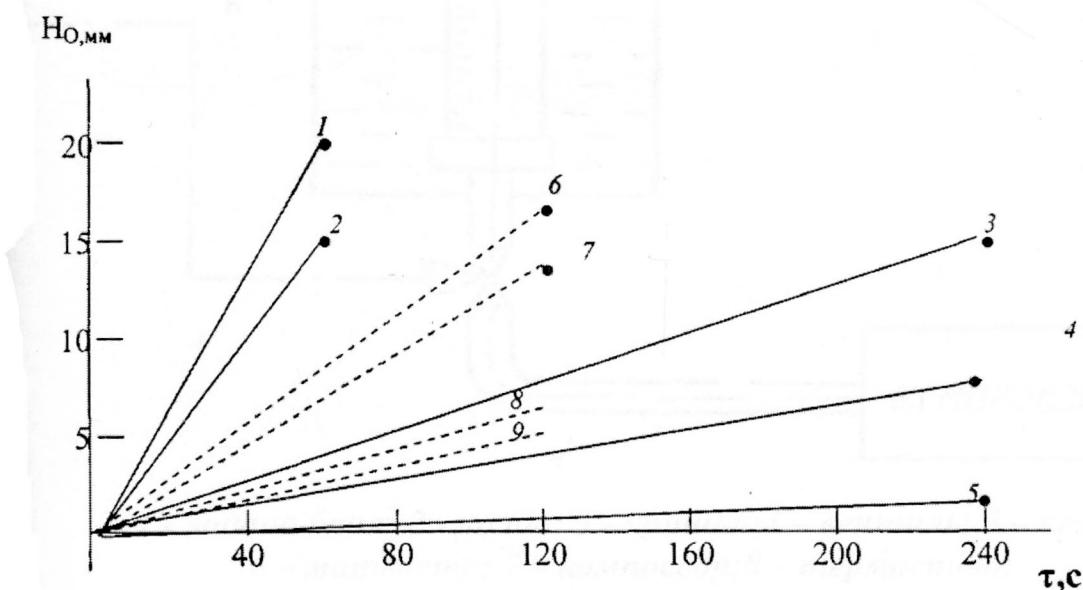
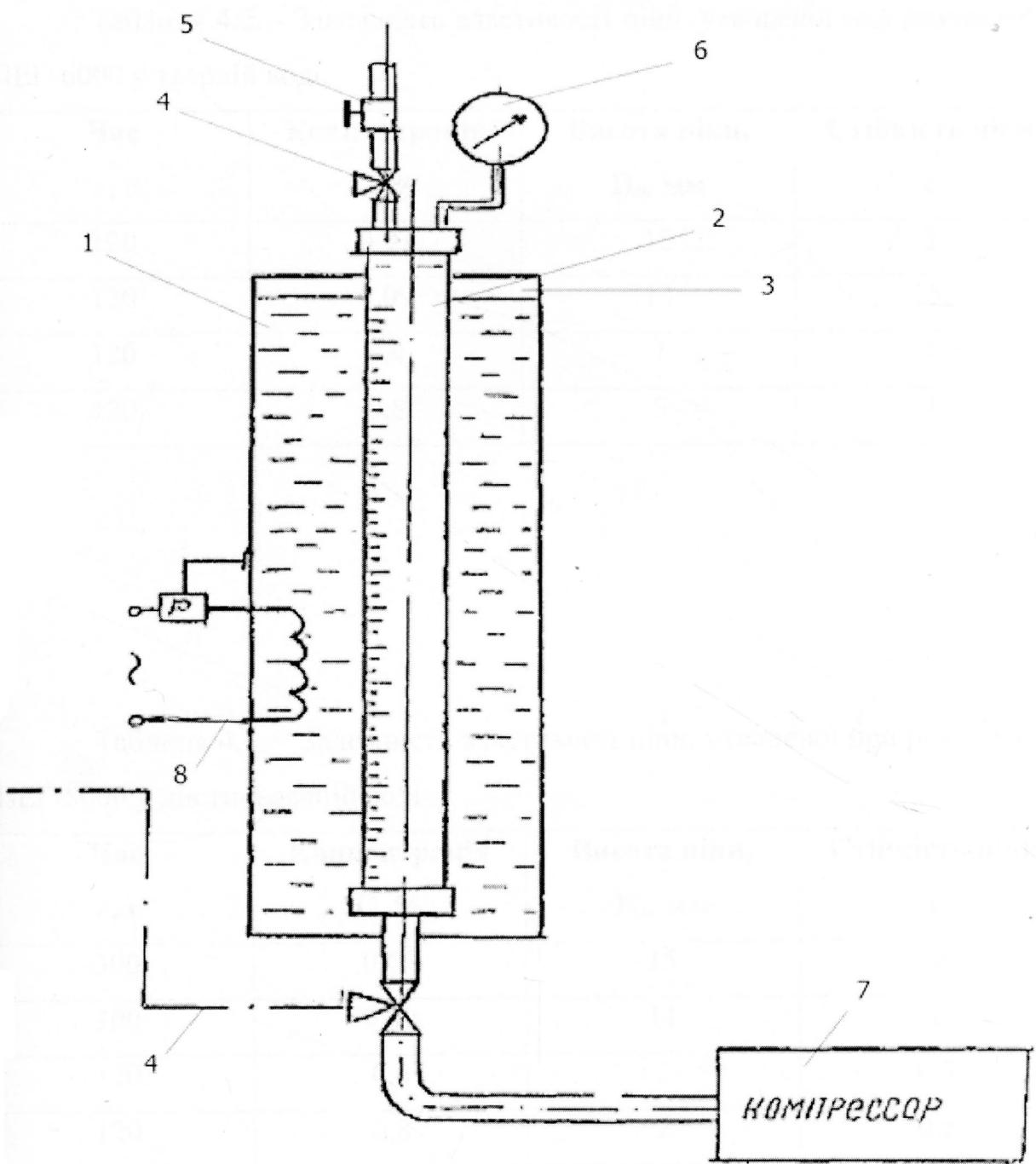


Рис. 4.2 - Залежність висоти піни системи ПАР – вода при концентрації ПЕГ-6000 в твердій (---) та дистильованій (—) воді
 1- 0,03%; 2 – 0,09%; 3- 0,4%; 4 – 0,8 – 1,6%; 5- 3,1 – 5%; 6 – 0,03%; 7 0,09%;
 8 – 0,4%; 9 – 0,8%



1 - водяна баня; 2 - колба; 3 - кришка; 4 – вентиль; 5 – кран;
6 – манометр; 7 – компресор; 8 – термостат;

Рисунок 4.1 Лабораторна установка для визначення кратності і стійкості піни.

Таблиця 4.2. - Залежність властивості піни, утвореної при розчиненні ПЕГ-6000 у твердій воді.

Час τ , с	Концентрація C, %	Висота піни, H_0 , мм	Стійкість піни с
120	0,03	16	2
120	0,09	13	15,
120	0,4	7	1
120	0,8	5	1

Таблиця 4.3. – Залежність властивості піни, утвореної при розчиненні ПЕГ-8000 у дистильованій воді.

Час τ , с	Концентрація C, %	Висота піни, H_0 , мм	Стійкість піни с
300	0,03	15	38
300	0,09	11	1
120	0,4	2	0,5
120	0,8	2	0,5
-	1,6	-	-
-	3,1	-	-
-	5	-	-

Таблиця 4.4. - Залежність властивості піни, утвореної при розчиненні ПЕГ-8000 у твердій воді.

Час τ, с	Концентрація C, %	Висота піни, H_0, мм	Стійкість піни с
240	0,03	15	3
240	0,09	15	3
240	0,4	18	3,5
240	0,8	15	3
240	1,6	10	2
240	3,1	10	2
240	5	10	2

Таблиця 4.5. – Залежність властивості піни, утвореної при розчиненні Стеароксу-6 у дистильованій воді.

Час τ, с	Концентрація C, %	Висота піни, H_0, мм	Стійкість піни с
720	0,03	950	660
600	0,09	950	900
540	0,4	950	1380
420	0,8	950	4500
360	1,6	950	5160
240	3,1	950	5866
180	5	950	6400

Таблиця 4.6. - Залежність властивості піни, утвореної при розчиненні Стеароксу-6 у твердій воді.

Час τ , с	Концентрація C, %	Висота піни, H_θ , мм	Стійкість піни c
600	0,03	950	420
540	0,09	950	720
420	0,4	950	900
360	0,8	950	1380
300	1,6	950	2400
240	3,1	950	4660
180	5	950	5280

Таблиця 4.7. – Результати визначення поверхневого натягу піни в системі ПАР - вода

ПАР	Річкова вода, σ	Річкова вода і $CaCl_2$, σ
ПЕГ-6000	76,7	79,3
ПЕГ-8000	81,03	77,5
Стеарокс-6	56,17	55,03

Таблиця 4.8. – Результати визначення кратності піни в системі ПАР - вода

ПАР	Річкова вода, β	Річкова вода і $CaCl_2$, β
ПЕГ-6000	0,00039	0,0009
ПЕГ-8000	0,00039	0,0009
Стеарокс-6	1,89	1,888

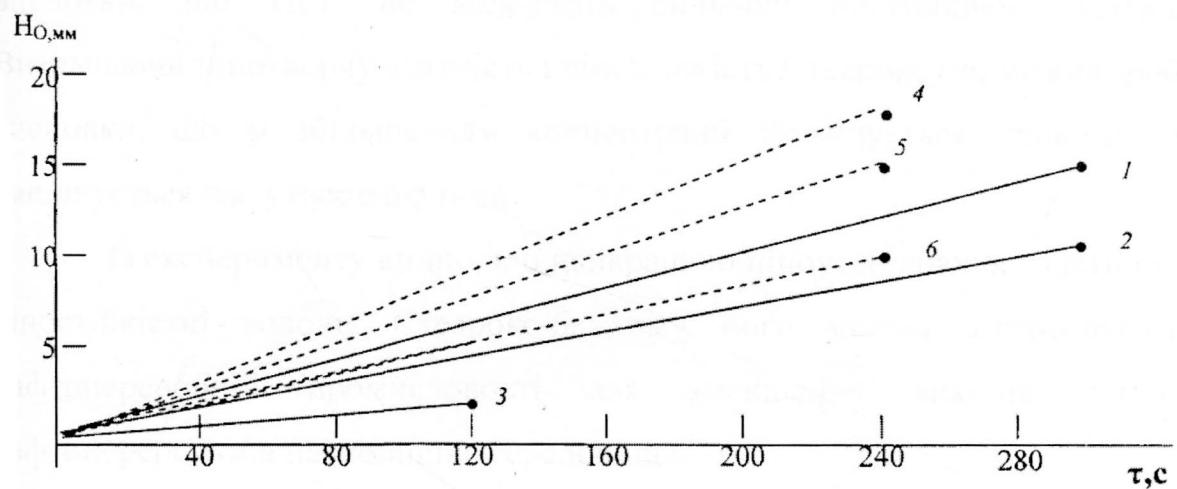


Рис 4.3 Залежність висоти піни системи ПАР – вода при концентрації ПЕГ – 8000 у твердій (—) та дистильованій (---) воді

1- 0,03%; 2 – 0,09%; 3- 0,4%; 4 – 0,8 – 1,6%; 5- 3,1 – 5%; 6 – 0,03%; 7 0,09%;
8 – 0,4%; 9 – 0,8%

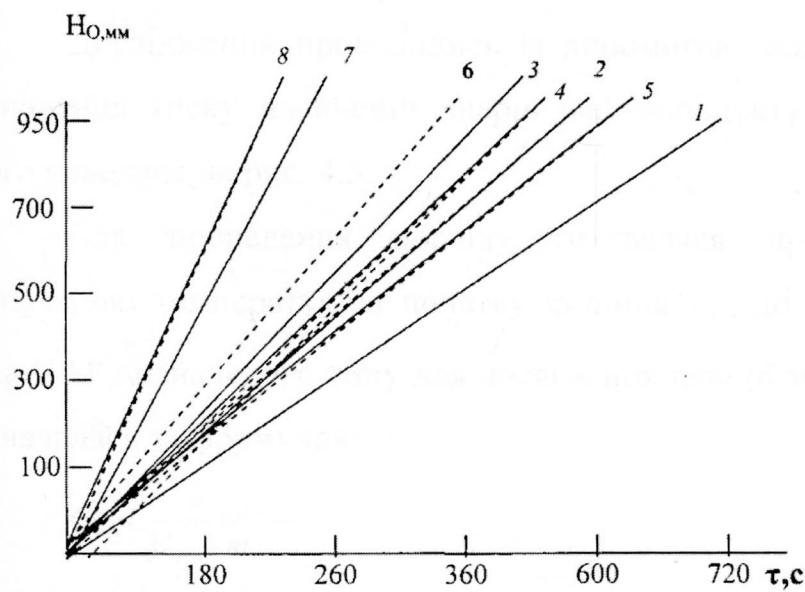


Рис 4.4 Залежність висоти піни системи ПАР – вода при концентрації Стеароксу – 6 у твердій (—) та дистильованій (---) воді

1- 0,03%; 2 – 0,09%; 0,4%; 3- 0,8%; 1,6%; 4 – 0,4 – 0,8%; 5- 0,03 – 0,09%;
6 – 1,6%; 7 3,1%; 8 – 5%;

Із одержаних результатів дослідження можна зробити наступні висновки, що ПЕГ не володіють сильною піnotворчою здатністю. Визначаючи піnotворчу здатність і піностійкість Стеароксу-6, можна зробити висновки, що зі збільшенням концентрації збільшується піностійкість і зменшується час утворення піни.

Із експерименту видно, що найкращою піноутворюючою здатністю та піностійкістю володіє Стеарокс-6, тому його можна застосовувати в нафтопереробній промисловості для зменшення викидів продуктів нафтопереробки в навколошнє середовище.

4.3. Експериментальні дослідження впливу ПАР на випаровування продуктів.

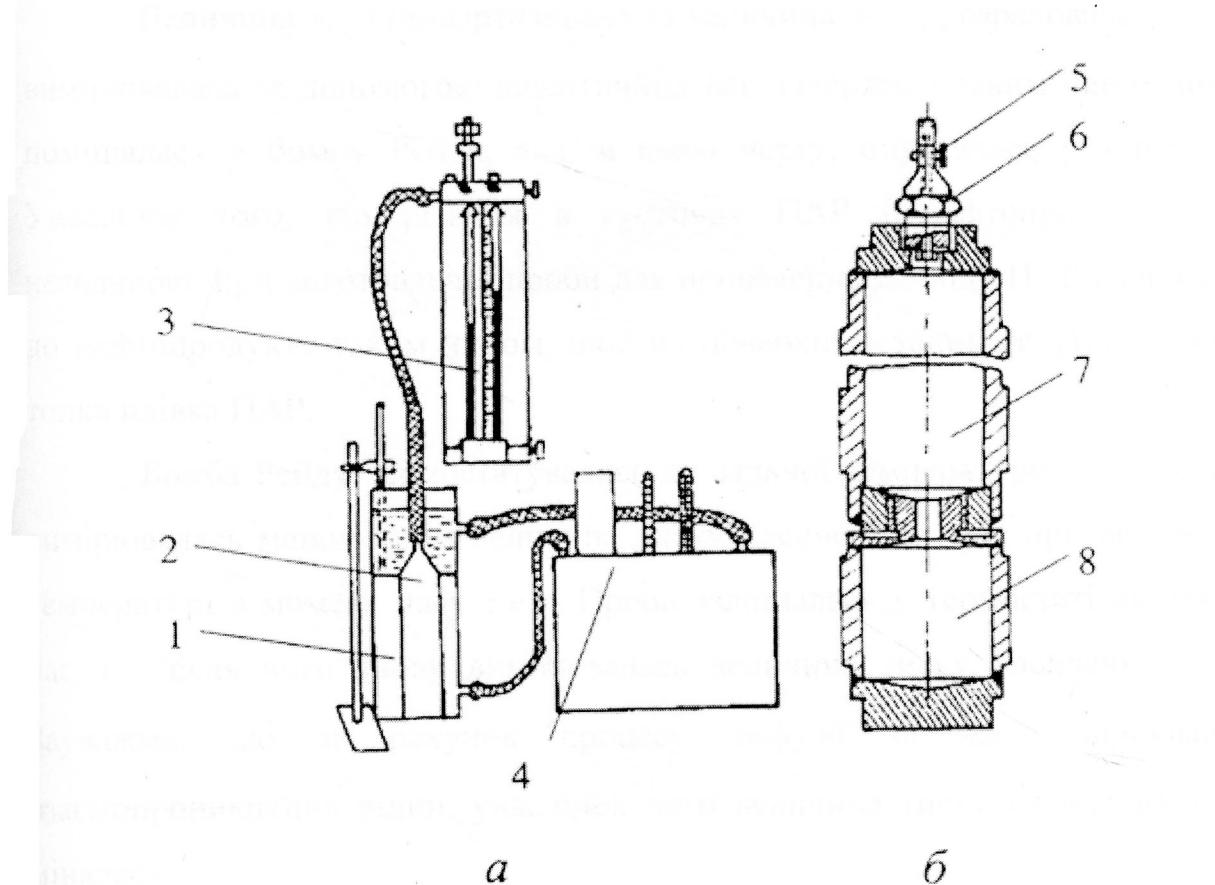
Метою проведених експериментальних досліджень є встановлення закономірностей впливу ПАР на характер процесу випаровування нафтопродуктів, зокрема на величину тиску пружних парів [48,52,92].

Дослідження проводились із допомогою стандартного приладу для визначення тиску насичених шарів нафтопродукту – бомби Рейда, схема якого наведена на рис. 4.5

Для проведення досліду готовалася проба нафтопродукту з визначеною температурою початку кипіння t_{nk} , до якого додавалася певна маса ПАР вказаного типу для досягнення певної масової концентрації, яка визначалася за формулою

$$C_m = \frac{M_{PAR}}{M_H + m_{PAR}} \quad (4.4)$$

Для досягнення вибраної концентрації ПАР у нафтопродукті на основі (4.4) визначилась необхідна маса ПАР



1 – водяна баня; 2 – металевий апарат (бомба); 3 – ртутний манометр; 4 – термостат; 5 – газовий кран; 6 – ніпель; 7 - повітряна камера; 8 – паливна камера

**Рисунок 4.5 – Прилад визначення тиску насыщених парів
(а-схема приладу; б-«бомба»)**

$$m_{_{PAP}} = m_H \frac{C_m}{1 - C_m} \quad (4.5)$$

Величина m_H стандартизована та величина $m_{_{PAP}}$, розрахована за (4.5), вимірювалась за допомогою аналітичних ваг. Одержана таким чином проба поміщалась у бомбу Рейда, яка, в свою чергу, опускалась у термостат. Унаслідок того, що різниця в густинах ПАР і нафтопродукту була незначною, при виготовленні проби для проведення досліду ПАР наливалась до нафтопродукту таким чином, щоб на поверхні останнього утворювалася тонка плівка ПАР.

Бомба Рейду термостатувалась до заданої температури t , після чого вимірювалась манометром величина тиску насичених парів при визначеній температурі в момент часу $\tau = 0$. Проба залишалась у термостаті на деякий час τ_1 , після чого знову вимірювалась величина тиску насичених парів. Зауважмо, що за рахунок процесу дифузії за час τ_1 відбувалось взаємопроникнення рідин, унаслідок чого величина тиску насичених парів мінялась.

Досліди проводились із одним типом ПАР для різних нафтопродуктів, що відрізнялися температурою початку кипіння, для різних проміжків часу дифузійного перемішування нафтопродукту і ПАР, для різних температур термостатування та при різних значеннях масової концентрації ПАР. Планування дослідів і обробка їх результатів проводилися на основі раціонального планування, експерименту, запропонованої Протодьяконовим М. М. і Тедером Р. І. [87].

