

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

На правах рукопису

УДК 622.691.4.004.67 (046)

158

ЛІНЧЕВСЬКИЙ МИХАЙЛО ПЕТРОВИЧ

РОЗРОБКА МЕТОДІВ КЕРУВАННЯ СИСТЕМОЮ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ  
АВАРІЙНИМИ ЗАПАСАМИ ТРУБ ДЛЯ РЕМОНТУ ЛІНІЙНОЇ  
ЧАСТИНИ МАГІСТРАЛЬНИХ ГАЗОПРОВОДІВ

Спеціальність 05.15.13 – Нафтогазопроводи, бази та сховища

Дисертація

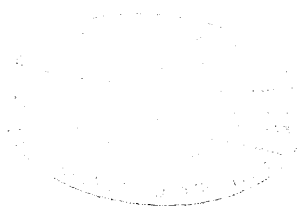
на здобуття наукового ступеня

кандидата технічних наук

Науковий керівник

кандидат технічних наук,

доцент Михалків В.Б.



Івано-Франківськ-2001

с/л 104

## ЗМІСТ

	Стор.
ВСТУП	4
Розділ 1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ПІДХОДІВ ДО СТВОРЕННЯ СИСТЕМИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АВАРІЙНИМ ЗАПАСОМ ДЛЯ ЛІНІЙНОЇ ЧАСТИНИ МАГІСТРАЛЬНОГО ГАЗОПРОВОДУ	9
1.1. Перспективні методи теорії керування запасами	10
1.2. Аналіз організації забезпечення аварійним запасом лінійної частини магістральних газопроводів	18
1.3. Комплексне формування основних задач дисертаційного дослідження	26
Розділ 2. ФОРМУВАННЯ ОСНОВНИХ ПОКАЗНИКІВ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АВАРІЙНИМ ЗАПАСОМ ТРУБ ЛІНІЙНОЇ ЧАСТИНИ МАГІСТРАЛЬНОГО ГАЗОПРОВОДУ	35
2.1. Обґрунтування системного підходу до формування системи аварійних запасів труб для ЛЧ МГ	35
2.2. Обґрунтування і формування показника ефективності функціонування системи забезпечення аварійним запасом труб для ЛЧ МГ	45
2.3. Оцінка і прогнозування розміру потреби в запасних частинах на аварійний ремонт і обґрунтування вибору умовного елемента заміни	55
Розділ 3. РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ПЛАНУВАННЯ, ФОРМУВАННЯ І РОЗМІЩЕННЯ АВАРІЙНОГО ЗАПАСУ ТРУБ ЛІНІЙНОЇ ЧАСТИНИ МАГІСТРАЛЬНОГО ГАЗОПРОВОДУ	63

3.1.	Оцінка прогнозування параметра потоку заявок на запасні частини й устаткування для аварійного ремонту МГ	64
3.2.	Математична модель функціонування системи складування запасів для аварійного ремонту ЛЧ МГ	71
3.3.	Окремі задачі удосконалювання системи забезпечення аварійним запасом ЛЧ МГ	85
Розділ 4	РЕАЛІЗАЦІЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АВАРІЙНИМИ ЗАПАСАМИ ДЛЯ РЕМОНТУ ЛІНІЙНОЇ ЧАСТИНИ МАГІСТРАЛЬНИХ ГАЗОПРОВІДІВ У ФОРМІ ПАКЕТА ПРИКЛАДНИХ ПРОГРАМ ДЛЯ ПЕРСОНАЛЬНОЇ ЕЛЕКТРОННО-ОБЧИСЛЮВАЛЬНОЇ МАШИНИ (ПЕОМ)	94
4.1.	Вимоги, запропоновані до програмного комплексу	95
4.2.	Схема програмного комплексу, що реалізує задачі функціонування системи забезпечення аварійним запасом для ЛЧ МГ	104
4.3.	Дослідження ефективності методів забезпечення аварійним запасом ЛЧ МГ із застосуванням програмного комплексу	113
	ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	127
	ЛІТЕРАТУРА	134
	ДОДАТКИ	
	Блок-схема розрахунку імовірнісного функціоналу	144
	Блок-схема розрахунку витратного функціоналу	157

## ВСТУП

Газова промисловість є в даний час головною галуззю паливно-енергетичного комплексу. Близько половини виробництва первинних енергоресурсів у країні припадає на природний газ.

З ряду історичних обставин найпотужніші магістральні газопроводи, що експлуатуються в Україні, споруджені у період 1965...1980 р.р., і знаходяться у періоді старіння, який характеризується зростанням видатків на ремонтні та відновлювальні роботи.

До 90-х років двадцятого століття в Україні панувала жорстка планова система керування господарською діяльністю, збудована за вертикальним принципом підпорядкування, в яку входила система забезпечення матеріально-технічними ресурсами. При переході на горизонтальні зв'язки в господарюванні виникла необхідність у створенні нової системи забезпечення запасами для лінійної частини магістральних газопроводів, що неможливе без аналізу уже існуючої.

Насущні потреби експлуатації магістральних газопроводів і важке економічне становище газотранспортного комплексу зумовили необхідність пошуку більш доскональних форм створення аварійних запасів труб для ремонту лінійної частини магістральних газопроводів (ЛЧ МГ) в умовах договірних відносин, фінансових труднощів за рахунок коригування існуючих форм і більш ретельного врахування специфічних умов експлуатації газотранспортної системи магістральних газопроводів.

**Актуальність теми.** Питання забезпечення складних технічних систем запасними елементами, у тому числі для аварійного ремонту (аварійний запас), успішно вирішені в багатьох галузях промисловості, особливо тих, де мова йде про компактні технічні системи [16,35,36,40,69,70]. У той же час, організація керування матеріально-технічними ресурсами в трубопровідному транспорті має певну специфіку,

яка полягає в тому, що аналізований об'єкт володіє великою лінійною протяжністю; є жорстке обмеження по дефіциту, зумовлене тим, що у випадку відсутності потрібного елемента неможлива експлуатація газопроводу, що веде до зростання збитків споживачів унаслідок недопоставки газу за час проведення аварійно-відбудовних робіт. Необхідно враховувати також, що труби - це дефіцитний і дорогий виріб, а їхня металоємність створює певні складності при зберіганні.

В існуючих роботах, присвячених проблемі створення аварійного запасу труб на газопроводах не враховується ряд специфічних особливостей, пов'язаних із реальними умовами господарювання.

У зв'язку з цим дуже актуальною є розробка моделі керування запасами, яка максимально наближена до реальних умов і в якій враховується:

- зміна показника аварійності по довжині газопроводу;
- зміна показника ремонтпридатності по довжині траси;
- конфігурація газотранспортної системи (наприклад, наявність або відсутність лупінгів, зміна діаметра газопроводу або числа ниток, віддаленість від пункту складування) - необхідність коригування кількості пунктів складування запасів і розмір ділянок, закріплених за пунктом складування;
- обмеження на розміщення пунктів складування аварійного запасу;
- необхідність розробки стратегії створення і поповнення запасів труб і матеріалів для аварійно-відбудовних ремонтів на газопроводах, прив'язаної до жорсткого графіка постачань, що виключає екстрені постачання, і яка враховує перерозподіли поточного запасу між пунктами зберігання в проміжку між черговими постачаннями з метою запобігання виникнення локального дефіциту.

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

Робота носить прикладний характер і входить в комплекс розробок ДК

Укртрансгаз, спрямованих на підвищення надійності та довговічності експлуатації газотранспортного комплексу України.

**Мета роботи.** Удосконалення системи забезпечення аварійним запасом труб лінійної частини газопроводів на основі врахування фактору надійності їх експлуатації.

**Основні задачі досліджень.** 1. Аналіз підходів до створення системи забезпечення лінійної частини газопроводу аварійним запасом труб.

2. Розробка математичної моделі функціонування системи забезпечення аварійним запасом труб.

3. Розробка методики оцінки ефективності функціонування системи забезпечення аварійним запасом труб.

4. Автоматизація обліку і контролю за переміщенням аварійного запасу труб.

**Наукова новизна.** 1. На основі проведених досліджень одержано розв'язок науково-технічної проблеми раціонального формування аварійних запасів труб для лінійної ділянки газопровода.

2. Запропоновано новий принцип формування аварійних запасів труб, який базується на врахуванні нерівномірності розподілу показників аварійності по трасі газопроводу.

3. Розроблено системний підхід до задачі раціонального формування аварійних запасів труб, що включає формування основних показників ефективності її функціонування і на їх основі реалізацію математичної моделі.

4. Розроблено методики, алгоритми і програми для реалізації запропонованих підходів .

**Теоретична і практична цінність досліджень.** Теоретична і практична цінність проведених досліджень полягає в створенні і розвитку нового концептуального підходу до формування аварійного запасу труб для магістральних газопроводів, що базується на результатах статистичних

та аналітичних досліджень, розробці алгоритмічного і програмного забезпечення та впровадженні розробок в практику.

### **Особистий вклад автора в одержанні наукових результатів.**

1. Автором вперше запропоновано новий принцип формування аварійних запасів труб з врахуванням фактору надійності газопроводу [45]
2. Автором розроблено основи моделювання забезпечення надійності газопроводу шляхом удосконалення системи розподілу аварійних запасів труб [43,44].
3. Автором теоретично обгрунтовано формування основних показників, що впливають на ефективність функціонування системи забезпечення аварійним запасом труб [19,41,42].
4. Пошукувач брав безпосередню участь у впровадженні результатів досліджень, одержаних в роботі, складанні галузевих керівних документів. При його безпосередній участі складено галузеву методику [ 20].

**Апробація роботи.** Основні результати дисертаційної роботи висвітлено в доповідях і повідомленнях на:

науково-технічній конференції професорсько-викладацького складу Івано-Франківського державного технічного університету нафти і газу. (Івано-Франківськ,1996).

конференції професорсько-викладацького складу Івано-Франківського державного технічного університету нафти і газу. (Івано-Франківськ, 1997).

науково-практичній конференції "Шляхи підвищення якості підготовки спеціалістів для будівництва та експлуатації систем трубопровидного транспорту" (Івано-Франківськ,1998).

науково-технічній конференції "Нафта і газ України" (Харків, 1995).

науково-практичній конференції "Єтан, проблеми і перспективи розвитку нафтогазового комплексу Західного регіону України" (Львів, 1995)

В повному об'ємі результати досліджень доповідались на засіданні кафедри спорудження та ремонту газонафтопроводів і газонафтосховищ ІФНТУНГ і науково-технічному семінарі факультету нафтогазопроводів.

**Публікації.** По темі дисертації опубліковано 6 друкованих робіт.

**Обсяг роботи.** Дисертація складається з вступу, 4 розділів, підсумкових висновків та переліку використаних літературних джерел, що містить 91 найменування. Основний зміст дисертації викладено на 166 сторінках машинописного тексту 21 рисунку, 6 таблицях і додатках.



## РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ПІДХОДІВ ДО СТВОРЕННЯ СИСТЕМИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АВАРІЙНИМ ЗАПАСОМ ДЛЯ ЛІНІЙНОЇ ЧАСТИНИ МАГІСТРАЛЬНОГО ГАЗОПРОВОДУ

Надійність газотранспортної системи визначається не тільки частотою виникнення відмов, але й терміном їх ліквідації. При тривалих ремонтно-відновлювальних роботах, які вимагають зупинки газопроводу, збільшується час вимушеного простою, що призводить до зменшення коефіцієнта надійності і готовності. Тому забезпечення швидкої ліквідації аварійних відмов – це один з шляхів підвищення надійності газопостачання.

Ліквідація аварій на газопроводі, як технологічний процес є надзвичайно складною процедурою. Загальний час ліквідації пошкодження складається з часу визначення місця аварії, розробки плану ліквідації, часу транспортних перевезень і власне часу ліквідації несправності. Серед перерахованих операцій чи не найтривалішою і операція транспортних перевезень. Найбільш тривалим і кропітким процесом серед транспортних перевезень є вибір, підготовка і перевезення труб, які необхідні для ліквідації майже кожної аварії. Тому наявність труб на місці ліквідації пошкодження або їх перевезення з невеликим плечем дозволяють суттєво скоротити час транспортних перевезень, а отже підвищити надійність функціонування газотранспортної системи.

На даний час з метою скорочення часу транспортування труб з місця зберігання до місця аварії на трасі газопроводів розміщено пункти складування труб. Однак, пункти складування розташовані по трасі або рівномірно, або на основі практичного досвіду експлуатації газопроводу. Кількість труб на кожному з пунктів здебільшого визначається апіорно. Тому в ряді випадків на цих пунктах створюється надлишок запасу труб, а самі пункти складування розміщені не в відповідності з їх потребою.

Аналіз існуючої системи створення аварійного запасу труб по трасі газопроводів повинен дати відповіді на запитання: яким критеріям повинна підпорядковуватись система створення аварійного запасу труб і їх складування по трасі газопроводу.

### 1.1. Перспективні методи теорії керування запасами

Забезпечення різноманітних потреб промисловості, а також підвищення якості обслуговування населення нерозривно пов'язані з розвитком і удосконалюванням інженерних систем масового обслуговування. Надійність функціонування системи газопостачання є однією з умов підвищення рівня життя і благоустрою населених місць, а також безперебійної роботи промислових підприємств. У постановці задач забезпечення надійності систем масового обслуговування і у методах їхнього розрахунку, резервування і оцінки є багато загальних рис. А створення запасів, їхнє складування, розподіл і поповнення характерні для всіх видів господарської діяльності.