Як незалежні змінні були вибрані:

- масова концентрація ПАР у суміші з нафтопродуктом ;
- температура початку кипіння чистого нафтопродукту;
- температура термостатування суміші t ;
- час дифузійного перемішування компонентів τ .

В якості функції відгуку вимірювалась величина тиску насыщених парів суміші при різних умовах P_s . Умови проведення експериментів і результати вимірювань наведені у табл. 4.9

Таким чином, для кожного з типів ПАР на основі проведених експериментів будувалась функція

$$P_s = F(C_m, t, \pi_{HK}) \quad (4.6)$$

Для побудови функції (4.6) на основі проведених дослідів будувалися графіки залежності по 5 рівнях зміни незалежних величин. У результаті проведено 25 дослідів, результати яких подано у табл. 4.9

В якості нафтопродуктів, на основі яких готувалися проби, були використані:

- автомобільний бензин А 95 із температурою початку кипіння 30°C ;
- авіаційний бензин Б 70 із температурою початку кипіння;
- дизельне пальне із температурою початку кипіння;
- сира нафта російських родовищ із температурою кипіння;
- сира нафта Долинського родовища з температурою кипіння.

На основі результатів дослідів, наведених у табл. 4.1, складаємо дві таблиці залежності функції-відгуку від двох незалежних параметрів.

Таблиця 4.9 – Умови проведення експерименту та його результати

№ дослі-ду	Масова концентрація $C_m, \%$	Температура терmostатування $t, {}^{\circ}\text{C}$	Час дифузійного перемішування $\tau, \text{год.}$	Температура початку кипіння $t_{HK}, {}^{\circ}\text{C}$	Тиск насичених парів, Pa
1	0,01	5	1	30	32832
2	0,2	10	24	30	42806
3	0,4	15	48	30	51455
4	0,6	20	72	30	60780
5	0,8	29	96	30	71105
6	0,01	10	96	42	26685
7	0,2	15	1	42	35934
8	0,4	20	24	42	43194
9	0,6	25	48	42	51779
10	0,8	5	72	42	32358
11	0,01	15	72	48	26068
12	0,2	20	96	48	33963
13	0,4	25	1	48	48909
14	0,6	5	24	48	27763
15	0,8	10	48	48	32092
16	0,01	20	48	54	25483
17	0,2	25	72	54	33328
18	0,4	5	96	54	21543
19	0,6	10	1	54	31535
20	0,8	15	24	54	32267
21	0,01	25	24	562	23742
22	0,2	5	48	62	16699
23	0,4	10	72	62	20155
24	0,6	15	96	62	22648
25	0,8	20	1	62	35605

Таблиця 4.10 – Залежність функції-відгуку від температури t_{HK} і t

$t \backslash t_{HK}^{\circ C}$	30	42	48	54	62	Σ	$F_1(t) = \Sigma / 5$
5	32,8	32,3	27,8	21,5	16,7	131,1	26,22
10	42,8	26,7	32,1	31,5	20,1	153,2	30,64
15	51,5	35,9	26,1	32,2	22,6	168,3	33,66
20	60,7	43,2	33,9	25,5	35,6	198,9	39,78
25	71,2	51,7	48,9	33,3	23,7	228,8	45,76
Σ	259	189,9	168,8	144	118,7		
$F_1(t) = \Sigma / 5$	51,8	37,96	33,76	28,8	23,74		

Таблиця 4.11 – Залежність функції-відгуку від концентрації C_m і часу

$C_m \backslash \tau, \text{ч} 00$	0,01	0,2	0,4	0,6	0,8	Σ	$F_1(t) = \Sigma / 5$
1	32,8	35,9	48,9	31,5	35,6	184,7	36,94
24	23,7	42,8	43,2	27,8	32,2	169,7	33,94
48	25,5	16,7	51,5	51,7	32,1	177,5	35,5
72	26,1	33,3	20,1	60,7	32,3	172,5	34,5
96	26,7	33,9	21,5	22,6	71,2	175,9	35,18
Σ	134,8	162,6	185,2	194,3	203,4		
$F_1(t) = \Sigma / 5$	26,96	32,52	37,04	38,85	40,68		

За даними табл. 4.10 і табл. 4.11 побудовані залежності $F_1(t), F_1(c_m), F_2(t_{nk}), F_2(t)$ від технологічних параметрів, які у вигляді графіків подано на рис. 4.6 (а,б,в,г). Як видно з графіків, найбільший вплив на величину функції-відгуку має температура початку кипіння продукту. Тому цю залежність апроксимуємо моделлю

$$P_s = Ae^{-a_{nk}} \quad (4.7)$$

Використовуючи параметри графіка, одержимо

$$A = 167.7, a = 0.025$$

Для вирівнювання функції знайдемо середнє значення аргументу

$$\ln t_{nk\gamma} = \frac{1}{5}(\ln 30 + \ln 42 + \ln 48 + \ln 54 + \ln 62);$$

$$t_{nk\gamma} = 45.8^0 C$$

$$\text{Tоді } P_s = 167.7e^{-0.025 \cdot 45.8} = 34.25 \text{ kPa.}$$

Вирівнювальні коефіцієнти знаходимо з залежності

$$k_i = \frac{P_{scp}}{P_i}$$

$$k_1 = \frac{34.25}{51.8} = 0.661; \quad k_2 = \frac{34.25}{37.96} = 0.902$$

$$k_3 = \frac{34.25}{33.76} = 1.054; \quad k_4 = \frac{34.25}{28.8} = 1.189; \quad k_5 = \frac{34.25}{23.74} = 1.443$$

Трансформуємо значення величини функції відгуку із таблиць 4.10 і 4.11, помноживши стовбці табл. 4.10. на відповідні значення вирівнювальних коефіцієнтів. У результаті отримуємо табл. 4.12 та табл. 4.13. За даними, наведеними в табл. 4.12 і табл. 4.13, побудовано графіки, представлені на рис. 4.6 (а,б,в,г). Аналіз графіків показує, що після вирівнювання впливу температури найістотніше значення має температура суміші t .

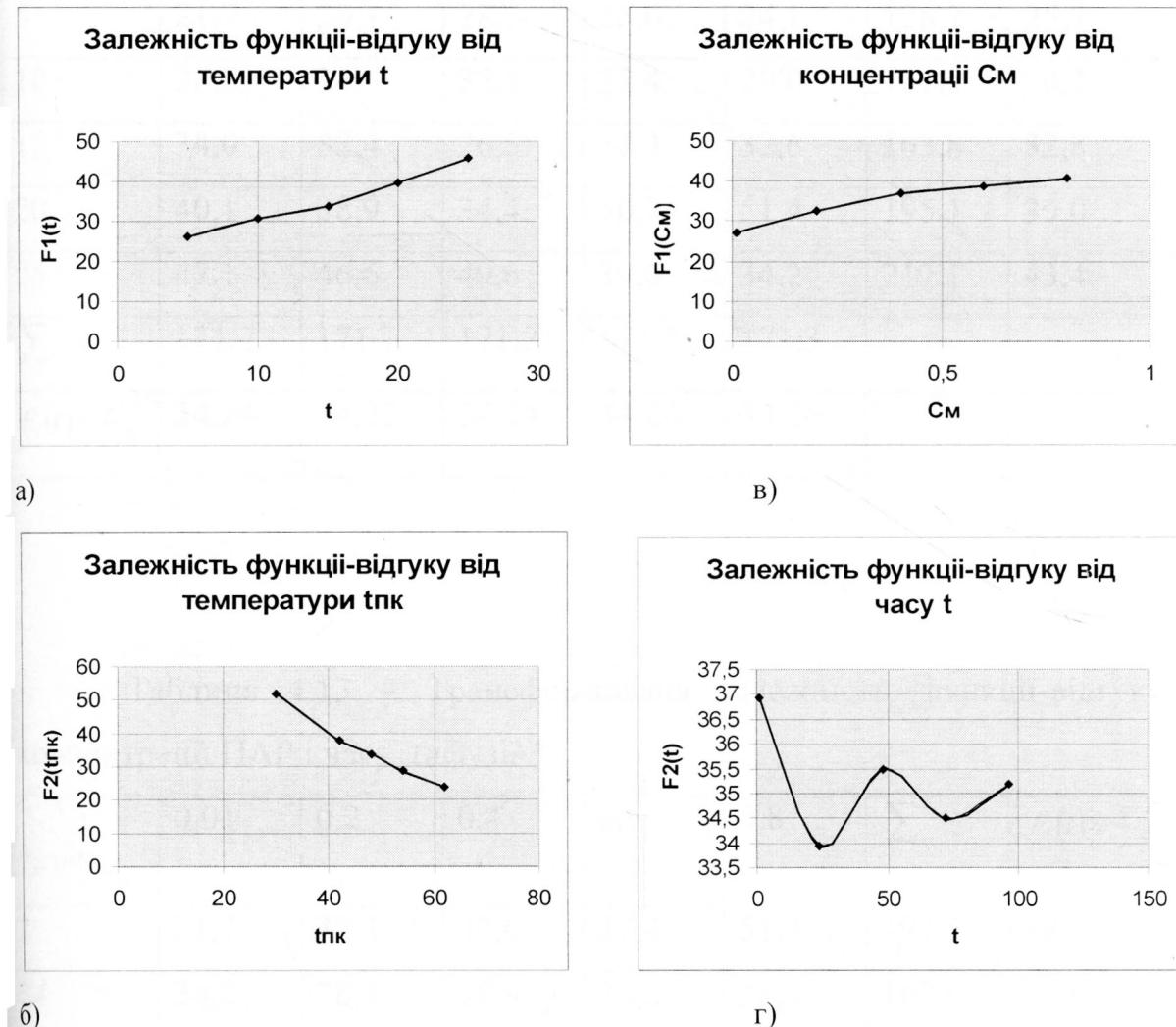


Рис. 4.6 – Залежності функції-відгуку від параметрів:

а) - температури; б) - температури початку кипіння; в) - концентрації ПАР; г) - часу дифузії.

Таблиця 4.12 – Трансформована залежність функції-відгуку від температури t_{HK} і t

$t_{HK}^{\circ C}$	30	42	48	54	62	Σ	$F_1(t) = \Sigma / 5$
t							
5	21,7	29,1	28,2	25,6	24,1	128,7	25,7
10	28,3	24	32,5	37,4	29,0	151,3	30,3
15	34,0	32,4	26,5	38,3	32,6	163,8	32,8
20	40,1	38,9	34,4	30,3	51,4	195,1	39,0
25	47,1	46,6	49,6	39,6	34,2	217,1	43,4
Σ	171,2	171,1	171,2	171,2	171,3		
$F_1(t) = \Sigma / 5$	34,24	34,22	34,24	34,24	34,26		

Таблиця 4.13 – Трансформована залежність функції-відгуку від концентрації ПАР і часу дифузії

C_m	0,01	0,2	0,4	0,6	0,8	Σ	$F_1(t) = \Sigma / 5$
$\tau, \text{год}$							
1	21,7	32,4	49,6	37,4	51,4	192,5	38,5
24	34,2	28,3	38,9	28,2	38,3	167,9	33,6
48	30,3	24,1	34,0	46,6	32,5	167,5	33,5
72	26,5	39,6	29,0	40,1	29,1	164,3	32,8
96	24,1	34,4	25,6	32,6	47,1	163,8	32,7
Σ	136,8	158,8	177,1	184,9	198,4		
$F_1(t) = \Sigma / 5$	27,4	31,8	35,4	36,9	39,7		

Для апроксимації цієї залежності виберемо модель

$$P_s = B \cdot e^{bt}. \quad (4.8)$$

Використовуючи параметри графіка, отримаємо за методом найменших квадратів

$$B = 23,2 \quad b = 0,025$$

Для вирівнювання функції знайдемо середнє значення аргументу

$$\ln t_{\gamma} = \frac{1}{5} (\ln 5 + \ln 10 + \ln 15 + \ln 20 + \ln 25); \\ t_{\gamma} = 13.02^{\circ}C$$

Тоді середнє значення функції-відгуку

$$P_{scp} = 23.2e^{0.025 \cdot 13.02} = 33.66 \text{кПа}.$$

Вирівнювальні коефіцієнти

$$k_i = \frac{P_{scp}}{P_{si}}$$

$$k_1 = \frac{33.66}{25.7} = 1.309; \quad k_2 = \frac{33.66}{30.3} = 1.111$$

$$k_3 = \frac{33.66}{32.8} = 1.026; \quad k_4 = \frac{33.66}{39} = 0.863; \quad k_5 = \frac{33.66}{43.4} = 0.776$$

Трансформуємо значення величини функції відгуку із таблиць 4.12 і 4.13, помноживши рядки табл. 4.12. на знайдені вирівнювальні коефіцієнти. Результати заносимо до табл. 4.14 і табл. 4.15. Як видно з табл. 4.15, найбільший вплив на зміну функції-відгуку має концентрація ПАР у суміші з нафтопродуктом. Для апроксимації цієї залежності вибираємо модель

$$P_s = C \cdot e^{kC_m^{\alpha}}. \quad (4.9)$$

Використовуючи значення функції з побудованого графіка, одержимо на основі методу найменших квадратів значення коефіцієнтів

$$\alpha = 0.45 \quad k = 0,65 \quad C = 20.7$$

Таблиця 4.14 – Трансформована залежність функції-відгуку від температури t_{HK} і t

$t_{HK}^{\circ C}$ t	30	42	48	54	62	Σ	$F_1(t) = \sum / 5$
5	28,4	38,1	36,9	33,5	31,5	168,4	33,68
10	31,4	26,8	36,1	41,5	32,2	168	33,6
15	34,9	33,2	27,2	39,3	33,4	168	33,6
20	34,6	33,6	29,7	26,1	44,4	168,4	33,68
25	36,5	36,0	38,5	30,7	26,5	168,2	33,64
Σ	131,2	167,7	168,4	171,17	168		
$F_1(t) = \sum / 5$	26,24	33,54	33,68	34,23	33,6		

Таблиця 4.15 – Трансформоване функції-відгуку від концентрації C_m і часу дифузії

C_m $\tau, \text{год}$	0,01	0,2	0,4	0,6	0,8	Σ	$F_1(t) = \sum / 5$
1	28,4	33,2	38,5	41,5	44,4	186,0	37,2
24	26,5	31,4	33,6	36,9	39,3	167,7	33,5
48	26,1	31,5	34,9	36,0	36,1	164,6	32,9
72	27,2	30,7	32,2	34,6	38,1	161,3	32,3
96	26,8	29,7	33,5	33,4	36,5	159,9	31,9
Σ	108,5	156,5	172,7	182,4	194,4		
$F_1(t) = \sum / 5$	21,7	31,3	34,5	36,5	38,9		

Для вирівнювання функції-відгуку знайдемо середнє значення аргументу

$$\ln C_{mcp} = \frac{1}{5}(\ln 0.01 + \ln 0.2 + \ln 0.4 + \ln 0.654 + \ln 0.8);$$

$$C_{mcp} = 0.207$$

Тоді середнє значення функції відгуку

$$P_{scp} = 20.7e^{0.65 \cdot 0.8^{0.45}} = 32.1 \text{ кПа}.$$

Вирівнювальні коефіцієнти знаходимо з залежності

$$k_i = \frac{P_{scp}}{P_i}$$

$$k_1 = \frac{32.1}{21.7} = 1.479; k_2 = \frac{32.1}{31.3} = 1.025$$

$$k_3 = \frac{32.1}{34.5} = 0.930; k_4 = \frac{32.1}{36.5} = 0.879; k_5 = \frac{32.1}{38.9} = 0.825$$

Множимо стовбці табл. 4.15. на відповідні вирівнюючі коефіцієнти й отримуємо трансформовану табл. 4.16 для визначення виду залежності функції-відгуку від часу дифузії.. За даними табл. 4.16 побудовано графік залежності. Для апроксимації цієї залежності вибираємо модель

$$P_s = D \cdot e^{\frac{C}{\tau^\beta}}. \quad (4.10)$$

Використовуючи значення функції з побудованого графіка, одержимо на основі методу найменших квадратів значення коефіцієнтів

$$C = 0.65 \quad \beta = 0.11 \quad D = 21.6$$

Тоді шукана залежність має вигляд

$$P_s = 21.6 \cdot e^{\frac{0.65}{\tau^{0.11}}}$$

Загальний вигляд багатофакторної залежності тиску насичених парів нафтопродуктів у суміші з поверхнево-активними речовинами (у даному випадку Стеарокс-6)

$$P_s = K e^{-0.025(t_{HK}-t) + 0.65 \frac{C m^{0.45}}{\tau^{0.11}}} \quad (4.11)$$

Таблиця 4.16 – Трансформована таблиця для визначення залежності функції-відгуку від часу дифузії

$\frac{C_m}{\tau, \text{год}}$	0,01	0,2	0,4	0,6	0,8	\sum	$F_1(t) = \sum / 5$
1	42,0	34,0	35,8	36,5	36,6	184,9	37,0
24	39,2	32,2	31,3	32,4	32,4	167,5	33,5
48	38,6	32,3	32,5	31,7	29,8	164,9	33,0
72	40,2	31,5	30,0	30,4	31,4	163,5	32,7
96	39,6	30,4	31,1	29,4	30,1	160,6	32,2
\sum	199.6	159.6	160.7	160.4	160.3		
$F_1(t) = \sum / 5$	39.92	31.92	32.14	32.08	32.06		

Значення коефіцієнта K у формулі знайдемо, записавши (4.11) для результатів кожного з дослідів, приведених у табл. 4.9. Таким чином отримаємо 25 значень даного коефіцієнта.

Його середньоарифметичне значення

$$K_{cp} = \frac{1}{25} \sum_{i=1}^{25} K_i = 56.5 \text{кПа}$$

Тоді ... формула (4.11) матиме вигляд

$$P_s = 56.5 \exp \left[-0.025(t_{nk} - t) + 0.65 \frac{Cm^{0.45}}{\tau^{0.11}} \right] \quad (4.12)$$

Одержанна емпірична формула може бути використана для визначення тиску насичених парів чистого нафтопродукту в залежності від температури, якщо прийняти $C_m = 0$.

4.4 Дослідно-промислове випробування методу

Дослідно-промислові випробування методу проводились із метою оцінки ефективності застосування розчинів піноутворюючих ПАР для скорочення викидів наftових випаровувань із резервуарів.

Випробування проводились в умовах товарного парку Надвірнянського НПЗ. Було вибрано 2 резервуари ПВС-500, що знаходились в одному обвалуванні. Об'єм кожного резервуара складав $48,66 \text{ м}^3$, діаметр – 22,8 м, висота – 11,9 м, висота конуса даху 0,57 м. Резервуари обладнані дихальним клапаном НДКМ-250. Навантаження клапана по тиску складає 1962 Па, по вакууму – 195 Па.

24.08.08 о 1 год. 20 хв. за київським часом почалося паралельне заповнення резервуарів із ємності зливної естакади насосом НМП-180070 наftою. Заповнення закінчилося 24.08.08 о 6 год. 45 хв. Характеристика наftи:

- температура початку кипіння $t_{HP} = 55^\circ C$;
- температура наftи, яка поступила $t_p = 20.5^\circ C$;
- тиск насичення парів наftи $p_s^{38} = 37519 \text{ Па}$;
- густина наftи при $t = 20^\circ C \rho_{20} = 853 \text{ кг/м}^3$;
- газ у наftі відсутній.

Після закінчення заповнення резервуари з'єднувались між собою для того, щоб у кожному з них установився одинаковий рівень наftи, який склав 9,72 м. При цьому об'єм газового простору в кожному резервуарі склав

$$V_r = \frac{\pi D^2}{4} \left[(H - h) + \frac{hk}{3} \right] = \frac{3.14 * 22.8^2}{4} \left[11.9 - 9.72 + \frac{0.57}{3} \right] = 967.627 \text{ м}^3$$

Один із резервуарів вважався еталонним, і у ньому ніяких заходів по скороченню викидів парів наftи не передбачалось. Другий резервуар вважався дослідним і його паровий простір був заповнений аерованим водним розчином піноутворюючого ПАР Стеарокс-6 за допомогою

піногенераторної установки пожежної машини. Кількість води і реагента вибиралась із умов

$$V_{\Gamma} = k \left(\frac{M_e}{\rho_e} + \frac{m_{PAP}}{\rho_{PAP}} \right); c = \frac{m_{PAP}}{M_e + m_{PAP}},$$

де $k \pm 8.9$ - кратність піни, $c \pm 5\%$ - концентрація ПАР у водному розчині (масова).

Із приведеної системи визначено масу твердої води для розчинення IAP і потрібну масу ПАР Стеарокс-6.

$$M_e = \frac{V_{\Gamma}}{k \left(\frac{1}{\rho_e} + \frac{c}{\rho_{PAP}(1-c)} \right)} = \frac{967,927}{28,9 \left(\frac{1}{1000} + \frac{0,05}{980(1-0,05)} \right)} = 31447 \text{ кг}.$$

$$m_{PAP} = \frac{M_e * c}{1 - c} = \frac{31447 * 0,05}{1 - 0,05} = 1655 \text{ кг}$$

В процесі проведення експерименту вимірювалися барометричний тиск і температура атмосферного повітря за допомогою самопишучого термобарографа, встановленого на даху дослідного резервуара. Крім того, паралельно до дихального клапана був встановлений водяний U-подібний манометр, який дозволив передбачити момент початку «видиху» з резервуару, тобто момент відкриття дихального клапану по тиску. Якщо перепад тисків по U-подібному манометру наблизався до тиску спрацювання дихального клапана (1962 Па), то це означало наближення «видиху». В момент початку «видиху» відбиралася проба газоповітряної суміші з газового простору резервуара в точці під'єднання дихального клапана. Проба відбиралася шляхом витиснення води з ємності газоповітряною сумішшю. Проба здавалась в хімфізлабораторію НПЗ з метою визначення концентрації парів бензину в газоповітряній суміші. При цьому фракційний склад суміші не визначався, а тільки вміст парів нафтопродукту в g/m^3 . Методика визначення концентрації парів нафтопродукту в відібраний пробі була стандартною і загальноприйнятою для НПЗ, тому тут вона не розглядається. Відбір проб з обох резервуарів проводився одночасно, починаючи з моменту відкриття дихального клапана і на протязі всього періоду «видиху» із

Таблиця 4.17 – Результати дослідно-промислового експерименту

Дата		24.08.09				25.08.09			
Час, год./хв.									
Барометричний тиск, мм рт.ст.									
Концентрація па-рів п/п Г/м ³	Еталон. ре-зервуар	Дослід. Ре-зервуар	Різниця концен-трації, Г/м ³	380	380	21	736	10.07	
420	-	420		420	420	23	736	11.07	
450	-	450		450	450	25	727	12.07	
470	-	470		470	470	26	737	13.07	
490	-	490		490	490	26	737	14.07	
490	--	490		490	490	25	736	15.07	
490	-	490		490	490	26	736	16.07	
490	-	490		490	490	24	736	17.07	
430	-	430		430	430	22	736	18.07	
390	-	370		370	370	20	737	19.07	
350	-	350		350	350	17	737	20.07	
360	-	360		360	360	19	734	10.19	
390	-	390		390	390	22	734	11.19	
440	-	440		440	440	24	734	12.19	
450	-	450		450	450	25	735	13.19	
450	-	450		450	450	26	735	14.19	
450	10	460		460	460	25	735	15.19	
430	10	440		440	440	25	735	16.19	
432	8	440		440	440	24	736	17.19	
392	8	400		400	400	22	736	18.18	
363	7	370		370	370	20	736	19.19	
354	6	360		360	360	18	736	20.19	

Продовження таблиці 4.17

Дата	26.08.09			
Час, год./хв.				
Барометричний тиск, мм рт.ст.				
Температура, $^{\circ}\text{C}$				
Концентрація парів п/п $\text{г}/\text{м}^3$	10.33	350		
Різниця концентрації, $\text{г}/\text{м}^3$	737	11.33	380	18
	737	12.33	410	22
	737	13.33	430	25
	738	14.33	440	25
	738	15.33	450	25
	738	16.33	450	25
	739	17.33	400	24
	739	18.33	380	22
	738	19.33	350	20
	738	20.33	380	19
	738	10.11	390	19
	736	11.11	410	20
	736	12.11	420	23
	736	13.11	450	24
	737	14.11	450	25
	737	15.11	450	26
	737	16.11	440	23
	737	17.11	430	24
	737	18.11	420	22
	737	19.11	380	20
	738	20.11	350	19
	738	6	360	17
				27.08.09

інтервалом в одну годину. Результати досліджень по кожному з резервуарів подані в таблиці 4.17. Експеримент продовжувався до тих пір, поки параметри випаровування (концентрація парів нафтопродукту в газоповітряній суміші і тривалість видиху) для еталонного і дослідного резервуарів вирівнялися.

Результати експерименту свідчать про те, що наявність ПАР в аерованому виді в повітряному просторі дослідного резервуару в першому «видиху» повністю захищає нафту від випаровування, тобто в продуктах видиху парів нафтопродукту не виявлено. Такий захист поверхні нафти від випаровування тривав практично до 15.00 год. на 25.08.08, тобто 32 години

Це свідчить про наявність аерованого розчину ПАР на протязі приблизно двох періодів стійкості піни (блізько трьох з половиною годин) і подальшого захисту поверхні нафти шаром Стеароксу-6. З плином часу

відбувається дифузія ПАР в нафті, що поступово зменшує захист від випаровування. На кінець четвертого видиху випаровування в еталонному і дослідному резервуарах стають ідентичними

4.5. Висновки до розділу 4.

Проведення лабораторних дослідів, обробка результатів промислових експериментів та теоретичні дослідження дали змогу зробити наступне:

1. Проаналізовано існуючі методи зменшення інтенсивності викидів парів нафтопродуктів із резервуарів у атмосферу. Запропонувати для зменшення випаровування з резервуарів періодично заповнювати газоповітряний простір резервуару піною, одержаною шляхом аерації водних розчинів піноутворюючих поверхнево-активних речовин (ПАР) на нафтовій основі

2. Проведено лабораторні дослідження властивостей піноактивних речовин, які показали, що найкращою піноутворюючою здатністю та піностійкістю володіє Стеарокс-6, тому його можна застосовувати в нафтопереробній промисловості для зменшення викидів нафти і продуктів нафтопереробки в навколишнє середовище.

3. Проведено експериментальні дослідження впливу ПАР на випаровування продуктів. Метою проведених експериментальних досліджень є встановлення закономірностей впливу ПАР на характер процесу випаровування нафтопродуктів, зокрема на величину тиску пружних парів

4. Розроблено методику і проведено дослідно-промислове випробування методу із метою оцінки ефективності застосування розчинів піноутворюючих ПАР для зменшення викидів нафтових випаровувань із резервуарів.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

На основі проведених досліджень вирішено важливу наукову задачу, яка полягає у встановленні факторів шкідливого впливу технологічних параметрів переробки нафти на нафтопереробних підприємствах на довкілля, закономірностей формування ареалів забруднення під час переробки нафти в нафтопродукти й їх зберіганні в резервуарах, розробці шляхів зменшення збитків, і відображається в наступних наукових положеннях і висновках.

1. Проведено дослідження та зроблено аналіз причин викидів забруднень атмосферу від нафти, нафтопродуктів і від згорання природного газу, що використовується на нафтопереробних підприємствах.
2. Проведено аналітичні дослідження викидів у атмосферу з резервуарів по зберіганню нафтопродуктів і при спалюванні газу під час переробки нафти. На основі цього створено математичну модель, яка побудована в трьохвимірному просторі з урахуванням не стаціонарності процесу дифузії викидів в атмосферу.
3. Установлено закономірності розсіювання викидів парів нафти і нафтопродуктів на довкілля на основі реалізації запропонованої математичної моделі. Показано, що процес дифузії викидів у атмосферу носить коливальний характер, а ареал забруднення в просторі має форму концентричних кіл для стаціонарних процесів. Аналіз розрахунків показує, що період коливань зростає від 8-9 год. для першого коливання до 40-46 год. для четвертого, при цьому амплітуда зменшується від 22-30% до 1-1,5% від середнього значення концентрації. Зростання хмари забруднень є згасаючим процесом навіть при періодичній дії джерел викидів. Протягом 40-46 год. спостерігається активний ріст хмари, а в загальному збільшення її в атмосфері змінюється на 1-2%
4. Запропоновано і проведено дослідно-промислове випробування методу з метою оцінки ефективності застосування розчинів піноутоворюючих ПАР для зменшення викидів наftових випаровувань із резервуарів. Запропоновано метод скорочення викидів у атмосферу парів нафтопродуктів,

який базується на застосуванні поверхнево-активних піноутворюючих речовин. Проведено дослідження з метою вибору типу ПАР і параметрів розчинів.

Промислові випробування запропонованого методу, які проводились у резервуарних парках Надвірнянського і Дрогобицького нафтопереробних заводів, підтвердили теоретичні й експериментальні наукові положення запропонованого методу та доказали їх життєздатність. Економічний ефект від впровадження даного методу на нафтопереробних заводах склав 67 тисяч грн.

Література

1. Адамсон А. Физическая химия поверхностей/ А. Адамсон. – М.: Мир, 1979. – 568с.
2. Акименко В. В. Математическое моделирование экологического состояния пограничного слоя атмосферы региона/ В. В. Акименко. – Луганск, 1998. – 188с.
3. Алоян А. Е. Негидростатические численные модели локальных атмосферных процессов/ Алоян А. Е. – Новосибирск, ВЦ СО АН СССР, 1984.– 41 с. - (Препринт/ АН СССР, ВЦ СО. Новосибирск, 1984-451)
4. Алоян А. Е. О параметризации энергии турбулентности в приземном слое атмосферы/ А. Е. Алоян, В. В. Абраменко// Математическое моделирование динамики атмосферы и океана/ Г. И. Марчук (ред.): ч. II: Математические модели атмосферных движений. – Новосибирск: ВЦ СО АН СССР, 1980. – С. 85-94
5. Алоян А. Е. Численная модель турбулентного пограничного слоя/ А. Е.Алоян, В. В. Абраменко. – Новосибирск, ВЦ СО АН СССР, 1982. – 19с. – (Препринт, АН СССР, Новосибирск: ВЦ СО, 1982-362)
6. Андерсон Д. Вычислительная гидромеханика и теплообмен. т. 1,2/ Д. Андерсон, Дж. Таннхилл, Р. Плетчер. – М.: Мир, 1990. – 726с.
7. Анциферов В. С. Уравнения математической физики. Ч.1/ В. С. Анциферов. – М.: Надра, 1975. -190с
8. Бахвалов Н. С. Численные методы/ Н. С. Бахвалов, Н. П. Жидков, Г. М. Кобельков. – М.: Наука, 1987. – 598с.
9. Безуглая Э. Ю. Метеорологический потенциал и климатические особенности загрязнения воздуха городов/ Э. Ю. Безуглая. – Л.: Гидрометеоиздат, 1990. – 234с.
- 10.Безуглая Э. Ю. Чем дышит промышленный город/ Э. Ю. Безуглая, Г. П. Растиоргуева. – Л.: Гидрометеоиздат, 1991. – 255с.
- 11.Белов П. Н. Траекторная модель переноса загрязнения в пограничном слое атмосферы/ П. Н. Белов, З. Л. Карлова// Метеорология и гидрология. – 1990.– № 12. – С. 14-19.
- 12.Беркович Л. В. Метод расчета и количественные оценки параметров трехмерной структуры ПСА по данным ПГЭП/ Л. В. Беркович, О. В. Фоскарино, В. А. Шнайдман// Метрология и гидрология. – 1987. – №11.– С. 57-68
- 13.Берлянд М. Е. Прогноз и регулирование загрязнения атмосферы/ М. Е. Берлянд. – Л.: Гидрометеоиздат, 1985. – 270с.
- 14.Берлянд М. Е. Современные проблемы атмосферной диффузии и загрязнения атмосферы/ М. Е. Берлянд – Л.: Гидрометеоиздат, 1975. – 448с.
- 15.Болонний В. Т. Аналіз ефективності застосування вузлів обліку нафти на кінцевих пунктах магістральних газопроводів/ В. Т. Болонний, М. А. Наследникова// Міжнародна науково-технічна конференція молодих вчених «Техніка і прогресивні технології в нафтогазовій інженерії» Тези

- доповідей. –Івано-Франківськ: Національний технічний університет нафти і газу, 2008. –С.32.
- 16.Бондаренко В. Н. Структура нижнего слоя атмосферы и расчет профилей метеорологических величин/В. Н. Бондаренко, Л. А. Лунина, Л. М. Хачатурова// Метеорология и гидрология. – 1987. - №10. – С 39-46
 - 17.Борзилов В. А. Комплекс математических моделей атмосферного распределения и осаждения радионуклидов/ В. А. Борзилов, В. А. Шнайдман// Радиационные аспекты Чернобыльской аварии: труды Всесоюзной конференции. – Обнинск, 1988. – С. 52-64
 - 18.Боровская Г. А. Количественные характеристики внутренней структуры АПС для типовых синоптических ситуаций на Украине. – Диссертация на соиск. уч. степени к.г.н. – Одесса, 1992. – 210 с.
 - 19.Бородулин А. И. Моделирование турбулентной диффузии примесей при малых временах распространения/ А. И. Бородулин. – Изв. РАН (серия: физика атмосферы океана). – 1993. – т. 29. №2. – С. 208-212.
 - 20.Бородулин А. И. Об описании турбулентной диффузии с конечной скоростью распространения/ А. И. Бородулин// Метеорология и гидрология. – 1993. - №4. – С. 28-35.
 - 21.Боронина А. В. Влияние плотностей стратификации подземных вод на процессы субвертикальной миграции рассолов/А. В. Боронина // Полезные ископаемые России и их освоение: материалы ежегодной научной конференция молодых ученых. – (Санкт-Петербург, 23-24 апреля 1997) – СПб, 1997. – С.6
 - 22.Братсерт У. Х. Испарение в атмосферу. Теория, история, приложения/ У. Х. Братсерт. – Л.: Гидрометеоиздат, 1985. – 351 с.
 - 23.Брегман А. А. Чувствительность модели мезомасштабной конвекции к начальным данным/А. А. Брегман, Н. Ф. Вельтищев, А. А. Желнин// – Метеорология и гидрология. – 1989. – № 7. – С. 5-11
 - 24.Бузингер Дж. А. Основные понятия и уравнения/ Дж. А. Бузингер// Атмосферная турбулентность и моделирование распространения примесей.– Л.: Гидрометеоиздат, 1985. – С. 18-50.
 - 25.Булеев Н. И. Пространственная модель турбулентного обмена/ Н. И. Булеев. – М.: Наука, 1989. – 341 с.
 - 26.Бызова Н. Л. Классификация профилей вектора ветра в нижнем 300-метровом слое/ Н. Л. Бызова, В. А. Шнайдман// Метеорология и гидрология.– 1985. – № 12. – С. 10-18.
 - 27.Бызова Н. Л. О граничном условии в задачах рассеяния примеси в атмосфере/ Н. Л. Бызова, И. А. Кротова, Г. А. Натанзон// Метеорология и гидрология. – 1980. – №2. – С. 14-20.
 - 28.Бызова Н. Л. Рассеяние примеси в пограничном слое атмосферы/ Н. Л. Бызова. – М.: Гидрометеоиздат, 1974. – 191 с.
 - 29.Бызова Н. Л. Турбулентность в пограничном слое атмосферы/ Н. Л. Бызова, В. Н. Иванов, Е. К. Гаргер. – Л: Гидрометеоиздат, 1988. – 262 с.

30. Бызова Н. Л. Экспериментальные исследования атмосферной диффузии и расчета рассеяния примеси/Н. Л. Бызова, Е. К. Гаргер, В. Н. Иванов. – Л: Гидрометеоиздат, 1991. – 277 с.
31. Вабищев П. Н. Монотонные разностные схемы для задач конвекции/диффузии/П. Н. Вабищев// Дифференциальные уравнения. – 1994 – т. 30. №3. – С. 503-513.
32. Волков Е. А. Численные методы/ Е. А. Волков. – М.: Наука, 1987. – 248 с.
33. Волощук В. М. Аналитическая модель вертикальной турбулентной диффузии газоаэрозольной примеси в пограничном слое атмосферы/ В. М. Волощук// Известия РАН (серия: Физика атмосферы и океана). – 1992. - №3. – С. 5-15
34. Волощук В. М. Аналитическая модель процесса регионального загрязнения местности аэрозольным источником/В. М. Волощук// Метеорология и гидрология. – 1991. - №8. – С. 24-35
35. Волощук В. М. Аналитические решения диффузийной задачи для атмосферной примеси/В. М. Волощук// Метеорология и гидрология. – 1991. – №11. – С. 5-15.
36. Волощук В. М. О параметризации вертикального турбулентного обмена для пограничного слоя атмосферы/В. М. Волощук, А. И. Куприянчук, Т. Д. Лев// Метеорология и гидрология. – 1992. - № 3. – С. 5-15.
37. Волощук В. М. Основные закономерности регионального загрязнения местности аэрозольным источником/ В. М. Волощук, А. И. Куприянчук, Л. В. Младинска// Метеорология и гидрология. – 1992. - №5. – С. 25-37.
38. Волощук В. М. Поперечное рассеяние газоаэрозольной примеси в пограничном слое атмосферы/В. М. Волощук// Известия РАН (серия: Физика атмосферы и океан). – 1993. – т. 28. -№4. – С. 370-377.
39. Волощук В. М. Теорія регіонального забруднення приземної атмосфери та місцевості потужним газоаерозольним викидом/ В. М. Волощук// Доповіді АН України. – 1994. - №2. – С. 114-119.
40. Галеев К. А. Тяжелые металлы и среда обитания в районах добычи нефти Республики Татарстан/ К. А. Галлев, А. К. галеев// Нефтяное хозяйство. – 2007. - №2. – С. 126-127.
41. Галицын А.С. Интегральные преобразования и специальные функции в задачах теплопроводности/А. С. Галицын, А. Н. Жуковский. – К.: Наукова думка, 1976. – 282с.
42. Гандин Л. С. Статистические методы интерпретации метеорологических данных/Л. С. Гандин, Р. Л. Каган. – Л.: Гидрометеоиздат, 1976. – 359с.
43. Годунов С. К. Разностные схемы/ С. К. Годунов, В. С. Рябенький. – М.: Наука, 1977. – 439с.
44. Горелик Д. О. Мониторинг загрязнения атмосферы и источников выбросов/ Д. О. Горелик, Л. А. Конопелько. – М.: Изд-во стандартов, 1992. – 432 с.
45. Гусейнзаде М. А. Методы математической статистики в нефтяной и газовой промышленности/М. А. Гусейнзаде, Э. В. Калинина, М. Б. Добкина.– М.: Недра, 1979. – 340с.