Виникнення теорії керування запасами прийнято зв'язувати з іменами Ф.Еджуорта і Ф.Харриса, у роботах яких досліджувалася проста оптимізаційна модель визначення так званого економічного розміру партії постачання для складської системи з постійною рівномірною витратою, періодичною рівномірною витратою і періодичним надходженням збереженого продукту, тобто інтенсивність попиту розглядалася, як детермінована постійна величина [86,90]. Швидкий розвиток цієї теорії почався вже в повоєнний період у рамках групи прикладних математичних дисциплін, традиційно об'єднаних назвою "Дослідження операцій". У даний час теорію керування запасами найбільше природно розглядати як розділ загальної теорії керування. Задачі керування

запасами достатньо широкі внаслідок великої розмаїтості практичних ситуацій.

Практично значимі досягнення теорії керування запасами належать вітчизняним ученим: Б.В.Гнеденко, Г.Б.Рубальському, И.А.Ушакову, А.Э.Шура-Бура й ін., а так само закордонним дослідникам: Д.Маклеви, Н.Прабху, У.Черчмену й ін.

Відповідно до [46], системи керування запасами можна класифікувати за багатьма ознаками:

- вид запасів (сировина, напівфабрикати, готова продукція, запасні елементи);
- місце складування (виробник, споживач, постачальницька база та ін.);
- структура системи (ізолюваний склад, послідовна система складів, ієрархічна система, розімкнута або замкнута по попиту система);
- структура запасів (монономенклатурні або багатноменклатурні запаси, взаємозамінність, обмеженість терміну придатності, усталеність до складування);
- статистичні характеристики процесів попиту і постачань (стаціонарність, корельованість попиту, керованість, випадковість постачань);
- мета системи (вартісні і імовірнісні критерії, багатокритеріальність);
- обмеження (на об'єм і номенклатуру запасів, на розміри партій постачань, на надійність і економічні характеристики процесу постачання);
- інформаційні характеристики (періодичність збору даних, визначення попиту, повнота знань про коефіцієнти втрат).

Різноманітні сполучення цих і ряду інших ознак визначають різноманіття задач керування запасами.

Незважаючи на велике число публікацій по теорії керування запасами, особливо в західній літературі [84,85,87,88,89,91] , далеко не всі

моделі можуть бути досліджені формальними методами. Не менш важливо також і те, що на відміну від більшості інших розділів теорії керування, закордонні розробки в області керування запасами мали вкрай обмежену придатність у вітчизняній практиці. Це пов'язано із тісною залежністю моделей керування запасами від основних господарських механізмів, принципів ціноутворення і оподатковування, організації ринку та ін. Найбільш яскраво це виявляється у виборі критеріїв оптимізації - переважне число західних дослідників використовують чисто вартісні показники типу мінімуму сумарних експлуатаційних витрат, максимуму прибутку та ін. У наших умовах критерії такого типу дуже слабо корельовано з дійсністю внаслідок, наприклад, практичної неможливості визначити "витрати через втрату переваги", інших складових витрат дефіциту, внаслідок цілком необґрунтованого "вольового" призначення норм витрат при зберіганні, внаслідок існування "практики неплатежів", внаслідок існування практично неформалізованих процедур "фондування", "раціонування" та ін. Тому дуже доцільним стає використання різноманітних варіантів імовірнісних критеріїв, що рекомендуються, безумовно, більш адекватними існуючій на даний момент і прогнозованій на найближче майбутнє нашій системі господарювання. Як відзначається в [46], при достатньо широких припущеннях вдасться довести еквівалентність вартісних і імовірнісних критеріїв, проте останні набагато краще інтерпретуються і ідентифікуються в практичних задачах.

У нашій країні теорія керування запасами в першу чергу одержала розвиток у радіоелектронній промисловості. Це пояснюється і темпами розвитку галузі і специфікою. Велика різноманітність методів оптимізації процесів керування запасами, що використовують апарат сучасної теорії керування [15,16,36,68,77,78,79], - становить інтерес для багатьох галузей промисловості.

Можлива недостача запасних елементів збільшує середній час заміни елемента, що відмовив, справним запасним, причому обмеженість об'єму запасних елементів може дуже істотно позначитися на значенні показника надійності виробу і її не можна не враховувати при розрахунках надійності.

Бажання виключити простий об'єкта, який досліджується, через відсутність елемента, що відмовив, у комплекті запасних елементів призводить до надмірного великого комплекту запасних елементів, витрати на створення якого, як показує практика, порівнянні з витратами на виріб.

Таким чином, виникає задача оптимізації комплекту запасних елементів.

Необхідність створення запасів у ланках системи постачання впливає з таких реально існуючих факторів:

- неузгодження виробництва постачальників і споживачів;
- дискретності процесу постачань;
- випадку коливань і тривалості інтервалів між постачаннями щодо їхніх середніх значень;
- серйозності економічних наслідків у випадку незадоволення попиту.

Створення запасів пов'язане з додатковими витратами на фізичне складування. При цьому упускається прибуток, що міг би бути отриманий при включенні омертвлених у запасі засобів у підприємства з твердим прибутком. З складуванням також пов'язані втрати в кількості і якості збереженого майна і його морального старіння. Дана обставина є особливо актуальною для системи забезпечення аварійними запасами труб лінійної частини магістральних газопроводів (ЛЧ МГ), внаслідок металоємності збережених запасів. Так, сучасна вартість імпортової труби великого діаметра складає більш \$ 5000. Вітчизняні труби ненабагато дешевші.

Вартість труб, що поставляються; наприклад, Харцизьким трубним заводом, складає біля 5000 грн. за тонну у цінах 1999 р.

Теорія керування запасами розробляє методи кількісного аналізу і синтезу систем постачання, у яких досягається компроміс між суперечливими вимогами скорочення витрат на складування, надійності і забезпечення попиту.

У теорії керування запасами [55] під системою постачання розуміється сукупність складів, між якими в ході операцій по постачанню здійснюються перевезення збереженого майна. Можливі два варіанти побудови систем постачання (багатокаскадних). У першому випадку всі склади безпосередньо обслуговують споживачів. Джерело поповнення запасів для всіх складів приймається невичерпним. В другому випадку кожна недостача покривається за рахунок кінцевих запасів складу вищого щабля. Склад самого вищого щабля приймається невичерпним. Число каскадів може доходити до 4 - 5. Багатокаскадні системи діляться на лінійні (у кожного складу - один споживач) і пірамідальні (що розгалужуються). У більшості робіт із керування запасами розглядаються лінійні системи.

Системи постачання розрізняють також за числом збережених номенклатур (однономенклатурні, багатноменклатурні), за стабільністю властивостей збереженого майна. Частіше усього передбачається, що ні властивості, ні кількість збереженого майна не схильні до природних змін. Системи постачання розділяють також на статичні (один період) і динамічні (багатоперіодні) в залежності від числа періодів, на які плануються операції постачання.

Попит у системах постачання може бути:

- стаціонарним або нестаціонарним;
- детермінованим або стохастичним;
- неперервно розподіленим або дискретним;

- залежним від попиту на інші номенклатури або незалежним.

Поповнення запасів відбувається завжди з деякою затримкою щодо моменту видачі вимоги. У залежності від розміру і характеру цієї затримки розрізняють постачання:

- миттєві (затримка постачання дуже мала);
- з затримкою на фіксований термін;
- з затримкою на випадковий інтервал часу з відомим імовірнісним розподілом;
- звичайні і екстерні (у випадку нестачі на складі).

Забезпечення запасами полягає у встановленні моментів замовлення і його об'ємів для надолуження запасу та у розподілі знову прибулої партії по нижчестоящих ланках системи постачання. Сукупність правил, по яких приймаються ці рішення і є стратегією поповнення запасних елементів. Це може бути:

- періодичне поповнення;
- періодичне поповнення з екстремими доставками;
- неперервне поповнення.

При періодичному поповненні запас елементів даного типу періодично через заздалегідь задані, фіксовані інтервали часу (періоди поповнення) відновлюється до початкового рівня. Періодичне поповнення є найбільш поширеним у практиці проектування. Стратегія періодичного поповнення характеризується одним числовим параметром  $T_{\Pi}$  - періодом поповнення даного запасу. Якщо вичерпання запасу (відмова системи) настало через час  $t < T_{\Pi}$  після початку чергового періоду поповнення, то об'єкт повинен простоювати протягом часу  $T_{\Pi-t}$ .

При використанні періодичного поповнення з екстремими доставками крім планового відновлення відбувається ще і позапланове відновлення запасу до початкового рівня. Така стратегія характеризується

двома числовими параметрами:  $T_{п}$  і  $T_{ед}$  - середньої тривалості екстреної доставки елементів даного типу.

При використанні стратегії безупинного поповнення для запасу елементів даного типу фіксується ціле число  $k$  ( $k > 0$ ,  $k < m/2-1$ , де  $m$  - початковий рівень запасу) і, коли запас елементів даного типу вичерпується до рівня  $k$ , посилається заявка на постачання  $m-k$  елементів даного типу. Заявка задовольняється через випадковий час  $t$ .

Певний інтерес має також розгляд стратегії керування запасами, що припускає існування в системі економічно обґрунтованого рівня дефіциту. Реалізація цієї стратегії пов'язана з рішенням задачі динамічного резервування, найбільш характерною рисою якої є наявність декількох шаблів резервування і можливість періодичного перекладу елементів системи з одного шабля в інший. Таким чином, при динамічному резервуванні є можливість управляти числом елементів на кожному шаблі, що дозволяє трактувати деякі моделі динамічного резервування, як динамічні моделі керування запасами. Метою синтезу оптимальних стратегій динамічного резервування є максимізація характеристик надійності системи за деякий, як правило, фіксований час  $T$ .

Ефективність системи постачання і стратегій, що використовуються, оцінюється по сукупності критеріїв, що можуть враховувати такі витрати і прибутки:

- витрати на складування;
- транспортні витрати;
- витрати, пов'язані з замовленням кожної нової партії;
- витрати на штрафи за невчасне задоволення попиту;
- прибутки, отримані від продажу залишків запасу наприкінці кожного періоду.

У реальних системах постачання часто зустрічаються обмеження за такими ознаками:



- за максимальним об'ємом запасів;
- за максимальною вагою;
- за долею вимог, які задовольняються тільки після прибуття чергового постачання.

З точки зору побудови системи постачання перевагу варто віддати пірамідальним системам, що дозволяють компенсувати нерівномірність вичерпання запасів у низьких ланках і швидше організувати покриття дефіциту на окремих ділянках. Такі системи дозволяють мати більш низький середній рівень запасу за рахунок централізації постачання. Найважливішою особливістю функціонування систем забезпечення запасами часто є неповне наглядання за попитом, що може виникати по різних причинах. Але найбільш поширеною причиною часткового наглядання попиту є функціонування системи забезпечення запасами при дефіциті. У цьому випадку контролюється тільки фактичне споживання, тобто та частина попиту, що задовольняється наявними запасами системи. Незадоволений попит, як правило, не реєструється.

У системі фондового розподілу з жорстким прикріпленням споживачів до постачальників подавані заявки можна вважати оцінками попиту [40], проте достовірність їх часто сумнівна. Відбувається це через те, що природні чинники: потреба (тобто природна, обґрунтована норма витрати аналізованих елементів); попит (тобто, рівень запитів, що заявляється споживачем і може відрізнитися від потреби як у меншу сторону, наприклад, через дорожнечу продукту, так і у більшу) і споживання (яке у різноманітних ситуаціях може перевершувати попит, але при дефіциті може бути істотно меншим від нього) замінюються іншими: необхідність-заявка-фонди-споживання. Співвідношення між ними, часом, видається досить неприродним і важко передбачуваним. Так, відмінність заявки від потреби може визначатися не тільки достатньо логічними механізмами, що піддаються формальному опису, типом

співвідношення фінансових можливостей споживача і ціни продукту, необхідності для споживача запасати продукт та ін., але і сформованими в даній конкретній системі правилами розподілу фондів, взаємовідносинами конкретного споживача з планувальним центром. Далі, виділені фонди можуть виявитися не тільки меншими, але і більшими від заявлених, а споживання - як меншим, так і більшим фондів.

Відмова від системи централізованого фондування і усунення дефіциту за допомогою лібералізації цін повинні вирішити питання неповного наглядання попиту. На даний момент зм'якшенню дефіциту може сприяти розробка нормативів споживання, основана на аналізі потреби з врахуванням індивідуальних особливостей функціонування об'єктів, які розглядаються.

## 1.2 Аналіз організації забезпечення аварійним запасом лінійної частини магістральних газопроводів

Важлива роль у комплексі заходів, що забезпечують надійність роботи газотранспортних систем належить ступеню готовності експлуатаційних і ремонтних служб до проведення аварійно-ремонтних робіт на лінійній частині магістрального газопроводу при ліквідації розривів, свищів, витоків. Терміновий характер потреби в трубах для ремонту визначає необхідність створення аварійного запасу труб, трубопровідної арматури, з'єднувальних деталей і монтажних заготівель для відновлення ушкоджених ділянок газопроводів.

При використанні елементів теорії керування запасами у трубопровідному транспорті необхідно зупинитися на ряді специфічних особливостей, які властиві для даної галузі промисловості.

*По-перше*, об'єкт, який аналізується, є лінійно протяжним і матеріалоемним. Так, для будівельних організацій, що виконують лінійні роботи, частка матеріалів коливається в межах 60-70%, зростаючи в окремих організаціях до 80%. Це набагато перевищує середній показник по будівництву, що дорівнює 50-55% [75]. Дана особливість диктує необхідність враховувати громіздкість і велику вартість запасних елементів, насамперед труб, і пов'язані з цим деякі складності в їхньому складуванні, тому що їх необхідно вберегти і від агресивності навколишнього середовища (аварійний запас, що закладається може пролежати декілька років) і від розкрадання. Місця складування аварійних запасів труб повинні бути під охороною.

*По-друге*, при експлуатації складної газотранспортної системи, є достатньо жорстке обмеження по дефіциту запасних елементів. У випадку відсутності труб потрібної номенклатури неможлива експлуатація газопроводу, а економічні втрати пов'язані не тільки з прямим, але і непрямим збитком, несуть споживачі. Тому на оцінку надійності роботи кожної конкретної системи газопостачання впливають такі фактори як наявність резервної нитки, наявність підземного сховища газу (ПСГ), можливість використання альтернативних джерел енергії.

*По-третє*, до специфічних характеристик газотранспортної системи варто віднести природнокліматичні та географічні умови. Досвід експлуатації газопроводів різноманітних діаметрів показує, що природнокліматичні умови відіграють істотну роль в організації технічного обслуговування магістральних газопроводів. Як відзначається в [26], визначення оптимальної стратегії створення аварійного запасу труб необхідно проводити з диференціюванням по діаметру і територіальних зонах проходження траси газопроводів. Передбачається розбивка території країни на чотири зони відповідно до ДЕРЖСТАНДАРТ 16350-70. Стисла характеристика територіальних зон подана у табл. 1.

Варто зауважити, що такий розподіл характеристик трубопроводу не враховує багатьох факторів, що впливають на надійність роботи газопроводу. Так, наприклад, при такій схемі не враховується вік, конфігурація газопроводу, різний ступінь ремонтпридатності, характеристика мережі доріг, необхідних для підвозу запасів до місць складування і від місць складування до ділянок, що ремонтуються, а при оцінці наслідків відмови системи не враховується "стратегічність" призначення газопроводів (категорійність).

Таблиця 1.1 - Стисла характеристика територіальних зон країни відповідно до ДЕРЖСТАНДАРТ 16350-70

№	Зона	Характеристика зони
1	Лісова	Зона змішаних широколистих і мілколистих лісів, лісостеми; лісові і лугово-чорноземні ґрунти; вологість 300...500 мм/рік; кліматична зона помірна.
2	Степова	Степи; чорноземні і темно-каштанові ґрунти; вологість 150...300 мм/рік; кліматична зона до центральної і південної частини.
3	Пустельна	Напівпустелі; бурі ґрунти, піски, солончаки; вологість 50...150 мм/рік; кліматична зона спекотна.
4	Гірська	Карпати; альпійські луги; лугові, чорноземні, каштанові ґрунти; помірна зона; кліматична зона – гірські області.

Варто зауважити, що такий розподіл характеристик трубопроводу не враховує багатьох факторів, що впливають на надійність роботи газопроводу. Так, наприклад, при такій схемі не враховується вік, конфігурація газопроводу, різний ступінь ремонтпридатності, характеристика мережі доріг, необхідних для підвозу запасів до місць

складування і від місць складування до ділянок, що ремонтуються, а при оцінці наслідків відмови системи не враховується "стратегічність" призначення газопроводів (категорійність).

*По-четверте*, на прагнення до дотримання компромісів між кількістю аварійних запасів для лінійних ділянок магістрального газопроводу, що гарантують надійність газопроводів при експлуатації і "омертвінням" значних фінансових засобів, не втягнутих в оборот, пов'язаних із створенням невиправдано великих запасів, будуть впливати, з одного боку, жорстке регламентування на зниження рівня запасів, з іншого боку, ліміти з фонду споживання.

Розглядаючи специфіку трубопровідного транспорту, слід зазначити, що система забезпечення аварійними запасами труб ЛЧ МГ пов'язана з вирішенням таких задач:

1. Планування аварійних запасів. Містить у собі:
  - визначення потреби в аварійних запасах на запланований рік;
  - впорядкування плану розподілу або перерозподілу аварійних запасів по підрозділах;
  - визначення оптимальних кількостей аварійних запасів і місць їхнього розміщення по трасі газопроводу;
  - визначення оптимальної стратегії поповнення аварійних запасів;
  - вибір постачальників;
  - визначення необхідної кількості транспорту і навантажувально-розвантажувальних засобів.
2. Організаційні питання:
  - розміщення замовлення, заключення договорів на постачання аварійних запасів труб із постачальниками;
  - контроль за відвантаженням;
  - контроль за прибуттям і організація розвантаження аварійного запасу труб;

- організація складування аварійного запасу труб ЛЧ МГ;
- організація роботи і взаємодія транспорту з навантажувально розвантажувальними засобами.

3. Оперативне керування аварійними запасами забезпечує оперативний перерозподіл у випадку виникнення локального дефіциту.

4. Питання ведення обліку і звітності містять у собі:

- впорядкування зведеної статистичної звітності по витратах аварійного запасу;
- аналіз використання аварійного запасу труб різноманітної номенклатури по об'єктах;
- необхідність створення автоматизованої системи обліку аварійних запасів.

На успішне вирішення цих питань великий вплив робить ряд факторів. Так, питання планування підпорядковані, насамперед, існуючим нормативним документам НАК «Нафтогаз України», що визначають аварійний запас труб, сталевий трубопровідної арматури, з'єднувальних деталей і монтажних заготовель для магістральних газопроводів, порядок його складування й використання [30,55,56,57]. В основу чинних нормативних документів по організації системи забезпечення аварійними запасами ЛЧ МГ у рамках вирішення загальної проблеми надійності газотранспортних систем закладені теоретичні розробки провідних учених галузі: А.П.Алишанова, В.Л.Березіна, З.Т.Галліуліна, В.В.Грачова, А.Ф.Комягіна, Л.Г.Телегіна, Н. Х. Халлієва, В.Г.Чирскова й ін. В основі норм і правил складування й поповнення аварійного запасу труб лежить подана в [2] стратегія створення аварійного запасу труб, яка:

- передбачає наявність невичерпного джерела поповнення запасів;
- розглядає кожний пункт складування аварійного запасу відособлено від інших;

- оптимальність якої визначається двома рівнями запасів, із яких саме нижній, який називається незнижуваним запасом і характеризує мінімальний річний рівень запасу труб і визначає оптимальний характер його поповнення: при рівні запасів, нижче від якого не можна знижувати, необхідно його поповнення до верхнього, який називається аварійним. Верхній і нижній рівні запасу на пункті складування визначаються оптимізаційними розрахунками з мінімізації сумарних річних витрат для кожного пункту складування аварійного запасу окремо;
- сумарна потреба в трубах визначається по територіальних зонах, із погляду теорії відновлення, як процес нагромадження за рік потреб у трубах з врахуванням можливості появи протягом року відмов на лінійній частині із заміною труб.

Система формування аварійних запасів багато в чому сприяла забезпеченню досягнутого високого рівня надійності, ефективності функціонування газопроводів і безперебійного постачання газу споживачам. В умовах погіршення стану магістральних газопроводів, нерівномірності старіння і умов господарювання, що змінюються, необхідний пошук резервів підвищення ефективності системи забезпечення аварійним запасом труб для ремонту ЛЧ МГ.

Деякі з нормативних документів розроблялися більш 15 - 20 років тому і не можуть дати задовільної відповіді на багато з питань, продиктованих сучасним станом справ. У побудованих на викладених вище принципах моделях функціонування системи формування аварійних запасів не врахований ряд факторів, що істотно впливають на ефективність функціонування системи в цілому, а саме:

- нерівномірність розподілу показників надійності по довжині газопроводу;
- галузевий дефіцит на труби й матеріали;

- можливість створення регіональних систем забезпечення аварійними запасами газотранспортних систем складної конфігурації;
- необґрунтованість відособленого розгляду пунктів складування труб і матеріалів при формуванні системи забезпечення аварійним запасом ЛЧ МГ;
- неспроможність використання у сучасних економічних умовах господарювання деяких застарілих економічних показників для оцінки ефективності функціонування системи забезпечення аварійними запасами ЛЧ МГ.

На питання планування помітний вплив робить і той фактор, що в сучасних умовах господарювання виробничі підрозділи повинні орієнтуватися не стільки на організації, що стоять вище, скільки на свої фінансові можливості, свій потенціал, свої резерви. Єдина система газового постачання (ЄСГП) була сформована в умовах централізованого керування економікою. При цьому на території України побудовано 93 пункти складування аварійного запасу труб для ЛЧ МГ, які переважно знаходяться безпосередньо біля території лінійних виробничих об'єднань магістральних газопроводів. Основним органом керування було галузеве міністерство. Держзамовлення по міністерству включало весь обсяг видобутку й постачань газу. При цьому забезпечення експлуатаційної діяльності було гарантовано поставками. Відділ матеріально-технічного забезпечення Мінгазпрому, одержуючи заявки від об'єднань, задовольняв їх за рахунок розміщення замовлення в міністерстві чорної металургії і експортних постачань. З порушенням зв'язків по вертикалі, ліквідації багатьох міністерств, Держплану, відбувся перехід на горизонтальні зв'язки між НАК «Нафтогаз України», газотранспортними підприємствами і постачальниками продукції. В умовах необхідності виробничим підрозділам вирішувати для себе питання оптимального керування аварійними запасами діючу допомогу може зробити програмне



забезпечення, що дозволяє прорахувати різноманітні варіанти при визначенні оптимальних кількостей аварійних запасів і виборі оптимальної стратегії їхнього поповнення, сформувати ефективну в умовах ринкової економіки систему забезпечення аварійним запасом для лінійної частини магістрального газопроводу.

При вирішенні організаційних задач варто враховувати процеси, якщо відбуваються в країні, і впливають на ритм виробництв; до проблеми повсюдного виникнення дефіциту у випуску продукція через відсутність сировини або комплектуючих додаються проблеми соціального і політичного характеру. Так, наприклад, при організації складування аварійного запасу тепер приділяють більше уваги його захисту від розкрадання.

Часто виникнення локального дефіциту по якійсь номенклатурі аварійного запасу викликає необхідність термінового "перекидання" необхідних елементів. Це визначає задачу оперативного керування. Для вирішення цих задач не існує науково-обґрунтованих методик і всі рішення приймаються, виходячи із суб'єктивної оцінки ситуації.

Торкаючись питань обліку і звітності, потрібно відзначити, що головна проблема, як правило, полягає у відсутності автоматизації цього кропіткого процесу.

Давно виникла необхідність створення універсальної бази даних по аварійних запасах на магістральних газопроводах (МГ), основа якої - паспортизація пунктів складування аварійного запасу, збір статистики по витратах аварійного запасу.

З існуючих робіт, присвячених даній темі, слід зазначити [31,59]. Проте моделі, подані в них, які мають, безумовно, великий інтерес, неможливо використовувати для потреб газової промисловості у сфері керування аварійними запасами, тому що в них не відбита специфіка даної галузі.

### 1.3 Комплексне формування основних задач дисертаційного дослідження

Аналіз сформованої практики забезпечення газотранспортних підприємств і підрозділів аварійними запасами для обслуговування лінійної частини магістрального газопроводу, основних тенденцій у розвитку магістрального транспорту газу показує необхідність підвищення ефективності функціонування системи формування аварійного запасу труб для ЛЧ МГ, як засобу забезпечення надійності магістральних газопроводів у ході експлуатації, скорочення загальних витрат, втрат і збитків.

Багатофакторність аналізованої проблеми, необхідність розгляду окремих факторів у взаємозв'язку обумовлює комплексний розгляд досліджуваної задачі. Тільки системний підхід, як головний принцип дослідження складних технічних і організаційно-управлінських об'єктів, дозволяє здійснити пошук оптимальних варіантів забезпечення аварійними запасами як уже сформованих систем, так і при формуванні знову утворюваних систем забезпечення аварійними запасами на ЛЧ МГ.

Функціонування системи формування аварійних запасів є складним динамічним процесом, для моделювання і наступного дослідження, котрого необхідно вирішити декілька етапних задач.

Перший етап складається в так званому представленні системи в компактній формі, що полегшує опис системи, а також формулювання і розв'язок задач. Така інформація містить у собі поняття, склад і мету функціонування досліджуваної системи, сукупність правил її функціонування, які визначають, що повинна робити система для досягнення поставленої перед нею мети, а також структурну схему. Наявність жорсткої структурної схеми у виді сукупності множини блоків (елементів, об'єктів) і визначених зв'язків між ними виділяють головну

відмінність запропонованого поняття системи формування аварійних запасів для ЛЧ МГ від абстрактних моделей, досліджуваних у загальній теорії складних систем.

Для кількісної оцінки ступеня досягнення системою поставленої перед нею мети необхідно ввести визначені характеристики її функціонування. Причому, кожна характеристика описує якусь одну сторону функціонування системи і лише визначена сукупність таких показників дозволяє оцінити ефективність системи в цілому (рис 1.1).

Вибір показників і визначення виразів або числових значень різноманітних характеристик функціонування системи на основі її структури, принципів роботи, факторів, що впливають на неї, формують наступний етап - розрахунок поданої системи. Перераховані етапи дослідження системи формування аварійних запасів для ЛЧ МГ необхідні для переходу до етапу аналізу процесу її функціонування, що полягає у визначенні виду залежностей різноманітних характеристик і показників структури, режиму функціонування і некерованих факторів. Сукупність етапів представлення, розрахунку й аналізу системи утворить основу для формалізації багатofакторної моделі системи формування аварійних запасів для ЛЧ МГ складної структури. Модель у даному випадку являє собою більш просту систему, ніж вихідна, із збереженням найбільш істотних рис і відображенням найбільш важливих структурно-технологічних зв'язків.

Для можливості подальшого дослідження системи за допомогою моделі, остання повинна об'єднувати в собі властивості концептуальної моделі, що характеризує причинно-наслідкові зв'язки, істотні для опису системи, а також математичної моделі, що описує функціонування системи з кількісної та якісної сторін.