- 46.Гутер Р. С. Элементы численного анализа и математической обработки результатов опыта/ Р. С. Гутер, Б. В. Овчинский. – М.: Наука, 1970. – 432 с.
- 47.Дегтярев А. И. Использование метода вложенных сеток в трехмерной модели атмосферы/А. И. Дегтярев// Метеорология и гидрология. – 1980. - №11. – С. 27-33.
- 48.Джонсон Н. Статистика и планирование эксперимента в технике и науке. Методы планирования эксперимента/Н. Джонсон, Ф. Лион. – М.: Мир, 1981.– 516 с.
- 49.Дымников В. П. Расчет приземной температуры из уравнения переноса в задачах прогноза погоды, экологии и теории климата/В. П. Дымников, А. В. Ишимова// Известия АН СССР (серия: Физика атмосферы и океана). – 1990. – т. 26. №12. – С. 1237-1247.
- 50.Екологія гірничого виробництва: навчальний посібник/[Бересевич П. В., Вілкун Ю. Г., Голишев О. М. та ін.]. – Кривий Ріг: Мінерал, 1998. – 152 с.
- 51.Жилейкин Я. М. Об оптимальном вычислении интегралов от быстроосциллирующих функций/ Я. М. Жилейкин, А. В. Кукарин// ЖВМ и МФ. – 1978. – т.18. № 2. – С. 294-301.
- 52.Закупра В. А. Методы анализа и контроля в производстве поверхностноактивных веществ/ В. А. Закупра. – М.: Химия,1977. – 366 с.
- 53.Защита атмосферы от промышленных загрязнений //Справочник/ (русск. перевод). – М.: Металлургия, 1988. – С 428 – 476.
- 54.Израэль Ю. А. Региональная модель переноса и выпадения радионуклидов от аварии на Чернобыльской АЭС/ Ю. А. Израэль, В. Н. Петров, Д. А. Северов// Метеорология и гидрология. – 1989. - №6. – С. 5-14.
- 55.Израэль Ю. А. Экология и контроль состояния природной среды/ Ю. А. Израэль. – Л.: Гидрометеоиздат, 1984. – 560 с.
- 56.Илюшин Б. Б. Моделирование распространения примеси в конвективном пограничном слое атмосферы/ Б. Б. Илюшин, А. Ф. Курбацкий// Известия РАН (серия: Физика атмосферы и океана). – 1996. – т. 32.- №3. – С. 307-322.
- 57.Казаков А. Л. О параметризации приземного слоя атмосферы и деятельного слоя почвы/ А. Л. Казаков, Г. Л. Лазриев. – Изв. АН СССР, ФАО. – 1978. – т. 14. – С. 257-265.
- 58.Калиткин Н. Н. Численные методы/ Н. Н. Калиткин. – М.: Наука, 1978. – 512 с.
59. Корн Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров/ Г. Корн, Т. Корн. - М.: Наука, 1970.-720с.
- 60.Коршак А. А. Улавливание паров бензина при его приеме в резервуары автозаправной станции/ А. А. Коршак, А. В. Кулагин// Трубопроводный транспорт нефти и газа: материалы Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов, молодых ученых и специалистов, посвященной 50-летию с начала подготовки специалистов трубопроводного транспорта в УНИ-УГНТУ (Уфа, 2002). – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2002. – С 128-132.

61. Коршак С. А. Новые критериальные уравнения массотдачи от поверхности бензина в резервуарах типа РВС/ С. А. Коршак, А. А. Коршак, А. М. Шаммазов// Нефть и газ [Известия вузов]. – 2003. – № 5. – С. 73-76.
62. Курбацкий А. Ф. Моделирование нелокального турбулентного переноса импульса и тепла/ А. Ф. Курбацкий. – Новосибирск: СО Наука, 1988. – 240 с.
63. Ландау Л. Д. Теоретическая физика/ Л. Д. Ландау, Е. М. Лившиц – М.: Наука, 1986.
64. Лозанская И. Н. Экология и охрана биосферы при химическом загрязнении/ И. Н. Лозанская, Д. С. Орлов, Л. К. Садовникова. – М.: Высшая школа, 1998. – 288 с.
65. Лыков А. В. Теория теплопроводности/ А. В. Лыков. – М.: Высшая школа, 1967.-599с.
66. Лэм Р. Дж. Диффузия в ковективном пограничном слое/ Р. Дж. Рэм// Атомсферная турбулентность и моделирование распространения примесей. – Л.: Гидрометеоиздат, 1985. – С. 173-238.
67. Магазенков Л. Н. Об интегрировании уравнений динамики атмосферы на длительные сроки с использованием вложенных сеток/ Л. Н. Магазенков, Д. А. Шейнин// Труды ГТО. – 1982. – вып. 459 – С. 92-111.
68. Мартыненко В. С. Операционное исчисление/ В. С. Мартыненко. – К.: Вища школа, 1973.-268с.
69. Марчук Г. И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды/ Г. И. Марчук. – М.: Наука, 1982. – 319 с.
70. Марчук Г. И. Методы вычислительной математики/ Г. И. Марчук – М.: Наука, 1989. – 608с.
71. Марчук Г. И. Численное решение задач динамики атмосферы и океана/ Г. И. Марчук. – Л.: Гидрометеоиздат, 1974. - 286 с.
72. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий: ОНД-86. – Л.: Гидрометеоиздат, 1987. – 126 с. – (Общесоюзный нормативный документ)
73. Моделирование загрязнения атмосферы выбросами из низких и холодных источников/[Берлянд М. Е., Генихович Е. Л., Оникул Р. И.]// Метеорология и гидрология. – 1990. - №5. – С. 5-17
74. Монин А. С. О граничном условии на поверхности земли для диффундирующей примеси/ А. С. Монин// Атмосферная диффузия и загрязнение воздуха. – М.: ИЛ, 1962 – С.12-14
75. Монин А. С. Статистическая гидромеханика. Механика турбулентности. Ч.1/ А. С. Монин, А. М. Ялгол. – И.: Наука, 1965.
76. Наследникова М. А. Дифузія викидів парів бензину в атмосферу/ М. А. Наследникова, Д. Ф. Тимків, Т. Ф. Тутко// Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. – 2007. - №1(22). – С. 120-124.
77. Наследникова М. А. Експериментальні дослідження властивостей піноактивних речовин (ПАР)/ М. А. Наследникова // Науковий вісник. – 2008. – №2(18). –С. 93-95.

78. Наследникова М. А. Моделювання процесу фільтрації нафтопродуктів в пористому середовищі/ М. А. Наследникова, Т. Ф. Тутко// Нафта і газова промисловість. – 2006. - №5. – С. 44-47
79. Наследникова М. А. Розробка математичної моделі прогнозування величин викидів забруднюючих речовин на підприємствах нафтопереробної галузі/ М. А. Наследникова, Д. Ф. Тимків, Р. Г. Онацко//Науковий вісник. – 2008. - №2 (). – С. 89-93.
80. Наследникова М. А. Умови екологічної безпеки в регіонах нафтотранспортних підприємств/ М. А. Наследникова// Ресурсозберігаючі технології в нафтогазовій енергетиці [ІФНТУНГ-40]: тези Міжнародної науково-технічної конференції, (Івано-Франківськ, 16-20 квітня 2007 р). – Івано-Франківськ: Факел, 2007. – С. 297.
81. Об усовершенствовании методов расчета загрязнения атмосферы/[Берлянд М. Е., Генихович Е. Л., Оникул Р. И. и др.]// Тр. Гто. - вип. 511. - 1987.
82. Орtega Дж. Введение в численные методы решения дифференциальных уравнений/ Дж. Орtega, У. Пул. – М.: Наука, 1986. – 288 с.
83. Оценка экологического состояния компонентов природной среды на территории трассы протяженного трубопровода/ [Машошина А. А., Меркушина Г. А., Зараев В. Ф. и др.]// Нефтяное хозяйство. – 2007. - №5. – С. 124-128.
84. Пат. 2174634 Россия, МПК7F19K17/19,17/ Клапан-огнепреградитель для резервуаров с легкоиспаряющимися жидкостями/ Шарапатов А. М., Канашин В. П., Сафонов В. Я., Малинин Н. Н.; заявитель . - №99121414106; заяв. 12.10.99; опубл. 10.10.01. Рус.
85. Пекелис Е. М. К вопросу о решении задачи Коши в конечных разностях. – Труды Гидромедцентра СССР/ Е. М. Пекелис. – 1974. – вып. 151. – С. 43-64.
86. Пененко В. В. Методы численного моделирования атмосферных процессов/ В. В. Пененко. – Л.: Госметеоиздат, 1981. – 352 с.
87. Протодьяконов М. М., Тедер Р. И. Методика рационального планирования эксперимента// М. М. Протодьяконов, Р. И. Тедер// М.: Наука, 1970. – 75 с.
88. Рвачев В. Л. О приближенном вычислении кратных интегралов от осциллирующих функций/ В. Л. Рвачев, А. И. Стрельченко, В. П. вержиковский// Доп. АН УРСР. (серия А). – 1974. – С. 131-134.
89. Савельева Г. А. Вычисление интегралов от быстроосциллирующих функций/ Г. А. Савельев// Алгол-процедуры. – 1974. – вып. 12. – С. 5-7.
90. Самарский А. А. Теория разностных схем/ А. А. Самарский. – М.: Наука, 1989. – 616 с.
91. Сандстрем А. Вычислительные проблемы моделирования в ограниченной области/ А. Сандстрем, Т. Эльвиус// Численные методы, используемые в атмосферных моделях. – Л.: Гидрометеоиздат, 1982. – С. 274-301.
92. Сравнение экспериментальных и расчетных данных о приземной концентрации примеси в атмосфере/ [Елохин А. П., Талерко Н. Н., Буйков М. В. и др.]// Метрология и гидрология. – 1996. - №2. – С. 41-47.

- 93.Степаненко С. Н. Динамика турбулентно-циркуляционных и диффузионных процессов в нижнем слое атмосферы над Украиной/ С. Н. Степаненко. –Одесса: Маяк, 1998. – 286 с.
- 94.Степаненко С. Н. Сопоставление результатов обобщения экспериментальных данных и расчетов по трехпараметрической модели планетарного пограничного слоя атмосферы/С. Н. Степаненко// Труды ГТО.– 1983. – . вып. 481. – С. 144-151
т.6: Гидродинамика. – 1986. – 733 с.
- 95.Тарасов А. В. Анализ опасностей при эксплуатации резервуаров стабильного конденсата и светлых нефтепродуктов/А. В. Тарасов// Проблемы экологии газовой промышленности/ ОАО «Газпром». – 2000. - №3. – С. 20-27. – (научно-технический сборник)
- 96.Тарнопольский А. Г. Моделирование пограничного слоя атмосферы для городской застройки и пригородной зоны/А Г. Тарнопольский, В. А. Шнайдман// Метеорология и гидрология. – 1991. - №5. – С. 48-56.
- 97.Тарнопольский А. Г. О проблеме трансграничного переноса и турбулентного обмена загрязняющих веществ/ А. Г. Тарнопольский, В. А. Шнайдман// Докл. АН Украины. – 1995. – №2. – С. 127-132.
- 98.Тимків Д. Ф. Визначення та прогнозування величин викидів забруднюючих речовин у процесі роботи газоперекачувальних агрегатів/ Д. Ф. Тимків, П. А. Ягода, М. А. Наследнікова// Методи та прилади контролю якості. – 2006. - №17. – С. 67-71.
- 99.Тихоморов В. К. Пены. Теория и практика их получения и разрушения/ В. К. Тихомиров. – М.: Химия, 1975. – С. 264.
- 100.Тихоморов В. К. Пены/ В. К. Тихомиров. – М.: Химия, 1983. – 262 с.
- 101.Тимків Д. Ф. Аналіз математичної моделі розповсюдження викидів із резервуарів у атмосферу/ Д. Ф. Тимків, М. А. Наследнікова, Р. Г. Онацко// Математичні машини та системи. – 2008. - №4. – С. 17-19.
- 102.Тимків Д. Ф. Дослідження впливу нафтопродуктів на атмосферу за допомогою математичного моделювання./ Семчук Я.М., Наследнікова М.А./ Науковий вісник. – №1(23) 2010. С. 147-150
- 103.Филитов А. В. Определение объема газосборника резервуарного парка светлых нефтепродуктов АГПЗ, оборудованного газоуравнительной системой./ А. В. Филитов, Т. Д. Красикова// Химия и химическая технология: Вестник Астраханского государственного университета. – Астрахан. гос. техн. ун-т. – Астрахань: Изд-во АГТУ, 1999. – С. 73-75. – (сборник научных трудов)
- 104.Чернікін В. Д.. Потери нефтепродуктов и нефти от испарения из резервуаров/ В. Д. Чернікін// М., 1966. – 238с.
- 105.Шадунц К. Ш. Экологическая надежность резервуаров нефтепродуктов/ К. Ш. Шадунц// Изв. Акад. пром. экол. – 2006. - №2. – С. 32-37.
- 106.Шестаков В. А. Экологические последствия горных работ и пути их снижения/ В. А. Шестаков, И. Д. Посыльный// Разработка научных основ и способов ресурсозберегающей и экологически чистой технологии добычи полезных ископаемых: материалы 49-й научно - технической конференции

- ЮРГТУ (НГН). – ЮРГТУ (НГН), 2000. – Новочеркаск: ЮРГТУ (НГН), НОК, 2000. – С. 111-114
107. Экология горного производства/[Певзнер М. Е. и др.]. – М.: Недра, 1990. – 235 с.
108. Andren A. TKE-dissipation model for the atmospheric boundary layer. - Bound.-Layer Meteor, 1991. – vol. 30. – pp. 207.
109. Beets C., P. G. Duynkerke, J. P. Mader and F. T. M. Nieuwstadt. Large-Eddy Simulation of Cemically Reactive Species in a Convective Atmospheric Buondary Layer. – Atmos. Sci., 1996. – vol. 127. – pp. 1456-1478.
110. Binder P., H. J. Herzog. A Radiative Upper Boundary Condition for a 3-Dimensional Meso-Beta scale model. – Res. Activities in Atmos. And Oceanic Modelling, WMO Report, 1995. – No. 21. –pp. 3.1-3.2.
111. Chang James J. A study of storage tank accidents// Ling Cheng-Chung J Loss Prev. Process Ind. – 2006. – №1. – С. 51-59.

Додаток А

Дифузія парів бензину в нерухомому середовищі (за один день)

```

PROGRAM DUF6
REAL INTG1,INTG2
CHARACTER(10) dat,tim,zon
DIMENSION X1(5),Y1(5),Z2(5),TE1(5),DPB(5,5,5,5),DPBC(5,5,5,5)
CALL DATE_AND_TIME(date = dat, time=tim, zone=zon)
PRINT *, 'date:',dat,'time:',tim
OPEN(UNIT=10,FILE='REZDUF6')
Q0=1998.; RO=1.6; D=0.03; DT1=1.25E-02; PI=3.1415926
X=0.; Y=0.; Z=2.; TE=2.4; DT=0.; A=48.; B=48.
E1=PI*PI; E2=Q0/(4.*E1*D*RO); H1=0.01; H2=0.005
DO 2 I=1,5
DO 3 J=1,5
OM1=Y-B/2.; OM2=Y+B/2.
DO 4 K=1,5
DO 5 L=1,5
AI=0.; BI=6.; E2=(BI-AI+0.0005)/H2; K2=INT(E2); BE=0.
SUM7=0.
12 SUM4=0.; SUM5=0.; SUM6=0.; M1=2; M2=3; GA1=0.
DO 9 M=1,K2+1
SUM1=0.; SUM2=0.; SUM3=0.
AJ=0.; BJ=6.; E1=(BJ-AJ+0.0005)/H1; K1=INT(E1)
11 F1=FPZY(BE,GA1,Y,Z,TE,DT)
DO 10 N=1,K1
R0=REAL(N)-0.5; R1=AJ+R0*H1; R2=OM1*R1; R3=OM2*R1
R4=COS(R2); R5=COS(R3); GA2=AJ+REAL(N)*H1
F2=FPZY(BE,GA2,Y,Z,TE,DT); F3=F1+F2; F1=F2
SUM1=SUM1+R4*F3; SUM2=SUM2+R5*F3
10 CONTINUE
R6=SIN(OM1*H1/2.)/OM1; R7=SIN(OM2*H1/2.)/OM2
D1=R6*SUM1+R7*SUM2
SUM3=SUM3+D1
DEL1=ABS(D1/SUM3)
IF(DEL1.GT.0.01) THEN
  AJ=BJ; BJ=BJ+6.; E1=(BJ-AJ+0.0001)/H1
  K1=INT(E1); GA1=AJ; SUM1=0.; SUM2=0.; GOTO 11
ELSE
  INTG1=SUM3
ENDIF
IF((M==1).OR.(M==K2+1)) THEN
  SUM4=SUM4+FPX1(X,BE,INTG1)
ELSE
  IF((M-M1).EQ.0) THEN
    SUM5=SUM5+FPX1(X,BE,INTG1)
    M1=M1+2
  ELSE
    IF((M-M2).EQ.0) THEN
      SUM6=SUM6+FPX1(X,BE,INTG1)
      M2=M2+2
    ENDIF
  ENDIF
ENDIF

```

Продовження додатку А

```

ENDIF
BE=BE+H2; GA1=0.
9 CONTINUE
D2=H2*(SUM4+2.*SUM6+4.*SUM5)/3.
SUM7=SUM7+D2
DEL2=ABS(D2/SUM7)
IF(DEL2 .GT. 0.01) THEN
  AI=BI; BI=BI+6.
  E2=(BI-AI+0.0005)/H2; K2=INT(E2)
  BE=AI; GOTO 12
ELSE
  INTG2=SUM7
ENDIF
R=E2*INTG2
IF(INTG2 .LT. 0.) THEN
  DPB(I,J,K,L)=0.; SUM=0.
ELSE
  DPB(I,J,K,L)=R; SUM=0.
ENDIF
DO 20 KA=1,L
SUM=SUM+DPB(I,J,K,KA)
20 CONTINUE
DPBC(I,J,K,L)=SUM; X1(I)=X; Y1(J)=Y; Z2(K)=Z; TE1(L)=TE; TE=TE+2.4
5 CONTINUE
Z=Z+5.; TE=2.4
4 CONTINUE
Y=Y+10.; Z=2.; TE=2.4
3 CONTINUE
X=X+10.; Y=0.; Z=2.; TE=2.4
2 CONTINUE
WRITE(10,100)
100 FORMAT(/25X,'ÄÀÍ² ÌÐÍÃÐÀÌÈ DUF6/')
WRITE(10,101) Q0, DT1, D, RO
101 FORMAT(6X,'Q0=' ,F6.1,2X,'DT1=' ,E10.3,2X,'D=' ,F4.2,2X,'RO=' ,F4.1)
WRITE(10,103)
103 FORMAT(/10X,'N',5X,'X',4X,'Y',4X,'Z',4X,'TE',5X,'CDUF/')
! ÇÀÏÈÑ ÐÅÇÓËÜÒÀÒÂ Ó ÔÀÉË REZDUF6
N=1
DO 90 I=1,5
DO 91 J=1,5
DO 92 K=1,5
DO 93 L=1,5
WRITE(10,104) N,X1(I), Y1(J), Z2(K), TE1(L), DPBC(I,J,K,L)
N=N+1
93 CONTINUE
92 CONTINUE
91 CONTINUE
90 CONTINUE
CLOSE(10)
104 FORMAT(9X,I3,4X,F3.0,1X,F3.0,2X,F3.0,3X,F4.1,3X,E13.6)
CALL DATE_AND_TIME(date = dat, time=tim, zone=zon)
PRINT *, 'date:',dat, 'time:',tim