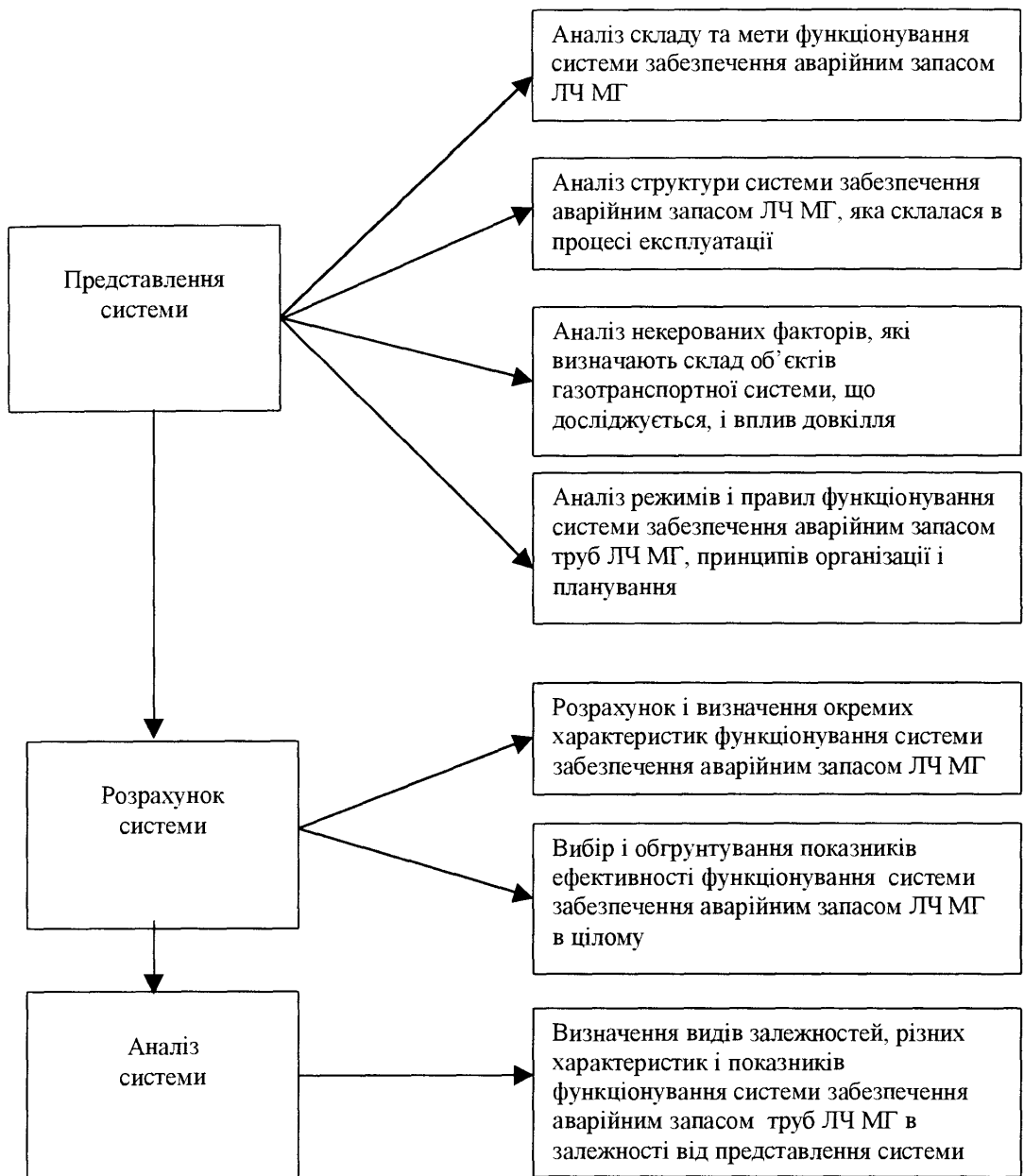


Рисунок 1.1 – Етапи розробки і дослідження загальної моделі системи забезпечення аварійним запасом труб ЛЧ МГ.

Розробка такої моделі дозволяє робити розрахунки й оцінки процесу функціонування системи при визначених значеннях параметрів структури, режимів роботи (показників функціонування), при впливі різних випадкових факторів. Перебір і розрахунок таких альтернативних варіантів дозволяє вирішити таку етапну задачу - синтезу системи з метою визначення її оптимальної структури і стратегії функціонування на заданій

множині робіт, значення параметрів підрозділів і необхідних значень різноманітних характеристик функціонування системи.

Отже, систему формування аварійних запасів для лінійної частини магістрального газопроводу можна уявити, як сукупність відмов на лінійній частині, що формують потік вимог на запасні елементи і засобів для їхнього задоволення.

Під засобами розуміється сукупність пунктів складування аварійних запасів із запасними елементами, що зберігались на них, і можливість планування чергових поставок.

Сукупність модулів і стійких зв'язків між ними з обліком розміщення, ієрархії, розподілу ресурсів утворюють структуру системи. Режим функціонування системи визначає сукупність правил і принципів поведінки системи для вирішення поставлених виробничих цілей, включає питання технології, стратегії, організації і керування виробничим процесом. Перераховані структурно-режимні характеристики системи відносяться до розряду, так званих, керованих факторів, діючи, на які можна змінювати вихідні показники функціонування системи. Проте, на систему впливає велике число некерованих випадкових факторів, які характеризують стан об'єктів, що обслуговуються, вплив зовнішніх умов (навколишнього середовища) і інших непередбачених подій. Усе це визначає багатофакторність моделі системи формування аварійних запасів для ЛЧ МГ і необхідність імовірнісного підходу при її розробці.

Метою даного дослідження є:

- пошук шляхів скорочення витрат на придбання, транспортування і складування аварійних запасів для ЛЧ МГ;
- скорочення часу простою газопроводів при аварійному ремонті і, як наслідок, скорочення прямих і непрямих збитків споживачів.

Досягається це за рахунок вироблення оптимальної стратегії формування запасів, з обліком індивідуальних особливостей конкретної газотранспортної системи.

Об'єктом дослідження є технологічна система ЛЧ МГ із перемичками, відводами, і нерівномірно розподіленими показниками надійності по довжині газопроводу і сукупність пунктів зосередження збережених аварійних запасів, що можуть розташовуватися не тільки уздовж траси (індивідуальна система), але і на віддалі від неї ( регіональна система).

Відповідно до мети, у дисертаційній роботі поставлені і вирішені такі основні задачі:

1. Дослідження і аналіз сформованої практики забезпечення аварійними запасами труб для ЛЧ МГ і перспективних напрямків її вдосконалювання.

2. Планування термінів і об'ємів постачань аварійних запасів у ринкових умовах господарювання з обліком індивідуальних характеристик пунктів складування по об'єднанню в цілому.

3. Розробка математичних моделей функціонування системи забезпечення аварійними запасами для ЛЧ МГ.

4. Прогнозування і обґрунтування потреби в аварійному запасі труб для газотранспортного підприємства.

5. Розподіл аварійного запасу труб по трасі газопроводу з обліком технологічних особливостей і інших обмежень.

6. Об'єднання часткових задач у рамках системного підходу до формування аварійних запасів.

7. Створення програмного комплексу, орієнтованого на розв'язок поставлених задач.

8. Автоматизація обліку і контролю матеріальних ресурсів.

Методологія пошуку варіанта, що забезпечує найкращі показники ефективності системи керування запасами, полягає у системному підході, суть якого у тому, що весь технологічний процес розбивається на окремі достатньо відособлені підсистеми і у процесі вироблення рішення реалізується один із методів ієрархічного керування.

У рамках дисертаційного дослідження з окремих часткових задач побудовані відповідні математичні моделі, що об'єднані у взаємозв'язаний комплекс. При формуванні математичних моделей були зроблені такі основні припущення:

- потреба у запасних елементах для ЛЧ МГ виникає випадково, моменти появи потреб описуються простим потоком випадкових подій;
- розмір потреби є незалежною випадковою величиною;
- витрати, пов'язані зі здійсненням ремонту ЛЧ МГ, є незалежною випадковою величиною.

Недотримання хоча б одного з цих припущень різко ускладнює або робить взагалі неможливим одержання більш-менш важливих результатів аналітичним шляхом. Дуже обмежений обсяг експлуатаційної інформації не дозволяє одержати оцінки для параметрів випадкових величин і процесів, якщо не ввести припущення. Такі припущення є звичайними і традиційними у багатьох теоретичних роботах.

При формуванні математичних моделей необхідно враховувати фактори, що відбивають специфіку газотранспортної системи:

- нерівномірність розподілу аварійності по довжині газопроводу;
- нерівномірність розподілу показника ремонтпридатності по довжині газопроводу (залежить від часу доставки устаткування до точки траси, часу ремонту, природнокліматичних і геологічних умов, зміни діаметра по довжині газопроводу);

- нерівномірність розподілу питомого показника збитків від простою газопроводу по довжині траси (залежить від прив'язки споживачів, обліку внутрішніх резервів, наявності ПСГ, врахування регіональних цін).

До факторів, що створюють умови обмежень відносяться:

- матеріально-технічні, трудові і тимчасові ресурси;
- природнокліматичні умови.

Слід зазначити, що пошук рішення поставлених задач здійснюється в статичній постановці. Врахування таких факторів, як: коливання цін; зміна конфігурації газопроводу; сезонна нерівномірність розподілу аварійних робіт; сезонна нерівномірність витрат на усунення пошкоджень; довгострокові тенденції зміни середніх значень при внесенні їх у моделі, роблять останні надмірно складними і рішення приймають динамічний характер. Це виправдано лише при необхідності прийняття довгострокових рішень, на декілька років вперед. Помилковий же прогноз розвитку даних факторів спричинить і помилкове рішення. Тому, в умовах частої їх зміни, доцільно використовувати статичну постановку на інтервалі планування, коли дані фактори вважаються стабільними.

Вирішення наведеного кола задач, складається з таких етапів, поданих у роботі (рис. 1.2):

- прийняття і обґрунтування використання системного підходу до керування системою формування аварійних запасів для ЛЧ МГ;
- вибір, обґрунтування і формування показників для оцінки ефективності функціонування системи керування аварійними запасами для ЛЧ МГ;
- аналіз відмов і пошкоджень на ЛЧ МГ і прогнозування розміру потреби в запасних елементах для аварійного ремонту газопроводу;
- обґрунтування вибору умовного елемента заміни труби;



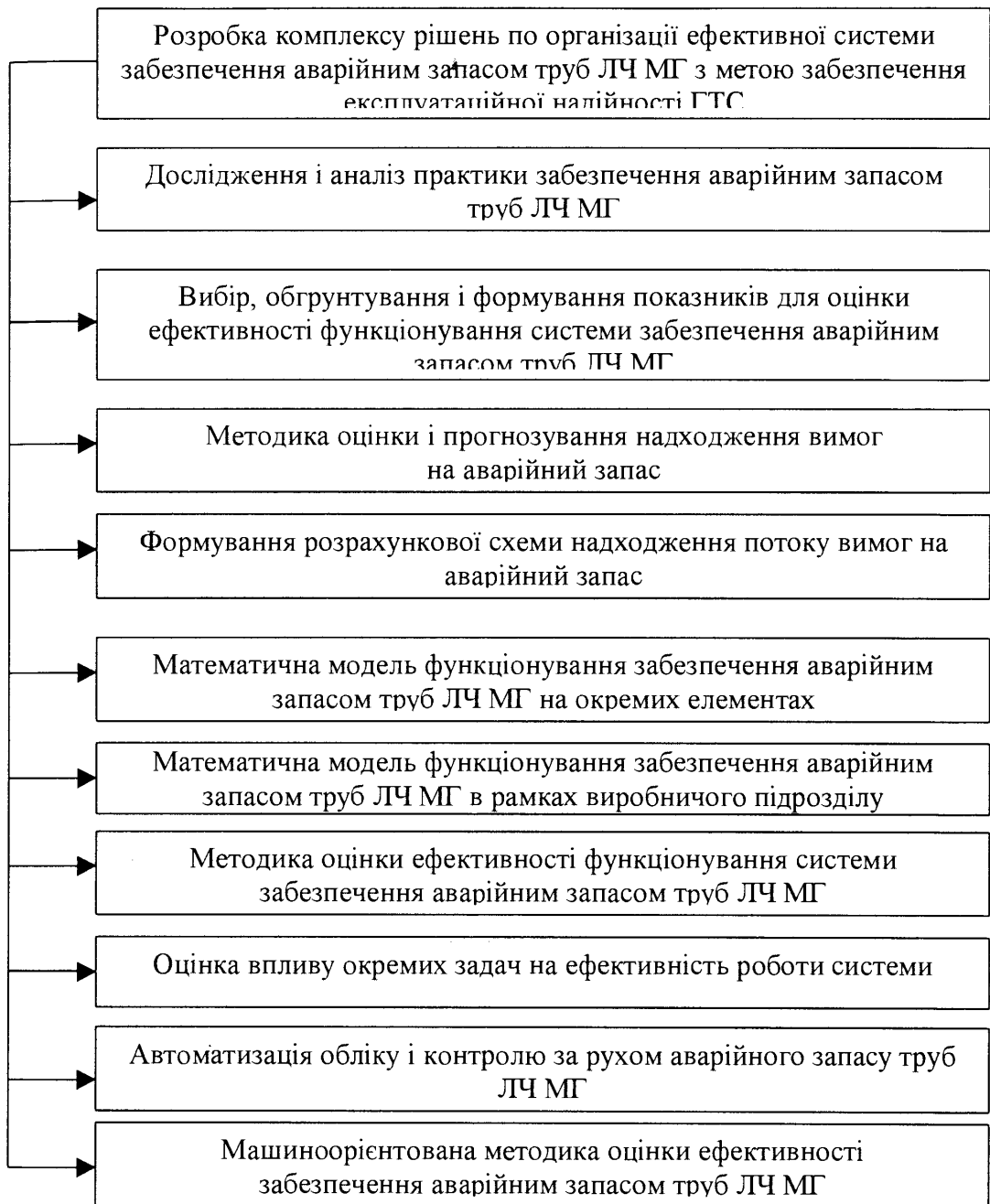


Рисунок 1.2 – Основна мета і задачі досліджень

- методика оцінки і прогнозування надходження вимог на аварійний запас;
- формалізація розрахункової схеми надходження потоку вимог на аварійний запас;
- математична модель функціонування системи формування аварійних запасів на окремих елементах (пункт складування аварійного запасу);

- математична модель функціонування системи формування аварійних запасів для ЛЧ МГ у рамках виробничого підрозділу;
- методика оцінки ефективності функціонування системи формування аварійних запасів для ЛЧ МГ;
- оцінка впливу часткових задач на ефективність роботи системи формування аварійних запасів для ЛЧ МГ;
- орієнтована методика оцінки ефективності керування аварійними запасами для ЛЧ МГ.