```

Продовження додатку А

STOP
END

```

FUNCTION FPX1(X,BE,INTG1)
REAL INTG1
A=48.; R1=X-A/2.; R2=X+A/2.; R3=COS(BE*R1); R4=COS(BE*R2); R5=(R3+R4)*INTG1
FPX1=R5
RETURN
END

FUNCTION FPZY(BE,GA,Y,Z,TE,DT)
Z1=12.0; D=0.03; DT1=1.25E-02; B=48.; SPI=1.77245385
P=0.3275911; A1=0.254829592; A2=-0.284496736
A3=1.421413741; A4=-1.453152027; A5=1.061405429
R1=BE*BE; R2=GA*GA; R3=R1+R2; R0=TE-DT
IF(Z1.GE.Z) THEN
    R4=Z1-Z
    GOTO 2
ELSE
    R4=Z-Z1
ENDIF
2 R5=D*R0; R6=SQRT(R5)
R7=R4/(2.*R6); R9=R7*R7; R16=D*(R0-DT1)
R17=SQRT(R16); R18=R4/(2.*R17); R20=R18*R18
E7=Z+Z1; E8=E7/(2.*R6); E10=E8*E8
E18=E7/(2.*R17); E19=E18*E18
IF(BE.EQ.0..AND.GA.EQ.0.) THEN
    IND=1
ELSE
    IND=2
ENDIF
GOTO(5,10) IND
5 IF(R7.GE.3.2) THEN
    D1=EXP(-R9); G1=2.*R9; G2=G1*G1; G3=G1*G2
    B9=D1*(1.-1./G1+3./G2-15./G3)/(R7*SPI)
    Q1=-2.*R4*B9; Q2=4.*R6*D1/SPI
    D2=EXP(-R20); G4=2.*R20; G5=G4*G4; G6=G4*G5
    B10=D2*(1.-1./G4+3./G5-15./G6)/(R18*SPI)
    Q3=2.*R4*B10; Q4=-4.*R17*D2/SPI
    D3=EXP(-E10); G7=2.*E10; G8=G7*G7; G9=G7*G8
    B11=D3*(1.-1./G7+3./G8-15./G9)/(E8*SPI)
    Q5=-2.*E7*B11; Q6=4.*R6*D3/SPI
    D4=EXP(-E19); G10=2.*E19; G11=G10*G10; G12=G10*G11
    B12=D4*(1.-1./G10+3./G11-15./G12)/(E18*SPI)
    Q7=2.*E7*B12; Q8=-4.*R17*D4/SPI
    Q9=Q1+Q2+Q3+Q4+Q5+Q6+Q7+Q8
    Q10=Q9
    GOTO 20
ELSE
    IF(R18.LT.3.2.AND.E8.GE.3.2) THEN
        U1=1./(1.+P*R7); D1=EXP(-R9)

```

Продовження додатку А

```

B9=(((A5*U1+A4)*U1+A3)*U1+A2)*U1+A1)*U1*D1
Q1=-2.*R4*B9; Q2=4.*R6*D1/SPI
U2=1./(1.+P*R18); D2=EXP(-R20)
B10=(((A5*U2+A4)*U2+A3)*U2+A2)*U2+A1)*U2*D2
Q3=2.*R4*B10; Q4=-4.*R17*D2/SPI
D3=EXP(-E10); G7=2.*E10; G8=G7*G7; G9=G7*G8
B11=D3*(1.-1./G7+3./G8-15./G9)/(E8*SPI)
Q5=-2.*E7*B11; Q6=4.*R6*D3/SPI
D4=EXP(-E19); G10=2.*E19; G11=G10*G10; G12=G10*G11
B12=D4*(1.-1./G10+3./G11-15./G12)/(E18*SPI)
Q7=2.*E7*B12; Q8=-4.*R17*D4/SPI
Q9=Q1+Q2+Q3+Q4+Q5+Q6+Q7+Q8
Q10=Q9
GOTO 20

ELSE
    U1=1./(1.+P*R7); D1=EXP(-R9)
    B9=(((A5*U1+A4)*U1+A3)*U1+A2)*U1+A1)*U1*D1
    Q1=-2.*R4*B9; Q2=4.*R6*D1/SPI
    U2=1./(1.+P*R18); D2=EXP(-R20)
    B10=(((A5*U2+A4)*U2+A3)*U2+A2)*U2+A1)*U2*D2
    Q3=2.*R4*B10; Q4=-4.*R17*D2/SPI
    U3=1./(1.+P*E8); D3=EXP(-E10)
    B11=(((A5*U3+A4)*U3+A3)*U3+A2)*U3+A1)*U3*D3
    Q5=-2.*E7*B11; Q6=4.*R6*D3/SPI
    U4=1./(1.+P*E18); D4=EXP(-E19)
    B12=(((A5*U4+A4)*U4+A3)*U4+A2)*U4+A1)*U4*D4
    Q7=2.*E7*B12; Q8=-4.*R17*D4/SPI
    Q9=Q1+Q2+Q3+Q4+Q5+Q6+Q7+Q8
    Q10=Q9
    GOTO 20

ENDIF
ENDIF
10 R8=R3*R5; E0=SQRT(R3); E1=R4*E0; E2=EXP(-E1)
E3=2.*E2; R10=SQRT(R8); R11=R7-R10
R12=R9+R8; R13=EXP(-R12)
IF(R7.GE.R10.AND.R11.LT.3.2) THEN
    T1=1./(1.+P*R11)
    B1=(((A5*T1+A4)*T1+A3)*T1+A2)*T1+A1)*T1*R13
ELSE
    IF(R7.GT.R10.AND.R11.GE.3.2) THEN
        V0=R11*R11; V1=2.*V0; V2=V1*V1; V3=V1*V2
        B1=R13*(1.-1./V1+3./V2-15./V3)/(R11*SPI)
    ELSE
        IF(R7.LT.R10.AND.ABS(R11).LT.3.2) THEN
            T2=1./(1.-P*R11)
            B1=E3-(((A5*T2+A4)*T2+A3)*T2+A2)*T2+A1)*R13*t2
        ELSE
            V4=ABS(R11); V5=2.*R11*R11; V6=V5*V5; V7=V5*V6
            B1=E3-R13*(1.-1./V5+3./V6-15./V7)/(V4*SPI)
        ENDIF
    ENDIF
ENDIF
ENDIF

```

Продовження додатку А

```

R14=R7+R10
IF(R14.GE.3.2) THEN
    V8=2.*R14*R14; V9=V8*V8; V10=V8*V9
    B2=R13*(1.-1./V8+3./V9-15./V10)/(R14*SPI)
ELSE
    T3=1./(1.+P*R14)
    B2=(((A5*T3+A4)*T3+A3)*T3+A2)*T3+A1)*T3*R13
ENDIF
R15=B1-B2; R19=R3*R16; R21=SQRT(R19)
R22=R18-R21; R23=R20+R19; R24=EXP(-R23)
IF(R18.GE.R21.AND.R22.LT.3.2) THEN
    T4=1./(1.+P*R22)
    B3=(((A5*T4+A4)*T4+A3)*T4+A2)*T4+A1)*T4*R24
ELSE
    IF(R18.GT.R21.AND.R22.GE.3.2) THEN
        V11=R22*R22; V12=2.*V11; V13=V12*V12; V14=V12*V13
        B3=R24*(1.-1./V12+3./V13-15./V14)/(R22*SPI)
    ELSE
        IF(R18.LT.R21.AND.ABS(R22).LT.3.2) THEN
            T5=1./(1.-P*R22)
            B3=E3-(((A5*T5+A4)*T5+A3)*T5+A2)*T5+A1)*T5*R24
        ELSE
            V15=ABS(R22); V16=2.*R22*R22; V17=V16*V16; V18=V16*V17
            B3=E3-R24*(1.-1./V16+3./V17-15./V18)/(V15*SPI)
        ENDIF
    ENDIF
ENDIF
E4=R18+R21
IF(E4 .GE. 3.2) THEN
    V19=2.*E4*E4; V20=V19*V19; V21=V19*V20
    B4=R24*(1.-1./V19+3./V20-15./V21)/(E4*SPI)
ELSE
    T6=1./(1.+P*E4)
    B4=(((A5*T6+A4)*T6+A3)*T6+A2)*T6+A1)*T6*R24
ENDIF
E5=B3-B4; E6=R15-E5; E9=E8-R10; E11=E10+R8; E12=EXP(-E11)
E13=E7*E0; E14=EXP(-E13); E15=2.*E14
IF(E8 .GE. R10 .AND. E9 .LT. 3.2) THEN
    T7=1./(1.+P*E9)
    B5=(((A5*T7+A4)*T7+A3)*T7+A2)*T7+A1)*T7*E12
ELSE
    IF(E8 .GT. R10 .AND. E9 .GE. 3.2) THEN
        W1=E9*E9; W2=2.*W1; W3=W2*W2; W4=W2*W3
        B5=E12*(1.-1./W2+3./W3-15./W4)/(E9*SPI)
    ELSE
        IF(E8 .LT. R10 .AND. ABS(E9) .LE. 3.2) THEN
            T8=1./(1.-P*E9)
            B5=E15-(((A5*T8+A4)*T8+A3)*T8+A2)*T8+A1)*T8*E12
        ELSE
            W5=ABS(E9); W6=2.*E9*E9; W7=W6*W6; W8=W6*W7
            B5=E15-E12*(1.-1./W6+3./W7-15./W8)/(W5*SPI)
        ENDIF
    ENDIF
ENDIF

```

Продовження додатку А

```

ENDIF
ENDIF
E16=E8+R10
IF(E16.GE.3.2) THEN
    W9=2.*E16*E16; W10=W9*W9; W11=W9*W10
    B6=E12*(1.-1./W9+3./W10-15./W11)/(E16*SPI)
ELSE
    T9=1./(1.+P*E16)
    B6=(((A5*T9+A4)*T9+A3)*T9+A2)*T9+A1)*T9*E12
ENDIF
E17=B5-B6; E20=E19+R19; E21=EXP(-E20); E22=E18-R21
IF(E18.GE. R21 .AND. E22.LT.3.2) THEN
    T10=1./(1.+P*E22)
    B7=(((A5*T10+A4)*T10+A3)*T10+A2)*T10+A1)*T10*E21
ELSE
    IF(E18.GT.R21.AND.E22.GE.3.2) THEN
        W12=E22*E22; W13=2.*W12; W14=W13*W13; W15=W13*W14
        B7=E21*(1.-1./W13+3./W14-15./W15)/(E22*SPI)
    ELSE
        IF(E18.LT. R21 .AND. ABS(E22).LT.3.2) THEN
            T11=1./(1.-P*E22)
            B7=E15-(((A5*T11+A4)*T11+A3)*T11+A2)*T11+A1)*T11*E21
        ELSE
            W16=ABS(E22); W17=2.* E22*E22; W18=W17*W17; W19=W17*W18
            B7=E15-E21*(1.-1./W17+3./W18-15./W19)/(W16*SPI)
        ENDIF
    ENDIF
ENDIF
W20=E18+R21
IF(W20.GE.3.2) THEN
    W21=2.*W20*W20; W22=W21*W21; W23=W21*W22
    B8=E21*(1.-1./W21+3./W22-15./W23)/(W20*SPI)
ELSE
    T12=1./(1.+P*W20)
    B8=(((A5*T12+A4)*T12+A3)*T12+A2)*T12+A1)*T12*E21
ENDIF
S2=E6+E17-B7+B8
Q10=S2/E0
20 FPZY=Q10
RETURN
END

```

Додаток Б

!Дифузія парів бензину в нерухомому середовищі (7 днів)

```

PROGRAM DUF7
REAL INTG1,INTG2
CHARACTER(10) dat,tim,zon
DIMENSION X1(5),Y1(5),Z2(5),TE1(70),DPB(5,5,5,70),DPBC(5,5,5,70),C1(5,5),C2(5,5)
CALL DATE_AND_TIME(date=dat, time=tim, zone=zon)
PRINT*, 'date:',dat,'time:',tim
OPEN(UNIT=10,FILE='REZDUF7')
Q0=1998.; RO=1.6; D=0.03; DT1=1.25E-02; PI=3.1415926
X=0.; Y=0.; Z=2.; TE=2.4; DT=0.; A=48.; B=48.
E1=PI*PI; E2=Q0/(4.*E1*D*RO); H1=0.01; H2=0.005; M0=1
DO 2 L=1,70
DO 3 K=1,5
DO 4 I=1,5
DO 5 J=M0,5
OM1=Y-B/2.; OM2=Y+B/2.
AI=0.; BI=6.; E2=(BI-AI+0.0005)/H2; K2=INT(E2); BE=0.
SUM7=0.
12 SUM4=0.; SUM5=0.; SUM6=0.; M1=2; M2=3; GA1=0.
DO 9 M=1,K2+1
SUM1=0.; SUM2=0.; SUM3=0.
AJ=0.; BJ=6.; E1=(BJ-AJ+0.0005)/H1; K1=INT(E1)
11 F1=FPZY(BE,GA1,Y,Z,TE,DT)
DO 10 N=1,K1
R0=REAL(N)-0.5; R1=AJ+R0*H1; R2=OM1*R1; R3=OM2*R1
R4=COS(R2); R5=COS(R3); GA2=AJ+REAL(N)*H1
F2=FPZY(BE,GA2,Y,Z,TE,DT); F3=F1+F2; F1=F2
SUM1=SUM1+R4*F3; SUM2=SUM2+R5*F3
10 CONTINUE
R6=SIN(OM1*H1/2.)/OM1; R7=SIN(OM2*H1/2.)/OM2
D1=R6*SUM1+R7*SUM2
SUM3=SUM3+D1
DEL1=ABS(D1/SUM3)
IF(DEL1.GT.0.01) THEN
  AJ=BJ; BJ=BJ+6.; E1=(BJ-AJ+0.0005)/H1
  K1=INT(E1); GA1=AJ; SUM1=0.; SUM2=0.; GOTO 11
ELSE
  INTG1=SUM3
ENDIF
IF((M==1).OR.(M==K2+1)) THEN
  SUM4=SUM4+FPX1(X,BE,INTG1)
ELSE
  IF((M-M1).EQ.0) THEN
    SUM5=SUM5+FPX1(X,BE,INTG1)
    M1=M1+2
  ELSE
    IF((M-M2).EQ.0) THEN
      SUM6=SUM6+FPX1(X,BE,INTG1)
      M2=M2+2
    ENDIF
  ENDIF
ENDIF

```

Продовження додатку Б

```

        ENDIF
        ENDIF
ENDIF
BE=BE+H2; GA1=0.
9 CONTINUE
D2=H2*(SUM4+2.*SUM6+4.*SUM5)/3.
SUM7=SUM7+D2
DEL2=ABS(D2/SUM7)
IF(DEL2 .GT. 0.01) THEN
    AI=BI; BI=BI+6.
    E2=(BI-AI+0.0005)/H2; K2=INT(E2)
    BE=AI; GOTO 12
ELSE
    INTG2=SUM7
ENDIF
R=E2*INTG2
IF(INTG2 .LT. 0) THEN
    C1(I,J)=0.
ELSE
    C1(I,J)=R
ENDIF
X1(I)=X; Y1(J)=Y; Z2(K)=Z; TE1(L)=TE; Y=Y+10.
5 CONTINUE
X=X+10.; Y=10.*REAL(M0); M0=M0+1
4 CONTINUE
N=1; M=1
DO 6 I1=M,5
DO 7 J1=N,5
C2(J1,I1)=C1(I1,J1)
7 CONTINUE
N=N+1; M=M+1
6 CONTINUE
DO 15 J=1,5
DO 16 I=1,5
SUM=0.
IF((I-J) .LE. 0) THEN
    DPB(I,J,K,L)=C1(I,J)
ELSE
    DPB(I,J,K,L)=C2(I,J)
ENDIF
IF(TE .LE. 12.) THEN
    IND=1
ELSE
    IF(TE .GT. 12. .AND. TE .LE.24.) THEN
        IND=2
    ENDIF
ENDIF
IF(TE .GT. 24. .AND. TE .LE. 36.) THEN
    IND=3
ELSE

```

Продовження додатку Б

```

IF(TE .GT. 36. .AND. TE .LE. 48.) THEN
    IND=4
ENDIF
ENDIF
IF(TE .GT. 48. .AND. TE .LE. 60.) THEN
    IND=5
ELSE
    IF(TE .GT. 60. .AND. TE .LE. 72.) THEN
        IND=6
    ENDIF
ENDIF
IF(TE .GT. 72. .AND. TE .LE. 84.) THEN
    IND=7
ELSE
    IF(TE .GT. 84. .AND. TE .LE. 96.) THEN
        IND=8
    ENDIF
ENDIF
IF(TE .GT. 96. .AND. TE .LE. 108.) THEN
    IND=9
ELSE
    IF(TE .GT. 108. .AND. TE .LE. 120.) THEN
        IND=10
    ENDIF
ENDIF
IF(TE .GT. 120. .AND. TE .LE. 132.) THEN
    IND=11
ELSE
    IF(TE .GT. 132. .AND. TE .LE. 144.) THEN
        IND=12
    ENDIF
ENDIF
IF(TE .GT. 144. .AND. TE .LE. 156.) THEN
    IND=13
ELSE
    IF(TE .GT. 156. .AND. TE .LE. 168.) THEN
        IND=14
    ENDIF
ENDIF
GOTO(21,22,23,24,25,26,27,28,29,30,31,32,33,34) IND
21 DO 40 KA=1,L
SUM=SUM+DPB(I,J,K,KA)
40 CONTINUE
DPBC(I,J,K,L)=SUM; GOTO 16
22 DO 41 KA=L-4,L
SUM=SUM+DPB(I,J,K,KA)
41 CONTINUE
DPBC(I,J,K,L)=SUM; GOTO 16
23 DO 42 KA=L-4,L
SUM=SUM+DPB(I,J,K,KA)

```

Продовження додатку Б

```
42 CONTINUE
DO 43 KA=1,L-10
SUM=SUM+DPB(I,J,K,KA)
43 CONTINUE
DPBC(I,J,K,L)=SUM; GOTO 16
24 DO 44 KA=L-4,L
SUM=SUM+DPB(I,J,K,KA)
44 CONTINUE
DO 45 KA=L-14,L-10
SUM=SUM+DPB(I,J,K,KA)
45 CONTINUE
DPBC(I,J,K,L)=SUM; GOTO 16
25 DO 46 KA=L-4,L
SUM=SUM+DPB(I,J,K,KA)
46 CONTINUE
DO 47 KA=L-14,L-10
SUM=SUM+DPB(I,J,K,KA)
47 CONTINUE
DO 48 KA=1,L-20
SUM=SUM+DPB(I,J,K,KA)
48 CONTINUE
DPBC(I,J,K,L)=SUM; GOTO 16
26 DO 49 KA=L-4,L
SUM=SUM+DPB(I,J,K,KA)
49 CONTINUE
DO 50 KA=L-14,L-10
SUM=SUM+DPB(I,J,K,KA)
50 CONTINUE
DO 51 KA=L-24,L-20
SUM=SUM+DPB(I,J,K,KA)
51 CONTINUE
DPBC(I,J,K,L)=SUM; GOTO 16
27 DO 52 KA=L-4,L
SUM=SUM+DPB(I,J,K,KA)
52 CONTINUE
DO 53 KA=L-14,L-10
SUM=SUM+DPB(I,J,K,KA)
53 CONTINUE
DO 54 KA=L-24,L-20
SUM=SUM+DPB(I,J,K,KA)
54 CONTINUE
DO 55 KA=1,L-30
SUM=SUM+DPB(I,J,K,KA)
55 CONTINUE
DPBC(I,J,K,L)=SUM; GOTO 16
28 DO 56 KA=L-4,L
SUM=SUM+DPB(I,J,K,KA)
56 CONTINUE
DO 57 KA=L-14,L-10
SUM=SUM+DPB(I,J,K,KA)
```

Продовження додатку Б

57 CONTINUE
DO 58 KA=L-24,L-20
SUM=SUM+DPB(I,J,K,KA)
58 CONTINUE
DO 59 KA=L-34,L-30
SUM=SUM+DPB(I,J,K,KA)
59 CONTINUE
DPBC(I,J,K,L)=SUM; GOTO 16
29 DO 60 KA=L-4,L
SUM=SUM+DPB(I,J,K,KA)
60 CONTINUE
DO 61 KA=L-14,L-10
SUM=SUM+DPB(I,J,K,KA)
61 CONTINUE
DO 62 KA=L-24,L-20
SUM=SUM+DPB(I,J,K,KA)
62 CONTINUE
DO 63 KA=L-34,L-30
SUM=SUM+DPB(I,J,K,KA)
63 CONTINUE
DO 64 KA=1,L-40
SUM=SUM+DPB(I,J,K,KA)
64 CONTINUE
DPBC(I,J,K,L)=SUM; GOTO 16
30 DO 65 KA=L-4,L
SUM=SUM+DPB(I,J,K,KA)
65 CONTINUE
DO 66 KA=L-14,L-10
SUM=SUM+DPB(I,J,K,KA)
66 CONTINUE
DO 67 KA=L-24,L-20
SUM=SUM+DPB(I,J,K,KA)
67 CONTINUE
DO 68 KA=L-34,L-30
SUM=SUM+DPB(I,J,K,KA)
68 CONTINUE
DO 69 KA=L-44,L-40
SUM=SUM+DPB(I,J,K,KA)
69 CONTINUE
DPBC(I,J,K,L)=SUM; GOTO 16
31 DO 70 KA=L-4,L
SUM=SUM+DPB(I,J,K,KA)
70 CONTINUE
DO 71 KA=L-14,L-10
SUM=SUM+DPB(I,J,K,KA)
71 CONTINUE
DO 72 KA=L-24,L-20
SUM=SUM+DPB(I,J,K,KA)
72 CONTINUE
DO 73 KA=L-34,L-30

Продовження додатку Б

```
SUM=SUM+DPB(I,J,K,KA)
73 CONTINUE
DO 74 KA=L-44,L-40
SUM=SUM+DPB(I,J,K,KA)
74 CONTINUE
DO 75 KA=1,L-50
SUM=SUM+DPB(I,J,K,KA)
75 CONTINUE
DPBC(I,J,K,L)=SUM; GOTO 16
32 DO 76 KA=L-4,L
SUM=SUM+DPB(I,J,K,KA)
76 CONTINUE
DO 77 KA=L-14,L-10
SUM=SUM+DPB(I,J,K,KA)
77 CONTINUE
DO 78 KA=L-24,L-20
SUM=SUM+DPB(I,J,K,KA)
78 CONTINUE
DO 79 KA=L-34,L-30
SUM=SUM+DPB(I,J,K,KA)
79 CONTINUE
DO 80 KA=L-44,L-40
SUM=SUM+DPB(I,J,K,KA)
80 CONTINUE
DO 81 KA=L-54,L-50
SUM=SUM+DPB(I,J,K,KA)
81 CONTINUE
DPBC(I,J,K,L)=SUM; GOTO 16
33 DO 82 KA=L-4,L
SUM=SUM+DPB(I,J,K,KA)
82 CONTINUE
DO 83 KA=L-14,L-10
SUM=SUM+DPB(I,J,K,KA)
83 CONTINUE
DO 84 KA=L-24,L-20
SUM=SUM+DPB(I,J,K,KA)
84 CONTINUE
DO 85 KA=L-34,L-30
SUM=SUM+DPB(I,J,K,KA)
85 CONTINUE
DO 86 KA=L-44,L-40
SUM=SUM+DPB(I,J,K,KA)
86 CONTINUE
DO 87 KA=L-54,L-50
SUM=SUM+DPB(I,J,K,KA)
87 CONTINUE
DO 88 KA=1,L-60
SUM=SUM+DPB(I,J,K,KA)
88 CONTINUE
PBC(I,J,K,L)=SUM; GOTO 16
```

Продовження додатку Б

```

34 DO 110 KA=L-4,L
SUM=SUM+DPB(I,J,K,KA)
110 CONTINUE
DO 111 KA=L-14,L-10
SUM=SUM+DPB(I,J,K,KA)
111 CONTINUE
DO 112 KA=L-24,L-20
SUM=SUM+DPB(I,J,K,KA)
112 CONTINUE
DO 113 KA=L-34,L-30
SUM=SUM+DPB(I,J,K,KA)
113 CONTINUE
DO 114 KA=L-44,L-40
SUM=SUM+DPB(I,J,K,KA)
114 CONTINUE
DO 115 KA=L-54,L-50
SUM=SUM+DPB(I,J,K,KA)
115 CONTINUE
DO 116 KA=L-64,L-60
SUM=SUM+DPB(I,J,K,KA)
116 CONTINUE
DPBC(I,J,K,L)=SUM
16 CONTINUE
15 CONTINUE
Z=Z+5.; X=0.; Y=0.; M0=1
3 CONTINUE
TE=TE+2.4; Z=2.; X=0.; Y=0.; M0=1
2 CONTINUE
WRITE(10,100)
100 FORMAT(/25X,'ÄÀÍ² ÌÐÍÃÐÀÌÈ DUF7/')
WRITE(10,101) Q0, DT1, D, RO
101 FORMAT(6X,'Q0=',F6.1,2X,'DT1=',E10.3,2X,'D=',F4.2,2X,'RO=',F4.1)
WRITE(10,103)
103 FORMAT(/10X,'N',5X,'X',4X,'Y',4X,'Z',4X,'TE',7X,'CDUF', 10X, 'DPB')
! ÇÀÏÈÑ ÐÅÇÓËÜÒÀÒÂ Ó ÔÀÉË REZDUF7
N=1
DO 90 I=1,5
DO 91 J=1,5
DO 92 K=1,5
DO 93 L=1,70
WRITE(10,104) N,X1(I), Y1(J), Z2(K), TE1(L), DPBC(I,J,K,L),DPB(I,J,K,L)
N=N+1
93 CONTINUE
92 CONTINUE
91 CONTINUE
90 CONTINUE
CLOSE(10)
104 FORMAT(9X,I4,3X,F3.0,1X,F3.0,2X,F3.0,3X,F5.1,3X,E13.6, 2X, E13.6)
CALL DATE_AND_TIME(date=dat, time=tim, zone=zon)
PRINT*, 'date:', dat, 'time:', tim

```

Продовження додатку Б

STOP
END

```

FUNCTION FPX1(X,BE,INTG1)
REAL INTG1
A=48.; R1=X-A/2.; R2=X+A/2.; R3=COS(BE*R1); R4=COS(BE*R2); R5=(R3+R4)*INTG1
FPX1=R5
RETURN
END

FUNCTION FPZY(BE,GA,Y,Z,TE,DT)
Z1=12.0; D=0.03; DT1=1.25E-02; B=48.; SPI=1.77245385
P=0.3275911; A1=0.254829592; A2=-0.284496736
A3=1.421413741; A4=-1.453152027; A5=1.061405429
R1=BE*BE; R2=GA*GA; R3=R1+R2; R0=TE-DT
IF(Z1.GE.Z) THEN
    R4=Z1-Z
    GOTO 2
ELSE
    R4=Z-Z1
ENDIF
2 R5=D*R0; R6=SQRT(R5)
R7=R4/(2.*R6); R9=R7*R7; R16=D*(R0-DT1)
R17=SQRT(R16); R18= R4/(2.*R17); R20=R18*R18
E7=Z+Z1; E8=E7/(2.*R6); E10=E8*E8
E18=E7/(2.*R17); E19=E18*E18
IF(BE.EQ.0..AND.GA.EQ.0.) THEN
    IND=1
ELSE
    IND=2
ENDIF
GOTO(5,10) IND
5 IF(R7.GE.3.2) THEN
    D1=EXP(-R9); G1=2.*R9; G2=G1*G1; G3=G1*G2
    B9=D1*(1.-1./G1+3./G2-15./G3)/(R7*SPI)
    Q1=-2.*R4*B9; Q2=4.*R6*D1/SPI
    D2=EXP(-R20); G4=2.*R20; G5=G4*G4; G6=G4*G5
    B10=D2*(1.-1./G4+3./G5-15./G6)/(R18*SPI)
    Q3=2.*R4*B10; Q4=-4*R17*D2/SPI
    D3=EXP(-E10); G7=2.*E10; G8=G7*G7; G9=G7*G8
    B11=D3*(1.-1./G7+3./G8-15./G9)/(E8*SPI)
    Q5=-2.*E7*B11; Q6=4.*R6*D3/SPI
    D4=EXP(-E19); G10=2.*E19; G11=G10*G10; G12=G10*G11
    B12=D4*(1.-1./G10+3./G11-15./G12)/(E18*SPI)
    Q7=2.*E7*B12; Q8=-4.*R17*D4/SPI
    Q9=Q1+Q2+Q3+Q4+Q5+Q6+Q7+Q8
    Q10=Q9
    GOTO 20
ELSE

```

Продовження додатку Б

```

IF(R18.LT.3.2.AND.E8.GE.3.2) THEN
    U1=1./(1.+P*R7); D1=EXP(-R9)
    B9=((((A5*U1+A4)*U1+A3)*U1+A2)*U1+A1)*U1*D1
    Q1=-2.*R4*B9; Q2=4.*R6*D1/SPI
    U2=1./(1.+P*R18); D2=EXP(-R20)
    B10=((((A5*U2+A4)*U2+A3)*U2+A2)*U2+A1)*U2*D2
    Q3=2.*R4*B10; Q4=-4.*R17*D2/SPI
    D3=EXP(-E10); G7=2.*E10; G8=G7*G7; G9=G7*G8
    B11=D3*(1.-1./G7+3./G8-15./G9)/(E8*SPI)
    Q5=-2.*E7*B11; Q6=4.*R6*D3/SPI
    D4=EXP(-E19); G10=2.*E19; G11=G10*G10; G12=G10*G11
    B12=D4*(1.-1./G10+3./G11-15./G12)/(E18*SPI)
    Q7=2.*E7*B12; Q8=-4.*R17*D4/SPI
    Q9=Q1+Q2+Q3+Q4+Q5+Q6+Q7+Q8
    Q10=Q9
    GOTO 20

ELSE
    U1=1./(1.+P*R7); D1=EXP(-R9)
    B9=((((A5*U1+A4)*U1+A3)*U1+A2)*U1+A1)*U1*D1
    Q1=-2.*R4*B9; Q2=4.*R6*D1/SPI
    U2=1./(1.+P*R18); D2=EXP(-R20)
    B10=((((A5*U2+A4)*U2+A3)*U2+A2)*U2+A1)*U2*D2
    Q3=2.*R4*B10; Q4=-4.*R17*D2/SPI
    U3=1./(1.+P*E8); D3=EXP(-E10)
    B11=((((A5*U3+A4)*U3+A3)*U3+A2)*U3+A1)*U3*D3
    Q5=-2.*E7*B11; Q6=4.*R6*D3/SPI
    U4=1./(1.+P*E18); D4=EXP(-E19)
    B12=((((A5*U4+A4)*U4+A3)*U4+A2)*U4+A1)*U4*D4
    Q7=2.*E7*B12; Q8=-4.*R17*D4/SPI
    Q9=Q1+Q2+Q3+Q4+Q5+Q6+Q7+Q8
    Q10=Q9
    GOTO 20

ENDIF
ENDIF
10 R8=R3*R5; E0=SQRT(R3); E1=R4*E0; E2=EXP(-E1)
E3=2.*E2; R10=SQRT(R8); R11=R7-R10
R12=R9+R8; R13=EXP(-R12)
IF(R7.GE.R10.AND.R11.LT.3.2) THEN
    T1=1./(1.+P*R11)
    B1=((((A5*T1+A4)*T1+A3)*T1+A2)*T1+A1)*T1*R13
ELSE
    IF(R7 .GT. R10 .AND. R11 .GE. 3.2) THEN
        V0=R11*R11; V1=2.*V0; V2=V1*V1; V3=V1*V2
        B1=R13*(1.-1./V1+3./V2-15./V3)/(R11*SPI)
    ELSE
        IF(R7 .LT. R10 .AND. ABS(R11) .LT. 3.2) THEN
            T2=1./(1.-P*R11)
            B1=E3-((((A5*T2+A4)*T2+A3)*T2+A2)*T2+A1)*R13*t2
        ELSE
            V4=ABS(R11); V5=2.*R11*R11; V6=V5*V5; V7=V5*V6
        ENDIF
    ENDIF
ENDIF

```

Продовження додатку Б

```

        B1=E3-R13*(1.-1./V5+3./V6-15./V7)/(V4*SPI)
        ENDIF
    ENDIF
    R14=R7+R10
    IF(R14.GE.3.2) THEN
        V8=2.*R14*R14; V9=V8*V8; V10=V8*V9
        B2=R13*(1.-1./V8+3./V9-15./V10)/(R14*SPI)
    ELSE
        T3=1./(1.+P*R14)
        B2=(((A5*T3+A4)*T3+A3)*T3+A2)*T3+A1)*T3*R13
    ENDIF
    R15=B1-B2; R19=R3*R16; R21=SQRT(R19)
    R22=R18-R21; R23=R20+R19; R24=EXP(-R23)
    IF(R18.GE.R21.AND.R22.LT.3.2) THEN
        T4=1./(1.+P*R22)
        B3=(((A5*T4+A4)*T4+A3)*T4+A2)*T4+A1)*T4*R24
    ELSE
        IF(R18.GT.R21.AND.R22.GE.3.2) THEN
            V11=R22*R22; V12=2.*V11; V13=V12*V12; V14=V12*V13
            B3=R24*(1.-1./V12+3./V13-15./V14)/(R22*SPI)
        ELSE
            IF(R18.LT.R21.AND.ABS(R22).LT.3.2) THEN
                T5=1./(1.-P*R22)
                B3=E3-(((A5*T5+A4)*T5+A3)*T5+A2)*T5+A1)*T5*R24
            ELSE
                V15=ABS(R22); V16=2.*R22*R22; V17=V16*V16; V18=V16*V17
                B3=E3-R24*(1.-1./V16+3./V17-15./V18)/(V15*SPI)
            ENDIF
        ENDIF
    ENDIF
    E4=R18+R21
    IF(E4.GE.3.2) THEN
        V19=2.*E4*E4; V20=V19*V19; V21=V19*V20
        B4=R24*(1.-1./V19+3./V20-15./V21)/(E4*SPI)
    ELSE
        T6=1./(1.+P*E4)
        B4=(((A5*T6+A4)*T6+A3)*T6+A2)*T6+A1)*T6*R24
    ENDIF
    E5=B3-B4; E6=R15-E5; E9=E8-R10; E11=E10+R8; E12=EXP(-E11)
    E13=E7*E0; E14=EXP(-E13); E15=2.*E14
    IF(E8.GE.R10.AND.E9.LT.3.2) THEN
        T7=1./(1.+P*E9)
        B5=(((A5*T7+A4)*T7+A3)*T7+A2)*T7+A1)*T7*E12
    ELSE
        IF(E8.GT.R10.AND.E9.GE.3.2) THEN
            W1=E9*E9; W2=2.*W1; W3=W2*W2; W4=W2*W3
            B5=E12*(1.-1./W2+3./W3-15./W4)/(E9*SPI)
        ELSE
            IF(E8.LT.R10.AND.ABS(E9).LE.3.2) THEN

```

Продовження додатку Б

```

T8=1./(1.-P*E9)
B5=E15-(((A5*T8+A4)*T8+A3)*T8+A2)*T8+A1)*T8*E12
ELSE
    W5=ABS(E9); W6=2.*E9*E9; W7=W6*W6; W8=W6*W7
    B5=E15-E12*(1.-1./W6+3./W7-15./W8)/(W5*SPI)
ENDIF
ENDIF
E16=E8+R10
IF(E16.GE.3.2) THEN
    W9=2.*E16*E16; W10=W9*W9; W11=W9*W10
    B6=E12*(1.-1./W9+3./W10-15./W11)/(E16*SPI)
ELSE
    T9=1./(1.+P*E16)
    B6=(((A5*T9+A4)*T9+A3)*T9+A2)*T9+A1)*T9*E12
ENDIF
E17=B5-B6; E20=E19+R19; E21=EXP(-E20); E22=E18-R21
IF(E18 .GE. R21 .AND. E22.LT.3.2) THEN
    T10=1./(1.+P*E22)
    B7=(((A5*T10+A4)*T10+A3)*T10+A2)*T10+A1)*T10*E21
ELSE
    IF(E18.GT.R21.AND.E22.GE.3.2) THEN
        W12=E22*E22; W13=2.*W12; W14=W13*W13; W15=W13*W14
        B7=E21*(1.-1./W13+3./W14-15./W15)/(E22*SPI)
    ELSE
        IF(E18 .LT. R21 .AND. ABS(E22).LT.3.2) THEN
            T11=1./(1.-P*E22)
            B7=E15-(((A5*T11+A4)*T11+A3)*T11+A2)*T11+A1)*T11*E21
        ELSE
            W16=ABS(E22); W17=2.*E22*E22; W18=W17*W17; W19=W17*W18
            B7=E15-E21*(1.-1./W17+3./W18-15./W19)/(W16*SPI)
        ENDIF
    ENDIF
ENDIF
W20=E18+R21
IF(W20.GE.3.2) THEN
    W21=2.*W20*W20; W22=W21*W21; W23=W21*W22
    B8=E21*(1.-1./W21+3./W22-15./W23)/(W20*SPI)
ELSE
    T12=1./(1.+P*W20)
    B8=(((A5*T12+A4)*T12+A3)*T12+A2)*T12+A1)*T12*E21
ENDIF
S2=E6+E17-B7+B8
Q10=S2/E0
20 FPZY=Q10
RETURN
END

```

Додаток В

Результати розрахунку DUF6

Q0=1998.0 DT1= 0.125E-01 D=0.03 RO= 1.6

N	X	Y	Z	TE	CDUF
1	0.	0.	2.	2.4	0.000000E+00
2	0.	0.	2.	4.8	0.000000E+00
3	0.	0.	2.	7.2	0.000000E+00
4	0.	0.	2.	9.6	0.000000E+00
5	0.	0.	2.	12.0	0.000000E+00
6	0.	0.	7.	2.4	0.000000E+00
7	0.	0.	7.	4.8	0.000000E+00
8	0.	0.	7.	7.2	0.000000E+00
9	0.	0.	7.	9.6	0.000000E+00
10	0.	0.	7.	12.0	0.000000E+00
11	0.	0.	12.	2.4	0.320762E-04
12	0.	0.	12.	4.8	0.382067E-04
13	0.	0.	12.	7.2	0.498855E-04
14	0.	0.	12.	9.6	0.767277E-04
15	0.	0.	12.	12.0	0.952970E-04
16	0.	0.	17.	2.4	0.000000E+00
17	0.	0.	17.	4.8	0.000000E+00
18	0.	0.	17.	7.2	0.000000E+00
19	0.	0.	17.	9.6	0.000000E+00
20	0.	0.	17.	12.0	0.000000E+00
21	0.	0.	22.	2.4	0.000000E+00
22	0.	0.	22.	4.8	0.000000E+00
23	0.	0.	22.	7.2	0.000000E+00
24	0.	0.	22.	9.6	0.000000E+00
25	0.	0.	22.	12.0	0.000000E+00
26	0.	10.	2.	2.4	0.000000E+00
27	0.	10.	2.	4.8	0.000000E+00
28	0.	10.	2.	7.2	0.000000E+00
29	0.	10.	2.	9.6	0.000000E+00
30	0.	10.	2.	12.0	0.274002E-36
31	0.	10.	7.	2.4	0.000000E+00
32	0.	10.	7.	4.8	0.000000E+00
33	0.	10.	7.	7.2	0.342519E-18
34	0.	10.	7.	9.6	0.400341E-13
35	0.	10.	7.	12.0	0.172941E-11
36	0.	10.	12.	2.4	0.225654E-04
37	0.	10.	12.	4.8	0.359213E-04
38	0.	10.	12.	7.2	0.423249E-04
39	0.	10.	12.	9.6	0.604612E-04
40	0.	10.	12.	12.0	0.731845E-04
41	0.	10.	17.	2.4	0.000000E+00
42	0.	10.	17.	4.8	0.000000E+00
43	0.	10.	17.	7.2	0.342519E-18
44	0.	10.	17.	9.6	0.400341E-13