Таким чином, існуюча система роботи система формування аварійних запасів для ЛЧ МГ не задовільняє теперішнім умовам і необхідна розробка комплексу математичних моделей по оцінці ефективності функціонування системи формування аварійних запасів із врахуванням названих вище факторів, яка дозволить розв'язати задачу синтезу оптимальних рішень при різноманітних граничних умовах і вхідних даних.

## Розділ 2. ФОРМУВАННЯ ОСНОВНИХ ПОКАЗНИКІВ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АВАРІЙНИМ ЗАПАСОМ ТРУБ ЛІНІЙНОЇ ЧАСТИНИ МАГІСТРАЛЬНОГО ГАЗОПРОВОДУ

Метою і основним завданням складування аварійних запасів труб на трасі трубопроводу є підвищення надійності газопостачання. Очевидно, що збільшення обсягів аварійного запасу на трасі призведе до підвищення надійності експлуатації газопроводу. Однак, при малих об'ємах аварійного запасу труб зростання показників надійності при їх збільшенні буде суттєвим. Починаючи з деякого певного об'єму аварійного запасу цей ріст показників надійності буде незначним, а затрати на створення аварійного запасу зростатимуть. Тому в даному випадку має місце оптимізаційна задача. Для її реалізації необхідно, в першу чергу, визначити критерії оптимальності і вибрати підхід до реалізації задачі.

Аналіз досліджень в області керування запасами показує, що найбільш раціональним в даному випадку є системний підхід до реалізації оптимізаційної задачі. В такому випадку весь технологічний процес може бути розбитий на окремі підсистеми, що дозволить при виборі методів керування реалізувати в кожній підсистемі окреме рішення. В подальшому розглядаються взаємозв'язки, що забезпечують взаємодію системи з іншими технологічними підрозділами.

### 2.1 Обґрунтування системного підходу до формування системи аварійних запасів труб для лінійної частини магістрального газопроводу

Коло задач, поставлених у даному дослідженні вимагає вибору універсального підходу для їх розв'язання. Оскільки найбільший інтерес і

практичну цінність має комплексний розв'язок кола окремих задач, на роль такого підходу найкраще зарекомендувала себе багаторівнева ієрархічна система керування.

Система керування аварійними запасами для ЛЧ МГ є складним технологічним комплексом із множиною внутрішніх зв'язків, що створюють оптимальне функціонування комплексу, і зовнішніх, що забезпечують взаємодію комплексу з іншими підрозділами. Для керування таким комплексом виникає необхідність створення автоматизованої системи керування з застосуванням багаторівневої ієрархічної системи керування комплексом. У цій системі весь технологічний процес можна розбити на окремі достатньо відособлені підсистеми й у процесі напрацювання рішення реалізувати один із методів ієрархічного керування [4].

У такого підходу є ряд переваг у порівнянні з традиційними централізованими методами розв'язку задачі оптимізації, що розглядають весь технологічний процес як єдине ціле. Проте, застосування децентралізованого підходу потребує розробки достатньо складних методів і алгоритмів. Задачі керування системою складування і поповнення запасів для ремонту ЛЧ МГ мають багато специфічних особливостей, що потребує виділення їх в особливий клас задач декомпозиційного керування. Виникає проблема розбивки задач на окремі підзадачі, розв'язок яких припускає складність системи керування і витрати на розв'язок.

В самому загальному випадку при створенні системи ієрархічного керування запасами потрібно розв'язати три важливі задачі:

- оптимальна розбивка на окремі задачі;
- вибір методу декомпозиції, формалізація локальних і глобальних задач у вигляді, зручному для їхнього чисельного розв'язку і координації;
- розробка алгоритмів розв'язку локальних задач і побудова процедури координації.

Система забезпечення запасами труб для аварійного ремонту газотранспортних систем розглядається як сукупність підсистем, що взаємозв'язані матеріальними, енергетичними і інформаційними потоками.

Система зображується у вигляді спрямованого графа, у якому вершинами є підсистеми, а дугами - технологічні потоки. Для опису  $i$ -тої підсистеми ( $i = \overline{1, N}$ ) використовується вектор вхідних змінних  $X_i$ , вектор вихідних змінних  $Y_i$  і вектор керованих змінних  $U_i$  (рис.2.1).

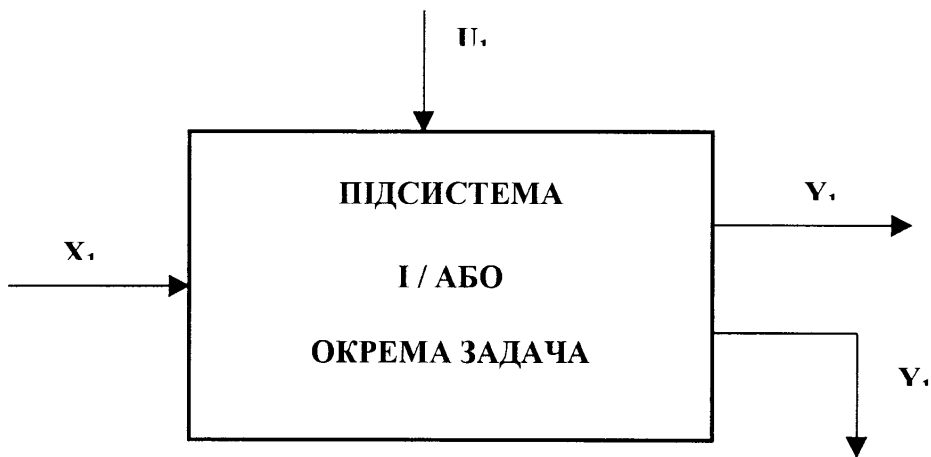


Рисунок 2.1 - Схематичне представлення підсистеми, як технологічного оператора:

- $X_i$  - вектор вхідних змінних;
- $Y_i$  - вектор вихідних змінних;
- $U_i$  - вектор керованих змінних.

Формулюється математичний опис підсистеми виду :

$$Y_i = \varphi_i(X_i, U_i); \quad (2.1)$$

Функція мети

$$f_i = f_i(X_i, U_i), \quad (2.2)$$

і обмеженнями

$$h_i(X_i, U_i) \geq 0.$$

Для опису взаємозв'язку підсистем (структури системи) формується матриця  $C$  із нулів і одиниць, що характеризує зв'язок входів  $i$  - тої підсистеми з виходами  $j$  - тої підсистеми.

Для системи формування аварійних запасів для лінійної частини магістрального газопроводу в більшості випадків справедливі такі допущення:

- система функціонує в стаціонарному режимі;
- глобальна цільова функція є адитивною, що завжди виконується, якщо в якості  $f_i$  прийняті техніко-економічні показники типу прибутку або витрат.

З врахуванням викладеного, проблему вдосконалювання системи керування аварійними запасами для ремонту ЛЧ МГ можна сформулювати у вигляді:

$$\sum_{i=1}^N f_i(X_i, Y_i, U_i) \rightarrow \underset{x, y, u}{extr}; \quad (2.3)$$

$$Y_i = \varphi(X_i, Y_i, U_i), \quad i = \overline{1, N};$$

$$h_i(X_i, Y_i, U_i) \geq 0, \quad i = \overline{1, N};$$

$$X_i = \sum_{j=1}^N C_{ij} Y_j, \quad i = \overline{1, N};$$

де  $C$  - елемент матриці зв'язку  $C$ .

Розв'язування даної оптимізаційної задачі в поданій постановці може здійснюватися з використанням декомпозиційного підходу, а конкретніше -

методом явної декомпозиції. Підсистемами є окремі (часткові) задачі: територіальне розміщення пунктів складування запасів у регіоні обслуговування; розбивка газопроводу на відособлені ділянки обслуговування; закріплення що обслуговуються ділянок за ремонтними підрозділами; комплектація підрозділів багатомножинним запасом; вибір стратегії поповнення запасів для кожної відособленої ділянки газопроводу.

До входних параметрів віднесені ті, що не залежать від системи обслуговування, значення їх можна оцінити, а можливість впливу на них відсутніх. Це параметри, що характеризують розподіл показників надійності, потреби в ремонті і "ціни" обслуговування газопроводу по довжині, матеріально-технічні, тимчасові і трудові ресурси, природнокліматичні умови. Керуючими параметрами рахуються ті, на які можна робити прямий вплив (припускається варіювання) для досягнення екстремального значення функції мети, у якості якої прийняті середні сумарні витрати в системі обслуговування і ремонту лінійної частини магістрального газопроводу з врахуванням можливого збитку споживачів від ненадійності постачання газом. До керуючих параметрів віднесені:

- число пунктів базування ремонтних підрозділів і їхні координати;
- координати меж відособлених ділянок обслуговування газопроводу;
- параметри, що характеризують схему закріплення ділянок за пунктами складування запасів;
- терміни і обсяги поставок запасів на пункти складування.

Задачі вивчення систем дуже різноманітні і у значній мірі визначаються класом досліджуваної системи. Проте, існують універсальні класи задач: представлення, розрахунок, аналіз і синтез.

Розглянуті системи керування запасами - це представлення всієї заданої інформації про систему в компактній формі, що полегшує опис системи, а також формулювання і розв'язання розрахункових задач, аналізу і

синтезу. Розрахунок системи полягає у визначенні виразів або чисельних значень різноманітних характеристик функціонування системи по заданій структурі і режиму її функціонування. Аналіз системи складається у визначенні виду залежності різних характеристик функціонування системи від її структури, режиму її функціонування. Аналіз дозволяє встановити ступінь впливу зазначених факторів на характеристики системи. Завдяки цьому виявляється можливим вести розрахунки ефективності функціонування системи при різноманітних змінах її параметрів і структури, а також розрахунки при проектуванні систем із метою досягнення необхідних значень характеристик системи шляхом деякої зміни її параметрів і структури. Синтез системи складається у визначенні її структури і режиму функціонування за заданою метою системи, значенням її параметрів і необхідним значенням показників ефективності функціонування [35]. Процедура синтезу системи аналогічна процедурі оптимізації.

Розглянемо докладніше процес формування окремих підсистем, якими є окремі часткові задачі в системі формування і розподілу аварійних запасів для ЛЧ МГ. Для цього необхідно сформувавши комплекс вхідних і керуючих параметрів.

До вхідних параметрів  $X_i$  відносяться:

1. Комплекс характеристик надійності, нерівномірно розподілених по довжині газопроводу  $v(x)$  :

$$v(x) \begin{cases} \rightarrow \bar{\lambda}(x) \\ \rightarrow \bar{r}_r(x) \\ \rightarrow \bar{y}(x) \end{cases}, \quad (2.4)$$

$\bar{\lambda}(x)$  - розподіл аварійності ( потоку відмов) по довжині газопроводу;



$\bar{r}_r(x)$  - розподіл ремонтпридатності по довжині газопроводу;

$$\bar{r}_r(x) \rightarrow \begin{cases} i_{рем}(x) - \text{час ремонту} \\ D^*(x) - \text{зміна діаметру по довжині газопроводу} \end{cases};$$

$\bar{y}(x)$  - розподіл збитку від недоподачі газу споживачам по довжині траси:

$$\bar{y}(x) \begin{cases} \rightarrow \bar{K}(x) \\ \rightarrow \bar{Z}(x) \\ \rightarrow \bar{C}(x) \end{cases}, \quad (2.5)$$

$\bar{K}(x)$  – координати прив'язки споживачів;

$\bar{Z}(x)$  – координати резервних джерел;

$\bar{C}(x)$  – зміна регіональних цін на газ.

2. Характеристики матеріально-технічних, трудових і часових ресурсів у відособленому підрозділі  $R_i^*$ .

$$R_i^* \begin{cases} \rightarrow \text{матеріально-технічні} \\ \rightarrow \text{трудові} \\ \rightarrow \text{часові} \end{cases}$$

3. Природнокліматичні і геологічні умови  $G_i$ .

Таким чином, сформований комплекс вхідних параметрів:

$$v(x), R_i^*, G_i.$$

До керуючих параметрів у системі формування і розподілу аварійних запасів ставляться:

1. Терміни постачань -  $\tau$ .
2. Обсяги постачань відособленому підрозділу -  $W$ .