Продовження додатку В

45	0.	10.	17.	12.0	0.172941E-11
46	0.	10.	22.	2.4	0.000000E+00
47	0.	10.	22.	4.8	0.000000E+00
48	0.	10.	22.	7.2	0.000000E+00
49	0.	10.	22.	9.6	0.000000E+00
50	0.	10.	22.	12.0	0.274002E-36
51	0.	20.	2.	2.4	0.000000E+00
52	0.	20.	2.	4.8	0.000000E+00
53	0.	20.	2.	7.2	0.000000E+00
54	0.	20.	2.	9.6	0.000000E+00
55	0.	20.	2.	12.0	0.495489E-36
56	0.	20.	7.	2.4	0.000000E+00
57	0.	20.	7.	4.8	0.000000E+00
58	0.	20.	7.	7.2	0.685824E-18
59	0.	20.	7.	9.6	0.685824E-18
60	0.	20.	7.	12.0	0.355706E-11
61	0.	20.	12.	2.4	0.697845E-05
62	0.	20.	12.	4.8	0.711593E-05
63	0.	20.	12.	7.2	0.122223E-04
64	0.	20.	12.	9.6	0.305948E-04
65	0.	20.	12.	12.0	0.431518E-04
66	0.	20.	17.	2.4	0.000000E+00
67	0.	20.	17.	4.8	0.000000E+00
68	0.	20.	17.	7.2	0.685824E-18
69	0.	20.	17.	9.6	0.685824E-18
70	0.	20.	17.	12.0	0.355706E-11
71	0.	20.	22.	2.4	0.000000E+00
72	0.	20.	22.	4.8	0.000000E+00
73	0.	20.	22.	7.2	0.000000E+00
74	0.	20.	22.	9.6	0.000000E+00
75	0.	20.	22.	12.0	0.495489E-36
76	0.	30.	2.	2.4	0.000000E+00
77	0.	30.	2.	4.8	0.000000E+00
78	0.	30.	2.	7.2	0.000000E+00
79	0.	30.	2.	9.6	0.000000E+00
80	0.	30.	2.	12.0	0.000000E+00
81	0.	30.	7.	2.4	0.000000E+00
82	0.	30.	7.	4.8	0.000000E+00
83	0.	30.	7.	7.2	0.000000E+00
84	0.	30.	7.	9.6	0.000000E+00
85	0.	30.	7.	12.0	0.333404E-11
86	0.	30.	12.	2.4	0.169307E-04
87	0.	30.	12.	4.8	0.294611E-04
88	0.	30.	12.	7.2	0.294611E-04
89	0.	30.	12.	9.6	0.523265E-04
90	0.	30.	12.	12.0	0.568324E-04
91	0.	30.	17.	2.4	0.000000E+00
92	0.	30.	17.	4.8	0.000000E+00
93	0.	30.	17.	7.2	0.000000E+00
94	0.	30.	17.	9.6	0.000000E+00

Продовження додатку В

95	0.	30.	17.	12.0	0.333404E-11
96	0.	30.	22.	2.4	0.000000E+00
97	0.	30.	22.	4.8	0.000000E+00
98	0.	30.	22.	7.2	0.000000E+00
99	0.	30.	22.	9.6	0.000000E+00
100	0.	30.	22.	12.0	0.000000E+00
101	0.	40.	2.	2.4	0.000000E+00
102	0.	40.	2.	4.8	0.000000E+00
103	0.	40.	2.	7.2	0.000000E+00
104	0.	40.	2.	9.6	0.000000E+00
105	0.	40.	2.	12.0	0.341302E-36
106	0.	40.	7.	2.4	0.000000E+00
107	0.	40.	7.	4.8	0.000000E+00
108	0.	40.	7.	7.2	0.000000E+00
109	0.	40.	7.	9.6	0.000000E+00
110	0.	40.	7.	12.0	0.000000E+00
111	0.	40.	12.	2.4	0.266776E-04
112	0.	40.	12.	4.8	0.365479E-04
113	0.	40.	12.	7.2	0.365479E-04
114	0.	40.	12.	9.6	0.624982E-04
115	0.	40.	12.	12.0	0.793554E-04
116	0.	40.	17.	2.4	0.000000E+00
117	0.	40.	17.	4.8	0.000000E+00
118	0.	40.	17.	7.2	0.000000E+00
119	0.	40.	17.	9.6	0.000000E+00
120	0.	40.	17.	12.0	0.000000E+00
121	0.	40.	22.	2.4	0.000000E+00
122	0.	40.	22.	4.8	0.000000E+00
123	0.	40.	22.	7.2	0.000000E+00
124	0.	40.	22.	9.6	0.000000E+00
125	0.	40.	22.	12.0	0.341302E-36
126	10.	0.	2.	2.4	0.000000E+00
127	10.	0.	2.	4.8	0.000000E+00
128	10.	0.	2.	7.2	0.000000E+00
129	10.	0.	2.	9.6	0.000000E+00
130	10.	0.	2.	12.0	0.000000E+00
131	10.	0.	7.	2.4	0.000000E+00
132	10.	0.	7.	4.8	0.000000E+00
133	10.	0.	7.	7.2	0.257406E-18
134	10.	0.	7.	9.6	0.417056E-13
135	10.	0.	7.	12.0	0.702798E-13
136	10.	0.	12.	2.4	0.245174E-04
137	10.	0.	12.	4.8	0.350267E-04
138	10.	0.	12.	7.2	0.358370E-04
139	10.	0.	12.	9.6	0.547368E-04
140	10.	0.	12.	12.0	0.763240E-04
141	10.	0.	17.	2.4	0.000000E+00
142	10.	0.	17.	4.8	0.000000E+00
143	10.	0.	17.	7.2	0.257406E-18
144	10.	0.	17.	9.6	0.417056E-13

Продовження додатку В

145	10.	0.	17.	12.0	0.702798E-13
146	10.	0.	22.	2.4	0.000000E+00
147	10.	0.	22.	4.8	0.000000E+00
148	10.	0.	22.	7.2	0.000000E+00
149	10.	0.	22.	9.6	0.000000E+00
150	10.	0.	22.	12.0	0.000000E+00
151	10.	10.	2.	2.4	0.000000E+00
152	10.	10.	2.	4.8	0.000000E+00
153	10.	10.	2.	7.2	0.000000E+00
154	10.	10.	2.	9.6	0.000000E+00
155	10.	10.	2.	12.0	0.557244E-36
156	10.	10.	7.	2.4	0.000000E+00
157	10.	10.	7.	4.8	0.000000E+00
158	10.	10.	7.	7.2	0.000000E+00
159	10.	10.	7.	9.6	0.000000E+00
160	10.	10.	7.	12.0	0.207320E-11
161	10.	10.	12.	2.4	0.169607E-04
162	10.	10.	12.	4.8	0.282509E-04
163	10.	10.	12.	7.2	0.282509E-04
164	10.	10.	12.	9.6	0.446338E-04
165	10.	10.	12.	12.0	0.597480E-04
166	10.	10.	17.	2.4	0.000000E+00
167	10.	10.	17.	4.8	0.000000E+00
168	10.	10.	17.	7.2	0.000000E+00
169	10.	10.	17.	9.6	0.000000E+00
170	10.	10.	17.	12.0	0.207320E-11
171	10.	10.	22.	2.4	0.000000E+00
172	10.	10.	22.	4.8	0.000000E+00
173	10.	10.	22.	7.2	0.000000E+00
174	10.	10.	22.	9.6	0.000000E+00
175	10.	10.	22.	12.0	0.557244E-36
176	10.	20.	2.	2.4	0.000000E+00
177	10.	20.	2.	4.8	0.000000E+00
178	10.	20.	2.	7.2	0.000000E+00
179	10.	20.	2.	9.6	0.000000E+00
180	10.	20.	2.	12.0	0.167416E-36
181	10.	20.	7.	2.4	0.000000E+00
182	10.	20.	7.	4.8	0.000000E+00
183	10.	20.	7.	7.2	0.000000E+00
184	10.	20.	7.	9.6	0.173376E-13
185	10.	20.	7.	12.0	0.173376E-13
186	10.	20.	12.	2.4	0.148991E-04
187	10.	20.	12.	4.8	0.208642E-04
188	10.	20.	12.	7.2	0.208642E-04
189	10.	20.	12.	9.6	0.418047E-04
190	10.	20.	12.	12.0	0.528165E-04
191	10.	20.	17.	2.4	0.000000E+00
192	10.	20.	17.	4.8	0.000000E+00
193	10.	20.	17.	7.2	0.000000E+00
194	10.	20.	17.	9.6	0.173376E-13

Продовження додатку В

195	10.20.	17.	12.0	0.173376E-13
196	10.20.	22.	2.4	0.000000E+00
197	10.20.	22.	4.8	0.000000E+00
198	10.20.	22.	7.2	0.000000E+00
199	10.20.	22.	9.6	0.000000E+00
200	10.20.	22.	12.0	0.167416E-36
201	10.30.	2.	2.4	0.000000E+00
202	10.30.	2.	4.8	0.000000E+00
203	10.30.	2.	7.2	0.000000E+00
204	10.30.	2.	9.6	0.000000E+00
205	10.30.	2.	12.0	0.127173E-36
206	10.30.	7.	2.4	0.000000E+00
207	10.30.	7.	4.8	0.000000E+00
208	10.30.	7.	7.2	0.000000E+00
209	10.30.	7.	9.6	0.000000E+00
210	10.30.	7.	12.0	0.216809E-11
211	10.30.	12.	2.4	0.120765E-04
212	10.30.	12.	4.8	0.182270E-04
213	10.30.	12.	7.2	0.198190E-04
214	10.30.	12.	9.6	0.431132E-04
215	10.30.	12.	12.0	0.527491E-04
216	10.30.	17.	2.4	0.000000E+00
217	10.30.	17.	4.8	0.000000E+00
218	10.30.	17.	7.2	0.000000E+00
219	10.30.	17.	9.6	0.000000E+00
220	10.30.	17.	12.0	0.216809E-11
221	10.30.	22.	2.4	0.000000E+00
222	10.30.	22.	4.8	0.000000E+00
223	10.30.	22.	7.2	0.000000E+00
224	10.30.	22.	9.6	0.000000E+00
225	10.30.	22.	12.0	0.127173E-36
226	10.40.	2.	2.4	0.000000E+00
227	10.40.	2.	4.8	0.000000E+00
228	10.40.	2.	7.2	0.000000E+00
229	10.40.	2.	9.6	0.000000E+00
230	10.40.	2.	12.0	0.876720E-37
231	10.40.	7.	2.4	0.000000E+00
232	10.40.	7.	4.8	0.000000E+00
233	10.40.	7.	7.2	0.175781E-17
234	10.40.	7.	9.6	0.155077E-13
235	10.40.	7.	12.0	0.155077E-13
236	10.40.	12.	2.4	0.190672E-04
237	10.40.	12.	4.8	0.231905E-04
238	10.40.	12.	7.2	0.231905E-04
239	10.40.	12.	9.6	0.404170E-04
240	10.40.	12.	12.0	0.548624E-04
241	10.40.	17.	2.4	0.000000E+00
242	10.40.	17.	4.8	0.000000E+00
243	10.40.	17.	7.2	0.175781E-17
244	10.40.	17.	9.6	0.155077E-13

Продовження додатку В

245	10.	40.	17.	12.0	0.155077E-13
246	10.	40.	22.	2.4	0.000000E+00
247	10.	40.	22.	4.8	0.000000E+00
248	10.	40.	22.	7.2	0.000000E+00
249	10.	40.	22.	9.6	0.000000E+00
250	10.	40.	22.	12.0	0.876720E-37
251	20.	0.	2.	2.4	0.000000E+00
252	20.	0.	2.	4.8	0.000000E+00
253	20.	0.	2.	7.2	0.000000E+00
254	20.	0.	2.	9.6	0.000000E+00
255	20.	0.	2.	12.0	0.147386E-36
256	20.	0.	7.	2.4	0.000000E+00
257	20.	0.	7.	4.8	0.000000E+00
258	20.	0.	7.	7.2	0.107977E-17
259	20.	0.	7.	9.6	0.107977E-17
260	20.	0.	7.	12.0	0.308272E-11
261	20.	0.	12.	2.4	0.121627E-04
262	20.	0.	12.	4.8	0.150608E-04
263	20.	0.	12.	7.2	0.150608E-04
264	20.	0.	12.	9.6	0.328730E-04
265	20.	0.	12.	12.0	0.487632E-04
266	20.	0.	17.	2.4	0.000000E+00
267	20.	0.	17.	4.8	0.000000E+00
268	20.	0.	17.	7.2	0.107977E-17
269	20.	0.	17.	9.6	0.107977E-17
270	20.	0.	17.	12.0	0.308272E-11
271	20.	0.	22.	2.4	0.000000E+00
272	20.	0.	22.	4.8	0.000000E+00
273	20.	0.	22.	7.2	0.000000E+00
274	20.	0.	22.	9.6	0.000000E+00
275	20.	0.	22.	12.0	0.147386E-36
276	20.	10.	2.	2.4	0.000000E+00
277	20.	10.	2.	4.8	0.000000E+00
278	20.	10.	2.	7.2	0.000000E+00
279	20.	10.	2.	9.6	0.000000E+00
280	20.	10.	2.	12.0	0.269867E-36
281	20.	10.	7.	2.4	0.000000E+00
282	20.	10.	7.	4.8	0.000000E+00
283	20.	10.	7.	7.2	0.000000E+00
284	20.	10.	7.	9.6	0.211606E-13
285	20.	10.	7.	12.0	0.211606E-13
286	20.	10.	12.	2.4	0.122525E-04
287	20.	10.	12.	4.8	0.154364E-04
288	20.	10.	12.	7.2	0.154364E-04
289	20.	10.	12.	9.6	0.324532E-04
290	20.	10.	12.	12.0	0.445452E-04
291	20.	10.	17.	2.4	0.000000E+00
292	20.	10.	17.	4.8	0.000000E+00
293	20.	10.	17.	7.2	0.000000E+00
294	20.	10.	17.	9.6	0.211606E-13

Продовження додатку В

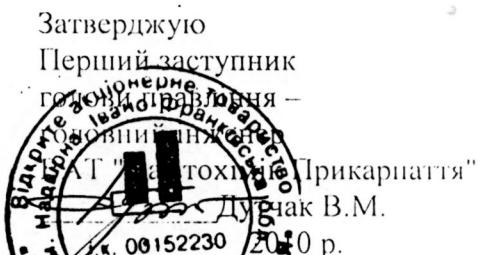
295	20.	10.	17.	12.0	0.211606E-13
296	20.	10.	22.	2.4	0.000000E+00
297	20.	10.	22.	4.8	0.000000E+00
298	20.	10.	22.	7.2	0.000000E+00
299	20.	10.	22.	9.6	0.000000E+00
300	20.	10.	22.	12.0	0.269867E-36
301	20.	20.	2.	2.4	0.000000E+00
302	20.	20.	2.	4.8	0.000000E+00
303	20.	20.	2.	7.2	0.000000E+00
304	20.	20.	2.	9.6	0.000000E+00
305	20.	20.	2.	12.0	0.468456E-36
306	20.	20.	7.	2.4	0.000000E+00
307	20.	20.	7.	4.8	0.000000E+00
308	20.	20.	7.	7.2	0.224849E-17
309	20.	20.	7.	9.6	0.224849E-17
310	20.	20.	7.	12.0	0.224849E-17
311	20.	20.	12.	2.4	0.492544E-05
312	20.	20.	12.	4.8	0.704720E-05
313	20.	20.	12.	7.2	0.980492E-05
314	20.	20.	12.	9.6	0.302642E-04
315	20.	20.	12.	12.0	0.425541E-04
316	20.	20.	17.	2.4	0.000000E+00
317	20.	20.	17.	4.8	0.000000E+00
318	20.	20.	17.	7.2	0.224849E-17
319	20.	20.	17.	9.6	0.224849E-17
320	20.	20.	17.	12.0	0.224849E-17
321	20.	20.	22.	2.4	0.000000E+00
322	20.	20.	22.	4.8	0.000000E+00
323	20.	20.	22.	7.2	0.000000E+00
324	20.	20.	22.	9.6	0.000000E+00
325	20.	20.	22.	12.0	0.468456E-36
326	20.	30.	2.	2.4	0.000000E+00
327	20.	30.	2.	4.8	0.000000E+00
328	20.	30.	2.	7.2	0.000000E+00
329	20.	30.	2.	9.6	0.000000E+00
330	20.	30.	2.	12.0	0.154987E-36
331	20.	30.	7.	2.4	0.000000E+00
332	20.	30.	7.	4.8	0.000000E+00
333	20.	30.	7.	7.2	0.000000E+00
334	20.	30.	7.	9.6	0.326848E-13
335	20.	30.	7.	12.0	0.175803E-11
336	20.	30.	12.	2.4	0.536896E-05
337	20.	30.	12.	4.8	0.536896E-05
338	20.	30.	12.	7.2	0.536896E-05
339	20.	30.	12.	9.6	0.255279E-04
340	20.	30.	12.	12.0	0.332719E-04
341	20.	30.	17.	2.4	0.000000E+00
342	20.	30.	17.	4.8	0.000000E+00
343	20.	30.	17.	7.2	0.000000E+00
344	20.	30.	17.	9.6	0.326848E-13

Продовження додатку В

345	20.	30.	17.	12.0	0.175803E-11
346	20.	30.	22.	2.4	0.000000E+00
347	20.	30.	22.	4.8	0.000000E+00
348	20.	30.	22.	7.2	0.000000E+00
349	20.	30.	22.	9.6	0.000000E+00
350	20.	30.	22.	12.0	0.154987E-36
351	20.	40.	2.	2.4	0.000000E+00
352	20.	40.	2.	4.8	0.000000E+00
353	20.	40.	2.	7.2	0.000000E+00
354	20.	40.	2.	9.6	0.000000E+00
355	20.	40.	2.	12.0	0.131277E-36
356	20.	40.	7.	2.4	0.000000E+00
357	20.	40.	7.	4.8	0.000000E+00
358	20.	40.	7.	7.2	0.135867E-17
359	20.	40.	7.	9.6	0.116780E-13
360	20.	40.	7.	12.0	0.430511E-11
361	20.	40.	12.	2.4	0.162117E-04
362	20.	40.	12.	4.8	0.170241E-04
363	20.	40.	12.	7.2	0.170241E-04
364	20.	40.	12.	9.6	0.382579E-04
365	20.	40.	12.	12.0	0.469939E-04
366	20.	40.	17.	2.4	0.000000E+00
367	20.	40.	17.	4.8	0.000000E+00
368	20.	40.	17.	7.2	0.135867E-17
369	20.	40.	17.	9.6	0.116780E-13
370	20.	40.	17.	12.0	0.430511E-11
371	20.	40.	22.	2.4	0.000000E+00
372	20.	40.	22.	4.8	0.000000E+00
373	20.	40.	22.	7.2	0.000000E+00
374	20.	40.	22.	9.6	0.000000E+00
375	20.	40.	22.	12.0	0.131277E-36
376	30.	0.	2.	2.4	0.000000E+00
377	30.	0.	2.	4.8	0.000000E+00
378	30.	0.	2.	7.2	0.000000E+00
379	30.	0.	2.	9.6	0.000000E+00
380	30.	0.	2.	12.0	0.421487E-36
381	30.	0.	7.	2.4	0.000000E+00
382	30.	0.	7.	4.8	0.000000E+00
383	30.	0.	7.	7.2	0.000000E+00
384	30.	0.	7.	9.6	0.000000E+00
385	30.	0.	7.	12.0	0.259072E-11
386	30.	0.	12.	2.4	0.142834E-04
387	30.	0.	12.	4.8	0.142834E-04
388	30.	0.	12.	7.2	0.142834E-04
389	30.	0.	12.	9.6	0.313073E-04
390	30.	0.	12.	12.0	0.461753E-04
391	30.	0.	17.	2.4	0.000000E+00
392	30.	0.	17.	4.8	0.000000E+00
393	30.	0.	17.	7.2	0.000000E+00
394	30.	0.	17.	9.6	0.000000E+00



Затверджую
Проректор з наукової роботи
роботи ІФНТУНГ
проф. Кацман О. М.
2010 р.