3. Розподілені обсяги постачань кожному пункту складування аварійних запасів -  $\omega_i$ .
4. Запаси, що знаходяться на пунктах складування з врахуванням можливості їхнього перерозподілу при погрозі виникнення локального дефіциту -  $M_i$ .
5. Число пунктів складування аварійних запасів для ЛЧ МГ -  $N$ .
6. Координати пунктів складування аварійних запасів -  $XY$ .
7. Характеристики закріплення ділянок обслуговування за пунктами складування аварійних запасів -  $L$ .

Отже, сформовано комплекс керуючих параметрів:

$$\tau, W, \omega_i, M_i, N, XY, L.$$

Представимо часткові задачі дослідження у виді технологічних операторів із визначеними зв'язками і розглянемо процес формування зв'язків на прикладі задачі планування - визначення термінів постачань і кількості планованої номенклатури. Тут технологічні потоки розподіляються наступним чином (рис.2.2).

Потреби в запасних елементах визначаються інтенсивністю потоку відмов  $\lambda_\Sigma$  у цілому по відособленому підрозділі  $i$ , отже, є для даної підсистеми розміром, що не підлягає довільному варіюванню.

До вихідних параметрів із системи відносяться витрати на придбання устаткування. До вихідних внутрішніх параметрів слід також віднести обрані значення  $\tau$  і  $W$ .

Вхідні параметри:

- $\lambda_\Sigma$  – інтенсивність потоку відмов;
- $R^*$  - характеристики ресурсів в підрозділах;
- $G$  – природнокліматичні характеристики;

Керуючі параметри:

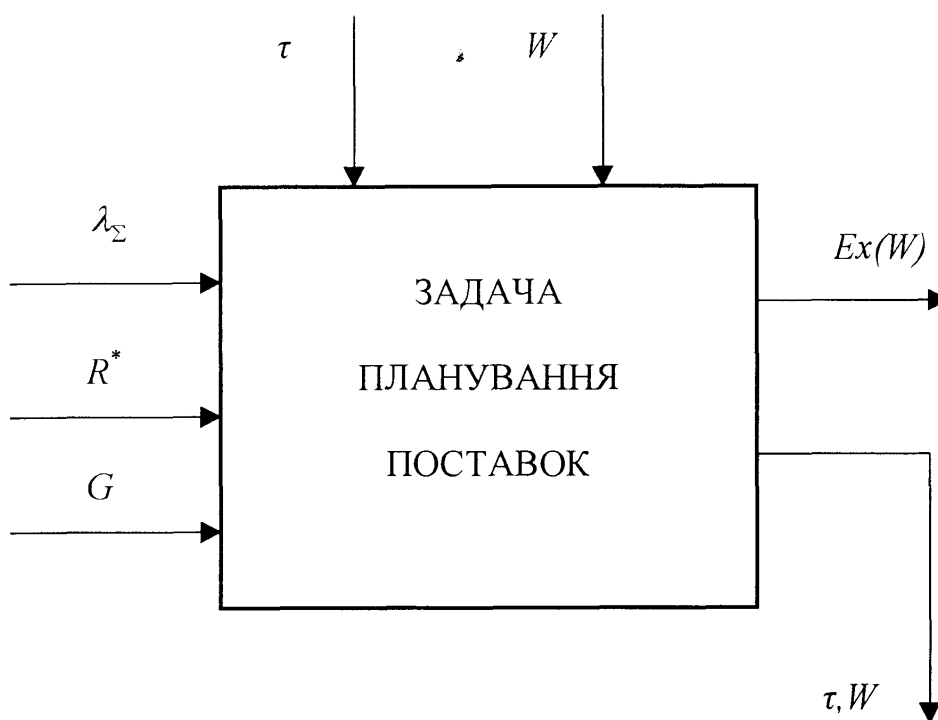


Рисунок 2.2 – Формування зв'язку окремої задачі із системою на прикладі задачі планування.

$\tau$  - терміни поставок;

$W$  – об'єми поставок;

Вихідні параметри:

$Ex(W)$ - витрати на придбання об'єму поставки;

$\tau, W$  – внутрішні вихідні параметри.

Формування параметрів для інших задач відбувається аналогічним чином. Системне представлення зв'язків між частковими задачами дано на рис. 2.3, де окремим задачам, як технологічним операторам системи керування аварійними запасами, дані відповідні номери:

I - задача планування постачань;

II - задача розподілу аварійних запасів;

III. - задача перерозподілу аварійних запасів;

IV - задача розміщення пунктів складування;

V - задача виділення ділянок обслуговування.

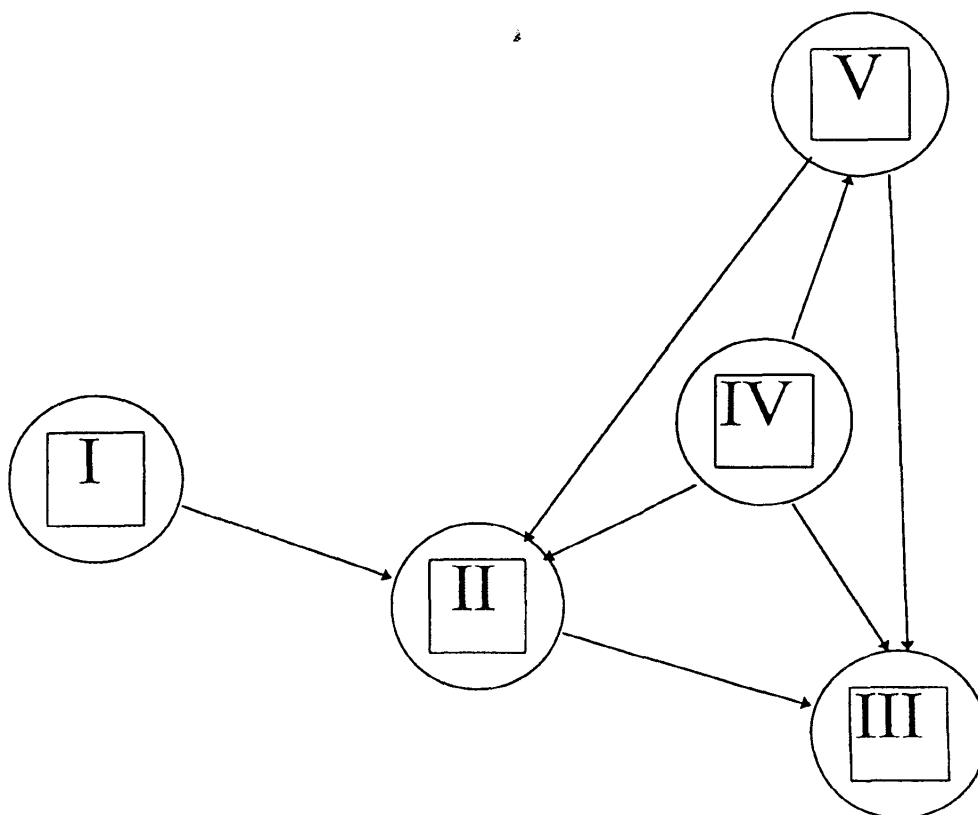


Рисунок 2.3 - Граф зв'язку часткових задач у системі забезпечення аварійними запасами для ЛЧ МГ:

- I - задача планування постачань;
- II - задача розподілу аварійних запасів;
- III - задача перерозподілу аварійних запасів;
- IV - задача розміщення пунктів складування;
- V- задача виділення ділянок обслуговування.

Слід зазначити, що запропонований комплексний підхід дозволяє здійснити пошук оптимальних варіантів організації системи формування аварійних запасів для лінійної частини магістрального газопроводу, як при вдосконалюванні і коригуванні існуючих, так і при проектуванні нових систем.

У рамках комплексного підходу можливе проведення більш детального дослідження окремих задач вдосконалювання організації системи керування аварійними запасами для ЛЧ МГ на різних рівнях.

## 2.2 Обґрунтування і формування показника ефективності функціонування системи формування аварійних запасів для лінійної частини магістрального газопроводу

При розробці узагальненої моделі системи формування і розподілу аварійних запасів для лінійної частини магістрального газопроводу важливим етапом є вибір комплексу показників для оцінки ефективності забезпечення газопроводів запасними елементами у випадку аварії з врахуванням основних факторів і існуючих структурно-технологічних зв'язків. Розв'язок задачі аналізу системи та наступний перехід до синтезу оптимальних параметрів системи повинні базуватися на універсальних техніко-економічних показниках ефективності.

Система формування і розподілу аварійних запасів для лінійної частини магістрального газопроводу має всі ознаки складної системи і характеризується наявністю великого числа різноманітних задач, елементів і об'єктів. Окремі елементи системи мають між собою складний функціональний зв'язок. Тому, для оцінки ефективності функціонування системи керування запасами для ЛЧ МГ можуть бути використані різноманітні показники. Це вартісні показники і різноманітні варіанти імовірнісних критеріїв. Визначення ефективності функціонування системи з використанням вартісних показників, як правило, зводиться до такого виду:

$$V + U = Z \rightarrow \min,$$

де  $Z$  - загальні витрати, що несе підприємство в процесі діяльності;  $V$  - витрати на організацію функціонування системи;  $U$  - витрати на покриття втрат газу і збитку споживачів у випадку аварії.

Існує також ряд комплексних показників надійності експлуатованої системи, що враховують як властивість безвідмовності, так і

ремонтпридатності. Найбільше поширені серед них: такі коефіцієнти готовності, технічного використання, оперативної готовності та інші [54]. Так, наприклад, коефіцієнт готовності запасу елементів [77] розуміє собою середнє за часом значення імовірності того, що газопровід не простоював через відсутність запасу елементів даного типу:

$$k = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T (1 - P(t)) dt ,$$

де  $P(t)$  - імовірність того, що в момент  $t$  запас елементів знаходиться в стані, достатньому для ліквідації відмови. Для обчисленні імовірності  $P(t)$  будується модель функціонування запасу елементів.

Великий інтерес має використання імовірнісних критеріїв у ролі обмежень. Наприклад, імовірності відсутності локальних дефіцитів  $\overline{P}_D(t)$ . У самому загальному випадку діапазон значень показника  $\overline{P}_D(t)$  можна визначати сформованими в даний момент на практиці рівнем достатності на магістральних газопроводах.

Задача вибору показників ефективності системи забезпечення аварійними запасами для ЛЧ МГ зводиться до обґрунтування доцільного набору параметрів, що дозволяють врахувати найбільш значні фактори функціонування системи.

Дослідження стану справ на практиці доводить, що визначальними факторами у питанні вдосконалювання системи керування аварійними запасами для ЛЧ МГ є: стратегія формування аварійних запасів труб і матеріалів для ЛЧ МГ, структура, розміщення пунктів складування аварійних запасів і закріплення ділянок обслуговування за пунктами складування, організація і керування комплексом робіт.

Показник ефективності функціонування системи повинен виступати в якості критерію оптимальності при розв'язку задач, пов'язаних з вдосконалюванням системи. Розглядати дану проблему необхідно з позиції ефективності національної економіки.

Система керування аварійними запасами для ЛЧ МГ, як важливий засіб забезпечення експлуатаційної надійності магістральних газопроводів, потребує значних матеріально-технічних, трудових витрат, що багато в чому визначають ефективність системи в цілому. До них відносяться:

- витрати на придбання аварійного запасу труб і матеріалів для ЛЧ;
- витрати на керування процесом постачання;
- транспортні витрати, що включають витрати на перевезення труб, відвантаження і приймання;
- витрати складування, що включають у себе витрати на устаткування й утримання пунктів складування і обслуговуючого персоналу, оплати регламентних робіт із складування, втрати від фізичного псування і зносу, втрати від морального старіння;
- втрати у зв'язку з виникненням локального дефіциту необхідної номенклатури, що включають витрати на придбання необхідної номенклатури у резервного джерела і доставку, а також збитки від недопоставки газу;
- витрати на страхування;
- витрати на сплату податків;
- виплата відсотків по позиках або втрати від іммобілізації фінансових засобів із комерційного обороту.

З перерахованої сукупності витрат можна виділити групи витрат, що, як правило, не відображується у звітності виробничих об'єднань по транспорту газу ні в цілому, ні по різноманітній номенклатурі аварійного запасу, що зберігається, ні по окремих лінійно-виробничих управліннях (ЛВУ). Відсутність такої інформації позбавляє керівництво можливості

приймати об'єктивно обгрунтовані рішення з питань, пов'язаним із формуванням аварійного запасу, вибором раціональної стратегії його поповнення. До них відносяться витрати керування процесами постачання, складування, транспортні витрати, втрати в зв'язку з дефіцитом.

Вимір витрат за даними групами по газотранспортному підприємству (ГТП) у цілому є необхідною, але не достатньою умовою для прийняття рішень по формуванню аварійних запасів і оцінки витрат і втрат в зв'язку з їхньою наявністю або відсутністю. Наприклад, у математичних моделях по керуванню запасами передбачається оцінка таких параметрів, як питома вартість придбання, утримання на пункті складування, різноманітної номенклатури, втрати від іммобілізації фінансів в запасах і внаслідок виникнення локального дефіциту. Існуюча у виробничих об'єднаннях система бухгалтерського обліку не відбиває витрати по постачанню, тому що в рахунках вони окремо не показуються і їх загальна сума не враховується. Ці витрати розподілені у ряді інших витрат по обслуговуванню виробництва і керуванню. Пошук інформації про витрати по постачанню ускладнюється тим, що бухгалтерська і статистична звітність не пристосовані для розв'язку задач оцінки витрат на постачання аварійним запасом, їхнього впливу на собівартість що транспортується газу, задач економічного обгрунтування договірних умов постачання, обгрунтованого вибору форм постачання.

У зв'язку з цим, доцільно застосувати метод непрямой оцінки витрат, особливо пов'язаних із складуванням аварійного запасу. Аналіз існуючої системи забезпечення аварійним запасом ЛЧ МГ показує, що поряд із наявністю у газотранспортних підприємствах наднормативних або навіть зайвих запасів за однією номенклатурою, нерідко має місце дефіцит за іншою або навіть за тією самою ж на окремих ділянках обслуговування. Однією з причин існування у підприємств політики зайвого запасу була відсутність можливості і економічної необхідності зіставлення втрат від



зайвих запасів (у тому числі і втрат від вилучення коштів з обороту) із збитками, викликаними дефіцитом.

Розглядаючи ситуації подолання локального дефіциту, що виник на ділянці обслуговування, з врахуванням наявності даної номенклатури у власній системі, спочатку необхідно відшукати найбільше економічний шлях заміни. При поновленні дефіцитної ситуації вимушений перехід до більш дорогих замінів. При виході ж дефіциту за рамки аналізованої системи необхідно використовувати більш дорогі методи компенсації наслідків дефіциту. Отже, при виникненні локального або загального дефіциту планованої номенклатури аварійного запасу можливий ряд рішень, що дозволяють компенсувати його наслідки; вибір кожного з них спричиняє за собою різний за розміром збиток у зв'язку з дефіцитом, що відповідно змінює витрати на функціонування системи забезпечення аварійними запасами ЛЧ МГ.

Все це, а також нові економічні умови діяльності підприємств і, пов'язані з цим подальше скорочення номенклатури аварійних запасів, що розподіляється у централізованому порядку, розвиток прогресивних форм постачання (прямі господарські зв'язки, внутрішньогалузева торгівля, біржова торгівля) обумовлюють доцільність використання в якості одного з параметрів для оцінки ефективності системи керування аварійними запасами для ЛЧ МГ найбільш поширеного техніко-економічного показника - ефективності середніх сумарних витрат.

У загальному вигляді, метою підвищення ефективності функціонування системи керування аварійними запасами для ЛЧ МГ є забезпечення надійної роботи об'єктів магістрального газопроводу з найменшими сумарними витратами на створення і функціонування системи і збитками від втрат і недопоставок газу споживачам внаслідок простоїв газопроводів або зниження їхньої продуктивності під час доставки необхідних запасних елементів від місця їх складування до місця аварії.

Таким чином, середні сумарні витрати виступають не тільки в якості параметра оцінки ефективності функціонування системи формування аварійних запасів, але й у якості критерію оптимальності організаційно-технологічних рішень по вдосконаленню досліджуваної системи (рис. 2.5):

$$\bar{E}_x(T) = \bar{A} + \bar{B} + \bar{C} + \bar{D} \quad , \quad (2.6)$$

де  $\bar{A}$  - середні питомі витрати на придбання і доставку труб до пункту складування;  $\bar{B}$  - середні питомі витрати на облаштуваність і утримання пунктів складування аварійних запасів;  $\bar{C}$  - середній питомий збиток споживачів від недоподачі газу при зниженні пропускної спроможності газопроводів у ході аварійно-відбудовних заходів;  $\bar{D}$  - інші середні питомі накладні витрати.

Комплексний підхід до розгляду функціонування системи керування аварійними запасами для ЛЧ МГ враховує вплив множини випадкових і керованих факторів, що визначають значення тих або інших параметрів системи, які впливають на її ефективність.

Система забезпечення сучасних магістральних газопроводів аварійними запасами труб і матеріалів має складну структуру. Різноманітні форми організації аварійного забезпечення ЛЧ МГ запасними елементами обумовлюють різний рівень ефективності експлуатації магістрального газопроводу. Більш високий рівень ефективності системи керування аварійними запасами для ЛЧ МГ досягається при пошуку значень параметрів, що забезпечують екстремальне значення функції мети. У рамках сформульованого вище комплексу задач по вдосконалюванню системи

ЛЧ МГ, що об'єднує питання планування, розподілу і перерозподілу запасів, оптимального розміщення пунктів складування по трасі МГ, функція мети приймає різні значення і залежить від великої кількості факторів.

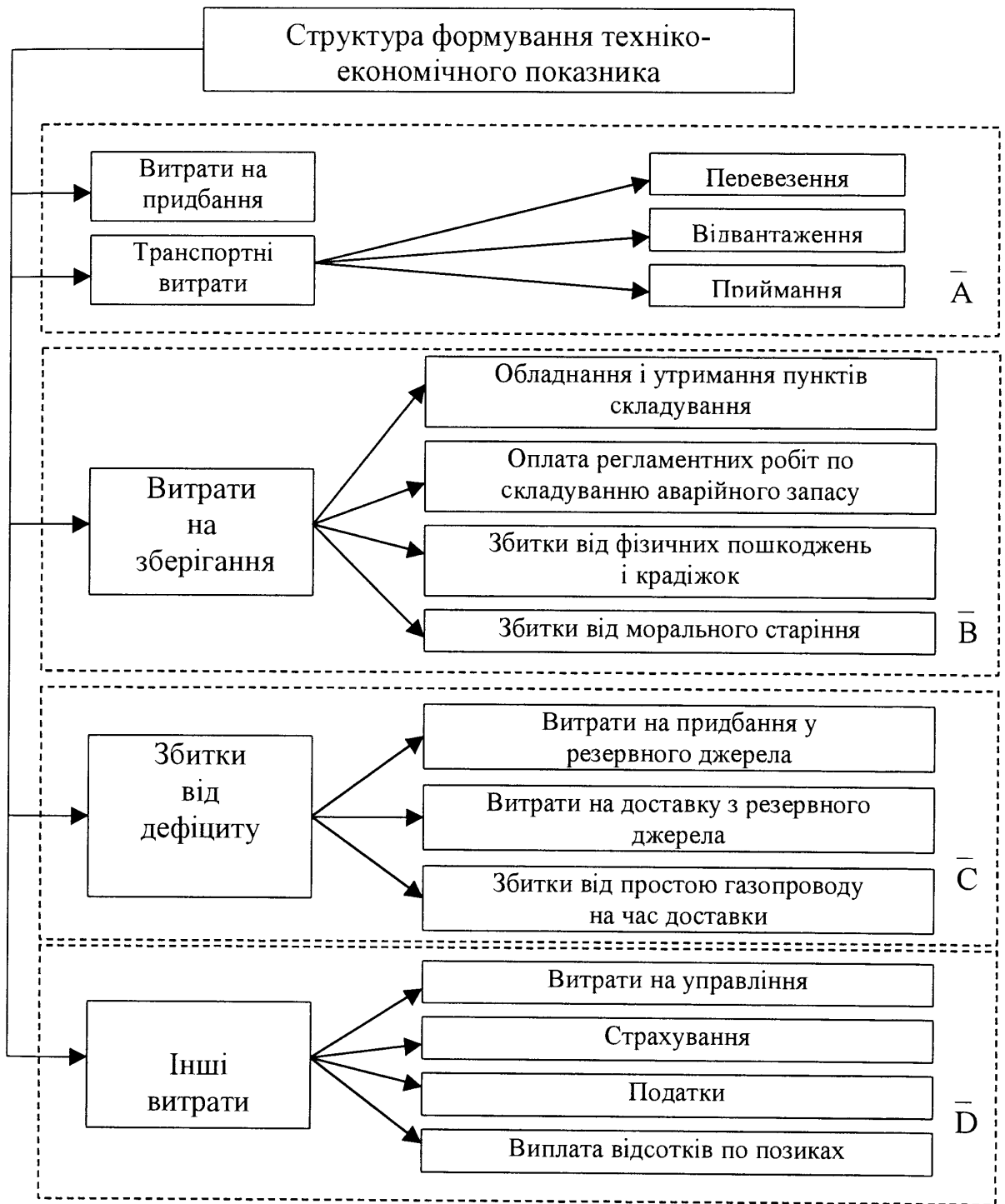


Рисунок 2.5 – Структура формування техніко-економічного показника

При розв'язуванні будь-якої з перерахованих оптимізаційних задач функція мети  $\bar{E}x(T)$  є математичним виразом взаємозв'язку параметрів, які підлягають оптимізації, і вартісних (витратних) показників ефективності, що забезпечують нормальне функціонування системи.

Таким чином, мета задачі формування критерію ефективності системи керування аварійними запасами для ЛЧ МГ зводиться до детального опрацювання і оцінки всіх складових функції мети з врахуванням їхнього взаємного впливу (рис. 2.6).

Значення функції мети формується в результаті розв'язку часткових задач:

- по плануванню поставчань (I);
- по розподілу поставчань (II);
- по перерозподілу (III);
- по розміщенню пунктів складування аварійних запасів (IV);
- по виділенню і закріпленню ділянок обслуговування (V).

Використання комплексного підходу і формалізація подібної математичної багатофакторної моделі дозволяє шляхом перебору альтернативних варіантів вхідних параметрів і різних обмежень здійснювати пошук оптимальних організаційно-технологічних рішень за критерієм мінімуму функції мети середніх сумарних витрат в системі керування аварійними запасами для ЛЧ МГ:

$$\min_{\tau, W, M_i, N, XY, L} Ex_{\tau, W, M_i, N, XY, L}, \quad (2.7)$$

де  $\tau$ ,  $W$  - стратегія і графік поповнення аварійних запасів, обрані для даної системи газопроводів;  $M_i$  - характеристики укомплектованості пунктів складування запасними елементами;  $N$ ,  $XU$  - характеристики розміщення пунктів складування аварійних запасів у регіоні обслуговування;  $L$  - характеристики прикріплення ділянок системи ЛЧ МГ, що постачаються з пункту складування.

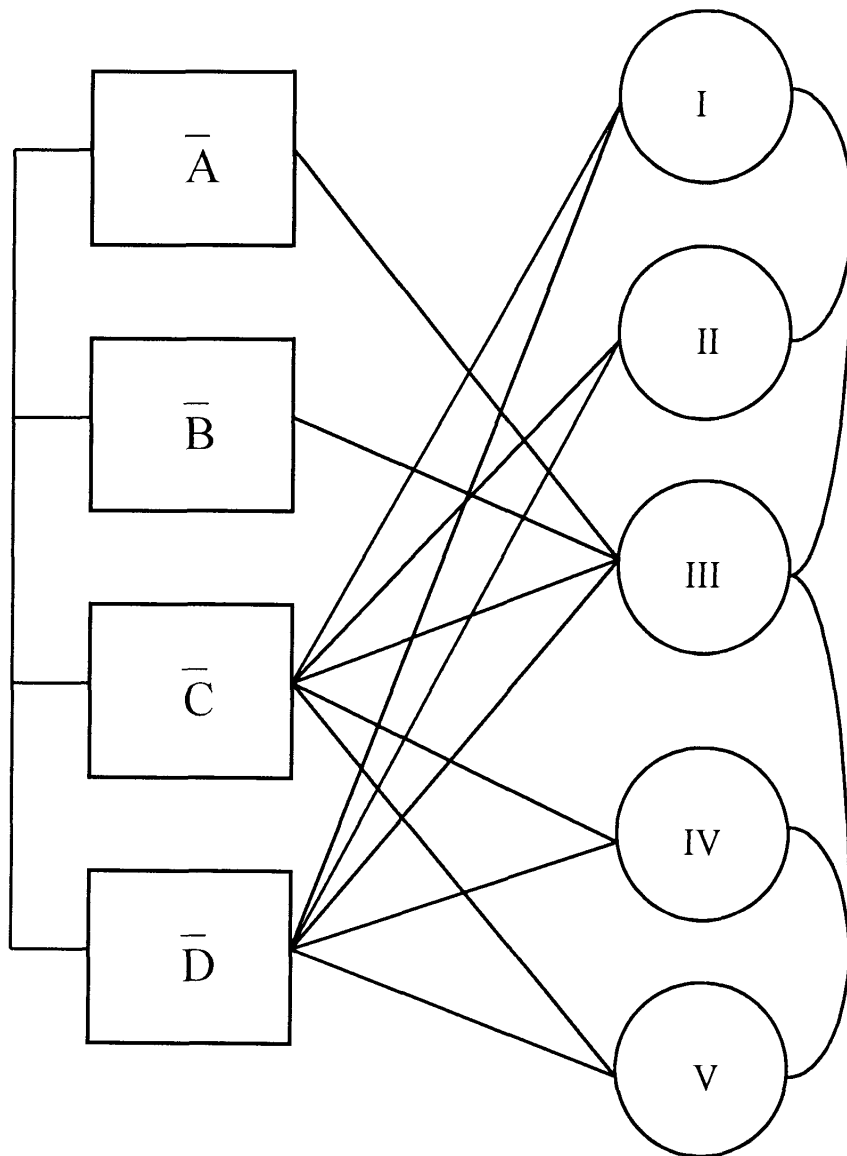


Рисунок 2.6 - Загальна схема взаємодії часткових задач системи забезпечення аварійним запасом труб ЛЧ МГ і основних складових техніко-економічних показників.

При розгляді подібної задачі глобальної оптимізації перераховані характеристики системи керування аварійними запасами ЛЧ МГ  $\tau, W, M_i, N, XY, L$  відіграють роль аргументів, виступаючи в якості керуючих параметрів.

Оптимальне планування графіка і об'ємів постачань запасних елементів визначається шляхом вибору раціональної стратегії поповнення аварійних запасів, інтенсивністю надходжень заявок на запасні елементи, факторами, що створюють умови обмежень:

$$\min_{\tau, W, \lambda} Ex(\tau, W, \lambda, \dots, a, b, c) \quad , \quad (2.8)$$

де  $\lambda$  - інтенсивність потоку відмов устаткування на ЛЧ МГ;

$a, b, c$  - різноманітні системні обмеження.