АКТ

впровадження результатів дисертаційної роботи

Наследнікової Майї Анатоліївни

"ПІДВИЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ В РЕГІОНАХ
ЕКСПЛУАТАЦІЇ НАФТОСХОВИЩ"

Ми, які підписалися нижче, склали акт по те, що результати дисертаційної роботи Наследнікової Майї Анатоліївни "Підвищення екологічної безпеки в регіонах експлуатації нафтосховищ" у вигляді пакету програмних продуктів для розрахунку викидів шкідливих речовин у атмосферу з резервуарів на протязі будь-якого періоду часу їх роботи з накопиченням інформації про викиди, а також викидів від згорання природного газу при переробці нафти і розроблену методику захисту поверхні нафти і нафтопродуктів у резервуарах піноактивними речовинами, які зменшують викиди в атмосферу і підвищують екологічну безпеку, передані ВАТ "Нафтохімік Прикарпаття". Очікуваний економічний ефект від упровадження розробок по захисту атмосфери від шкідливих випаровувань нафти і нафтопродуктів на ВАТ "Нафтохімік Прикарпаття" становить 48 тис. грн./ рік.

Зав. кафедри
безпеки життєдіяльності
ІФНТУНГ, д. т. н., проф.

Семчук Я. М.

Аспірант
Наследнікова М. А.

Начальник товарно -
сировинного цеху
ВАТ "Нафтохімік Прикарпаття"

Івашків О. І.



Затверджую
Проректор з наукової
роботи ІФНТУНГ
проф. Карнаш О. М.
26-06 2010 р.



АКТ

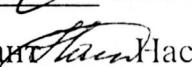
впровадження результатів дисертаційної роботи

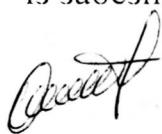
Наследнікової Майї Анатоліївни

"ПІДВІЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ В РЕГІОНАХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ НАФТОСХОВИЩ"

Ми, які підписалися нижче, склали акт по те, що результати дисертаційної роботи Наследнікової Майї Анатоліївни "Підвищення екологічної безпеки в регіонах експлуатації нафтосховищ" у вигляді пакету програмних продуктів для розрахунку викидів шкідливих речовин у атмосферу з резервуарів на протязі будь-якого періоду часу їх роботи з накопиченням інформації про викиди, а також викидів від згорання природного газу при переробці нафти і розроблену методику захисту поверхні нафти і нафтопродуктів у резервуарах піноактивними речовинами, які зменшують викиди в атмосферу і підвищують екологічну безпеку, передані НПК "Галичина". Очікуваний економічний ефект від упровадження розробок по захисту атмосфери від шкідливих викидів нафти і нафтопродуктів на НПК "Галичина" становить 57 тис. грн./рік.

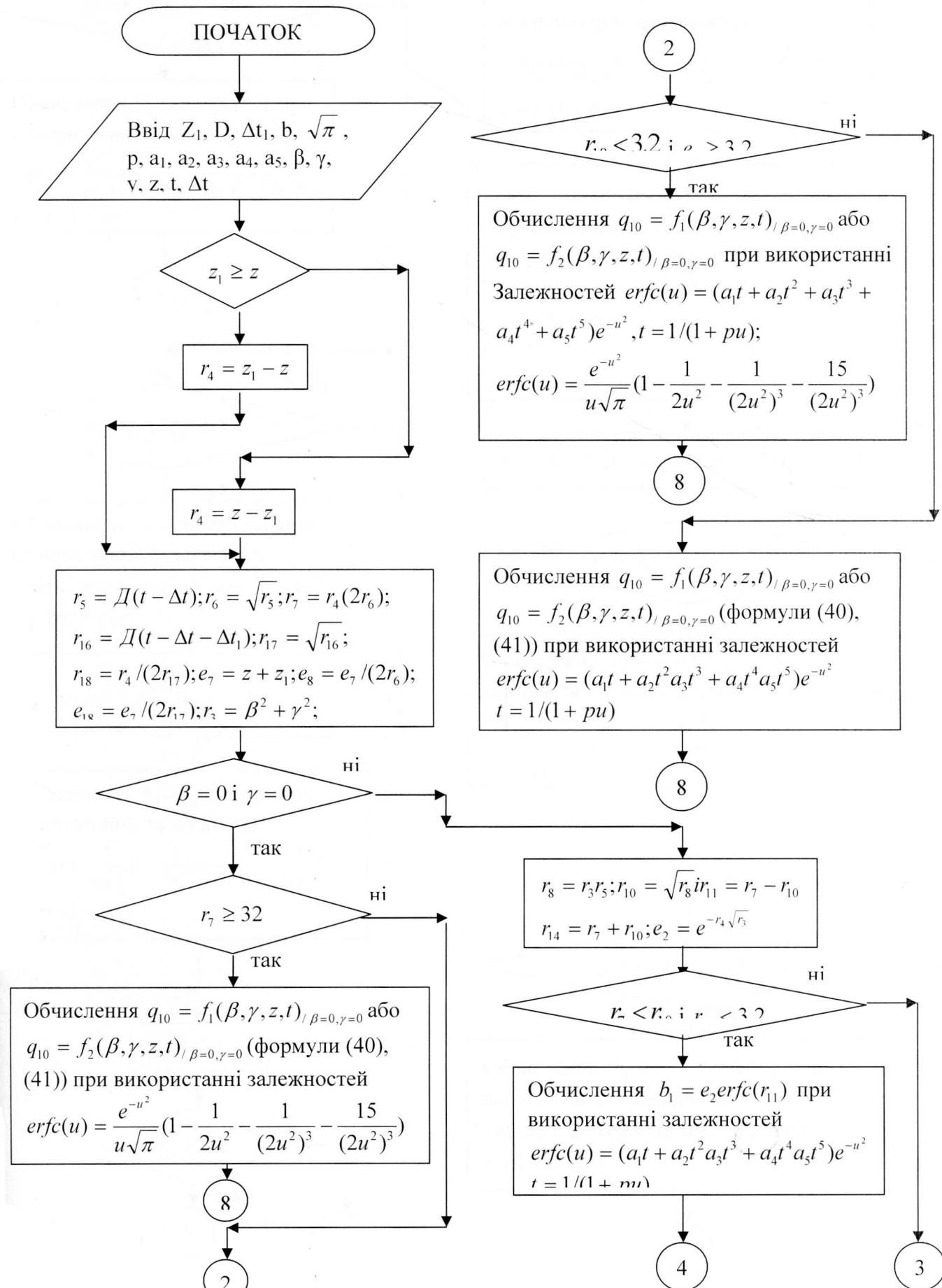
Зав. кафедри
безпеки життєдіяльності
ІФНТУНГ, д. т. н., проф.

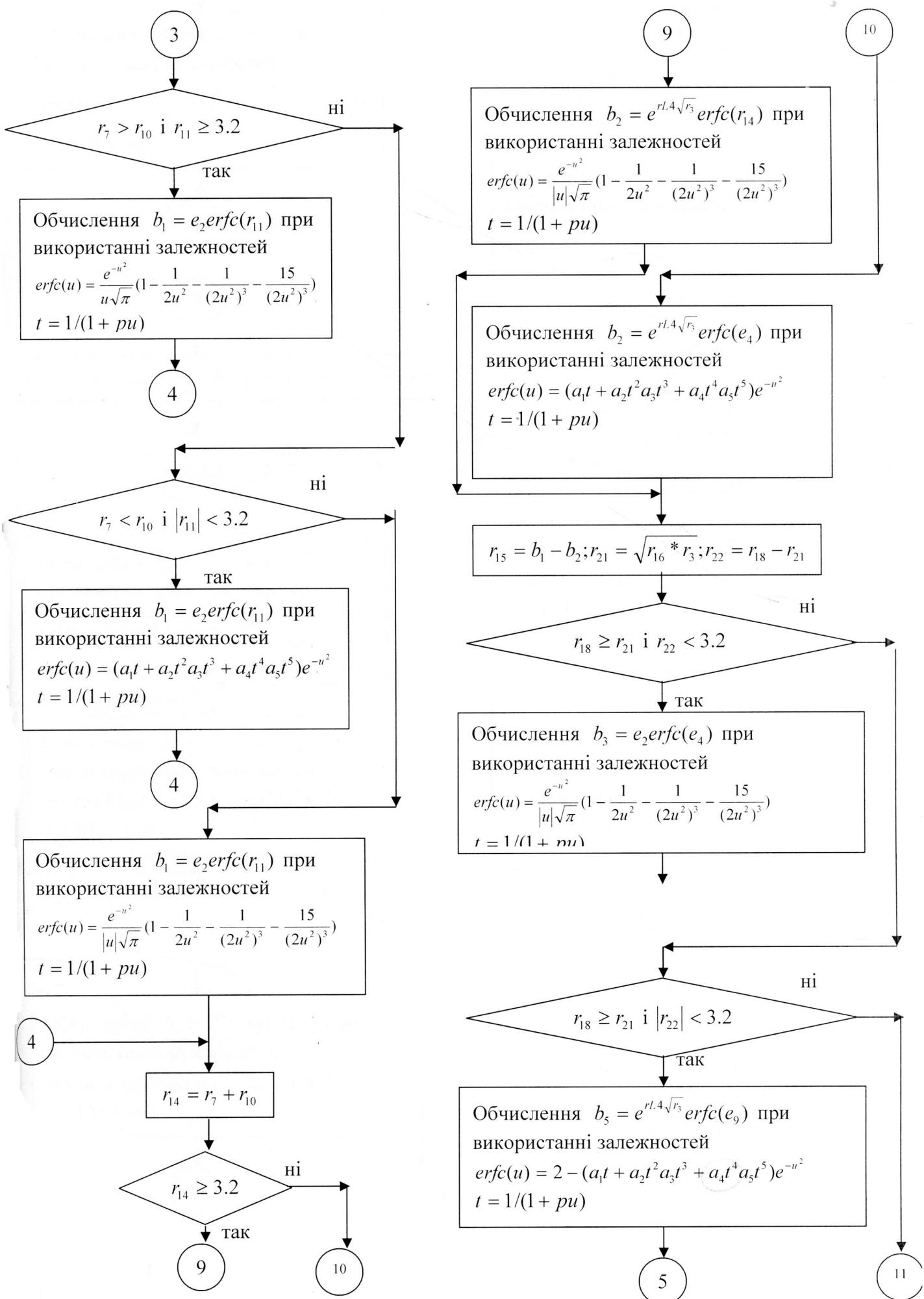
Семчук Я. М.
Аспірант  Наследнікова М. А.

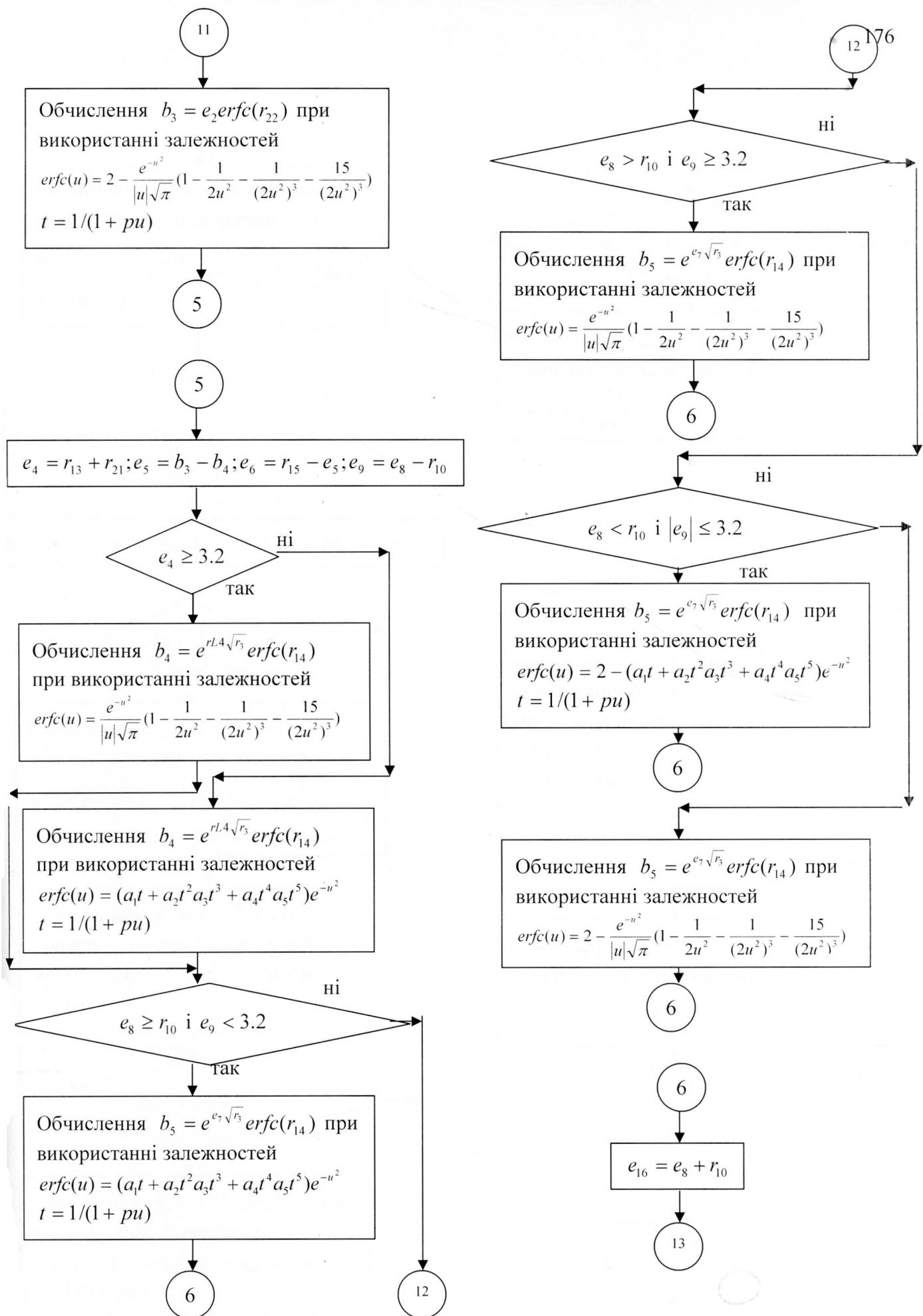
Начальник управління
із забезпечення виробництва

НПК "Галичина"
Огар М. Я.

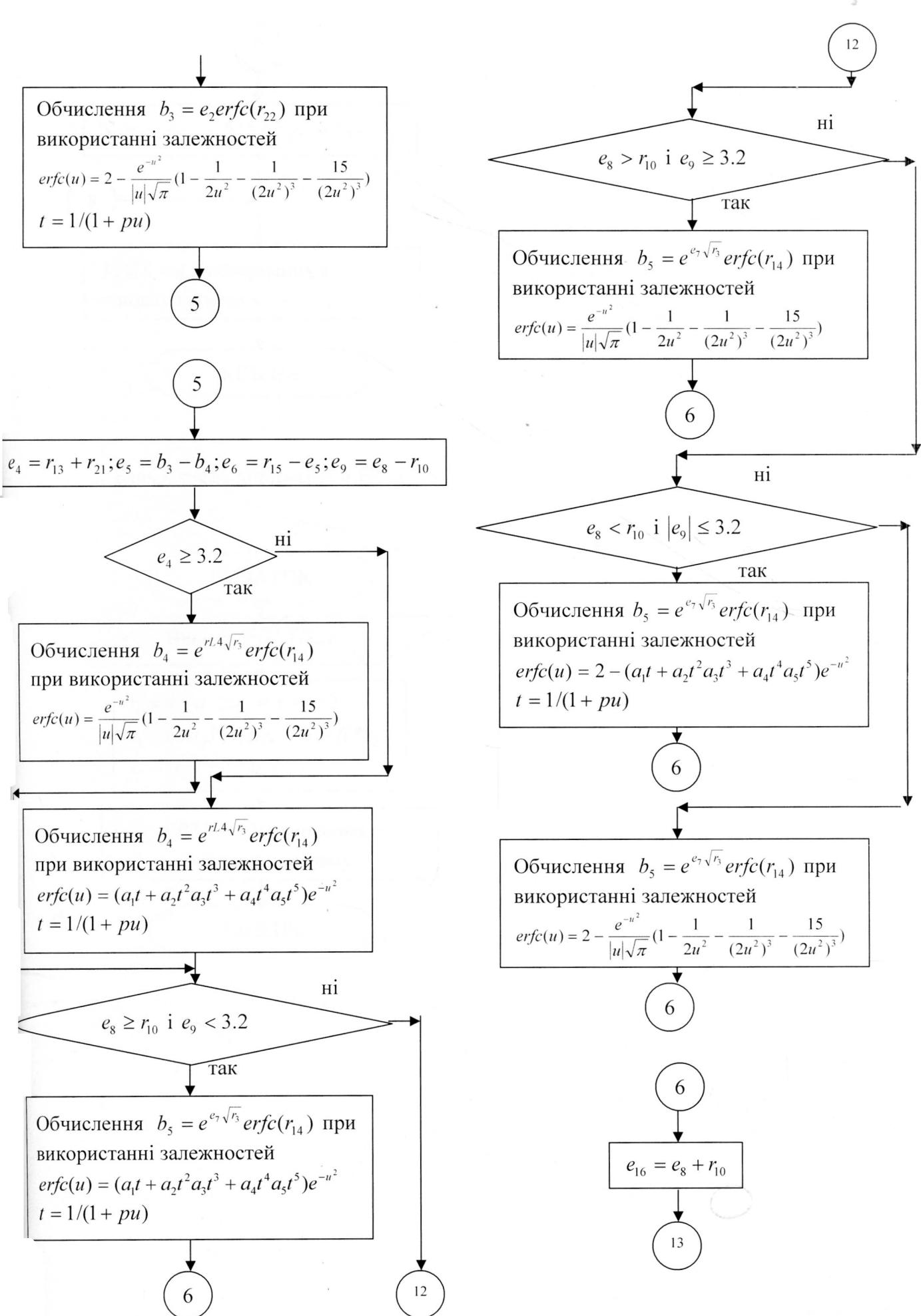
Додаток Е

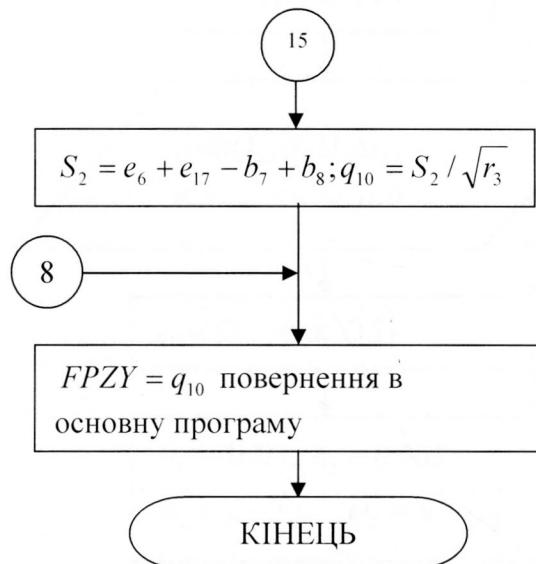
Блок – схема розрахунку викидів забруднень у атмосферу.











Блок – схема підпрограми FPX1