Задача розподілу постачання базується на характеристики укомплектованості пунктів складування аварійними запасами, врахуванні нерівномірності розподілу показників по довжині газопроводу, характеристики закріпленої ділянки обслуговування:

$$\min_{M_i, L} Ex(M_i, L, \dots, a, b, c) \quad , \quad (2.9)$$

де  $a, b, c$  - характеристики ділянок і граничні умови функціонування системи.

Задача розміщення пунктів складування аварійних запасів у регіоні обслуговування об'єднує часткові задачі по визначенню координат пунктів складування аварійних запасів і встановленню границь обслуговування

$$\min_{N, XY, L} Ex(N, XY, L, \dots, a, b, c) \quad , \quad (2.10)$$

де  $a$ ,  $b$ ,  $c$  - фактори обмежень і характеристики регіону.

Аналізована в даному дослідженні система керування аварійними запасами для ЛЧ МГ у процесі функціонування не застрахована від виникнення локальних дефіцитів різноманітної номенклатури на окремих пунктах складування аварійних запасів.

Дана обставина робить доцільним використання двох показників для оцінки ефективності системи - середніх сумарних витрат і імовірності відсутності локальних дефіцитів. Обґрунтуванням для вибору значення імовірного показника можна вважати сформований в даний час рівень достатності запасів на магістральних газопроводах.

### 2.3. Оцінка і прогнозування розмірів потреби в запасних частинах на аварійний ремонт і обґрунтування вибору умовного елемента заміни

Одержання адекватних оцінок і обґрунтованих рекомендацій по формуванню і керуванню запасами технологічного устаткування обумовлюють необхідність зваженого підходу до побудови моделей аналізованого процесу, особливо на етапі формулювання основних припущень і пропозицій. Повною мірою це ставиться до засобу опису потоку вимог на запасні частини і устаткування (у тому числі і труби). Природне бажання повніше врахувати технічні і технологічні умови, що формують потік вимог на запасні частини, веде до різкого ускладнення моделей і підвищенню трудомісткості розрахунків і вимог до інформаційного забезпечення.

Базуючись на реальній можливості обмеженого об'єму даних по експлуатації лінійної частини магістральних газопроводів визнано доцільним розглядати потік моментів появи вимог на запасні частини, як найпростіший,

а розмір вимоги - як незалежний дискретний випадковий розмір. Такий прийом дозволяє за рахунок процедури просіюванням потоку (Т-перетворення) змінювати характеристики його наближення до регулярного і, паралельно, змінювати розмір разової вимоги ( $\xi$ ) аж до фіксованого розміру. Обґрунтування імовірності даного підходу викладено далі.

Геометричний розподіл дискретної випадкової величини  $\xi$ , за визначеннях, являє собою:

$$\begin{aligned} P(u) &= P\{\xi = u\} = p^u \cdot q; \\ u &= 1, 2, \dots; \\ q &= 1 - p \end{aligned} \quad (2.11)$$

Визначення виразу для ряду розподілу суми незалежних випадкових величин здійснюється за допомогою апарату рекурентних функцій.

Рекурентна функція геометричного розподілу, за визначеннях, обчислюється як

$$\begin{aligned} \pi(z) &= \sum_{u=0}^{\infty} P(u) z^u \\ 0 &\leq z \leq 1 \end{aligned} \quad (2.12)$$

Відомо, що рекурентна функція суми незалежних випадкових величин, дорівнює добутку відповідних функцій, тобто

$$\begin{aligned} \pi_g(z) &= \prod_{l=1}^g \pi_l(z) = \pi^g(z) = \left[ \sum_{U=0}^{\infty} p^U q z^U \right]^g = \\ &= \left[ q \sum_{U=0}^{\infty} (pz)^U \right]^g = q^g \frac{1}{(1-pz)^g} = \left( \frac{q}{1-pz} \right)^g. \end{aligned} \quad (2.13)$$



Для визначення імовірностей використана відома властивість рекурентної функції:

$$P\{q\xi = U\} = \frac{1}{U!} \frac{d^U}{dz^U} \pi_g(z) \Big|_{z=0} \quad (2.14)$$

Маємо:

$$\begin{aligned} \frac{d}{dz} \pi_g(z) \Big|_{z=0} &= q^g \cdot g \cdot p; \\ \frac{d^2}{dz^2} \pi_g(z) \Big|_{z=0} &= q^g \cdot g(g+1)p^2; \\ \frac{d^3}{dz^3} \pi_g(z) \Big|_{z=0} &= q^g \cdot g(g+1)(g+2)p^3. \end{aligned} \quad (2.15)$$

Неважко переконатися, що справедливе таке співвідношення:

$$\begin{aligned} \frac{d^U}{dz^U} \pi_g(z) \Big|_{z=0} &= q^g \cdot g(g+1)(g+2) \dots (g+U-1)p^U = \\ &= q^g p^U \frac{(g+U-1)!}{(g-1)!}. \end{aligned} \quad (2.16)$$

Такий чином:

$$P\{g\xi = U\} = \frac{1}{U!} q^g p^U \frac{(g+U-1)!}{(g-1)!}. \quad (2.17)$$

Виходячи з аналізу характеру руйнування лінійної частини магістральних газопроводів, можна припустити, що випадковий розмір котушки описується дискретним розподілом виду (2.17) при  $g=2$ . Параметр  $g$  має зміст елементарних ділянок труби довжиною  $\Delta$ , де в залежності від мети розрахунків  $\Delta$  може бути прийнята рівній довжині однієї труби, або 1 м., або 3-м діаметрам труби та ін. Значення параметра  $g=2$  відображає ту обставину,

що руйнування поширюється уздовж осі трубопроводу в обидві сторони від осередку руйнування.

Отже, висувається гіпотеза про приналежність розподілу випадкового розміру котушки сімейству функцій виду (2.17) із  $g=2$ :

$$r_U = (U + 1)p^U q^2, \quad U = 1, 2, 3, \dots, \quad (2.18)$$

де  $0 < p < 1$  - невідомий параметр.

Ряд розподілу (2.18) цілком характеризується параметром  $p$ .

Варто враховувати також, що  $U$  може приймати значення тільки більше одиниці. Тому, вводимо нормуючий множник  $C$ , який забезпечує умову:

$$C \sum_{U=1}^{\infty} r_U = 1;$$

остаточно одержуємо:

$$r_U = \frac{q^2}{1-q^2} (U + 1)p^U; U = 1, 2, 3, \dots, \quad (2.19)$$

Середній розмір заявки визначається таким виразом:

$$\tilde{M} = \sum_{U=0}^{\infty} U \cdot r_U = \frac{2}{q(1+q)}. \quad (2.20)$$

З даного виразу неважко одержати співвідношення для оцінки параметра розподілу  $q$ :

$$\begin{aligned} q &= -0,5 + \sqrt{0,25 + \frac{2}{M}} \\ p &= 1,5 - \sqrt{0,25 + \frac{2}{M}}, \end{aligned} \quad \text{або} \quad (2.21)$$

де  $\tilde{M} \geq 1$  згідно допущенню про штучний характер запасів. Перевірку адекватності теоретичного закону розподілу емпіричним даним здійснюється за допомогою критерію Колмогорова  $D$ :

$$D = \max \left( \max_i r_U - r_U^*, \max_i r_U - r_U^{**} \right) =$$

$$= \max_{i \geq 0} \frac{(U+1)p^i(1-p)^2}{1-(1-p)^2} - \frac{n_u}{N};$$

$$\max_{i \geq 0} \frac{(U+1)p^i(1-p)^2}{1-(1-p)^2} - \frac{n_{U-1}}{N}$$

де  $N$  - загальне число вимірів розмірів котушки;

$n_u$  - число вимірів розмірів котушки в діапазоні  $(u, u + 1)$ ;

$n_{u-1} = 0$ .

Умовою непротивності теоретичного закону емпіричним даним є:

$$D \leq D_N(Q),$$

де  $D_N(Q)$  – табульована функція;

$Q$  - виражений у відсотках рівень значимості (приймається 5%).

У таблиці 2.1 подані результати розрахунків величин котушки для різних діаметрів газопроводів і декількох рівнів дискретизації. Дані по аваріям газопроводів діаметрів 1020 мм і 1220 мм отримані в Держнагляді для газопроводів, розташованих в аналогічній кліматичній зоні подані у таблиці 2.2.

Дані таблиці 2.1 свідчать про адекватність запропонованого методу оцінки і прогнозування величин котушки, врізаної при аварійному ремонті газопроводів, тобто потреби в трубах при ремонті при  $1\text{ м} \leq \Delta \leq 12\text{ м}$ . Для цілей прогнозування потреби в трубах при декількох ремонтах варто

використовувати співвідношення, куди також введений нормований множник.

Таблиця 2.1- Результати розрахунків величин котушки для різних діаметрів газопроводів і декількох рівнів дискретизації

Умовний діаметр газопроводу, мм	Число вимірів N, шт.	Розмір елемента заміни, м	Вибіркове середнє число елементів заміни, шт.	Імовірність, P	Критерій згоди	
					фактичний	допустимий
700	11	1	50	0,961	0,165 0,547	1,63 1,36
		6	9	0,961	0,110 0,360	1,63 1,36
		12	4	0,634	0,317 1,05	1,63 1,36
1000	10	1	78	0,975	0,09 0,28	1,63 1,36
		6	13	0,866	0,254 0,803	1,63 1,36
		12	7	0,768	0,316	1,63 1,36
1200	26	1	76	0,974	0,128 0,417	1,63 1,36
		6	13	0,866	0,296 0,962	1,63 1,36
		12	7	0,768	0,34 1,06	1,63 1,36
1400	25	1	74	0,973	0,156 0,437	1,63 1,36
		6	12	0,855	0,298	1,63 1,36
		12	6	0,736	0,375 1,142	1,63 1,36

Таблиця 2.2 – Відомості про аварії, які вимагали використання аварійного запасу труб діаметрами 1020 мм і 1220 мм на газопроводах КЗУ-I і КЗУ-II

1020 мм		1220 мм	
Дата аварії	Використаний запас, м	Дата аварії	Використаний запас, м
16.01.89	36	24.03.89	41
21.10.89	25	19.10.89	85
31.10.91	36	09.04.90	50
13.11.94	60	14.08.90	58
29.11.96	120	27.09.92	56
01.12.96	30	01.04.95	60
11.11.97	40	17.08.96	108
15.08.98	10	10.07.96	70
17.08.98	30	24.11.97	150
20.01.99	1.5	09.12.99	100
17.08.99	1		

Таким чином, для визначення імовірності сумарного попиту  $j$  заявок маємо:

$$R_j(i) = \frac{q^{2j} p^i (2j-1+i)!}{i!(2j-1)!} \cdot \left[ 1 - \frac{q^{2j}}{(2j-1)!} \sum_{k=0}^{j-1} p^k (2j-1+k)! \right],$$

де

$$i = j, j+1, j+2, \dots,$$

$$j = 1, 2, 3, \dots;$$

$$R_1(i) = r_i.$$

Слід відзначити, що розглянутий вище розподіл імовірності  $R_j(i)$  може використовуватись і для опису не випадкового розміру заявки одиначної

розмірності (наприклад, заявка на доставку однієї деталі або одиниці устаткування). Для цього необхідно прийняти умову  $p = \varepsilon$ , де  $\varepsilon$  - довільна нескінченно мала величина.

Таким чином, розподілом  $R_j(i)$  описується розмір заявки на запасні частини для будь-яких об'єктів магістральних газопроводів.

### Розділ 3. РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ПЛАНУВАННЯ, ФОРМУВАННЯ І РОЗМІЩЕННЯ АВАРІЙНОГО ЗАПАСУ ТРУБ ЛЧ МГ

Розробка методики формування аварійного запасу труб на трасі газопроводу повинна опиратись на результати математичного моделювання системи формування запасів труб. Математичний опис процесу функціонування системи формування та зберігання аварійного запасу труб повинен опиратися на оцінки інтенсивності відмов на лінійній частині магістрального газопроводу. Інтенсивність відмов, як параметр потоку, визначається на базі статистичних даних про аварії на газопроводі і в загальному випадку залежить від умов прокладання траси газопроводу, тобто є функцією лінійної координати.

Виходячи з специфіки експлуатації і високої надійності газопроводів можна стверджувати, що аварійні відмови на лінійній частині трапляються рідко, внаслідок чого виникає дефіцит статистичного матеріалу для перевірки гіпотези про незростання інтенсивності відмов.

Створювана математична модель повинна спиратися на закони математичної статистики. Тому розроблена на її основі методика планування і розміщення аварійних запасів труб на лінійній частині магістральних газопроводів є по своїй суті стохастичною.

### 3.1 Оцінка і прогнозування параметру потоку заявок на запасні частини і устаткування для аварійного ремонту лінійної частини магістрального газопроводу (ЛЧ МГ)

Для математичного опису процесу функціонування системи формування і складування запасів і змоги прогнозування параметра потоку заявок на запасні частини і устаткування для аварійного ремонту необхідно мати можливість оцінювати інтенсивність (параметр потоку) відмов на лінійній частині магістрального газопроводу.

Під інтенсивністю відмов на лінійній частині магістрального газопроводу (елементів або невідновлюваних об'єктів) розуміється певна можливість відмов за одиницю часу за умови, що до цього моменту відмов не було [14].

Аналітично інтенсивність відмов елементів визначається співвідношенням:

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{P(t)}, \quad (3.1)$$

де  $f(t)$  - густина імовірності часу безвідмовної роботи;

$P(t)$  - імовірність безвідмовної роботи за час  $t$ .

Не важко переконатися, що інтенсивність відмов є постійною величиною  $\lambda(t) = \lambda$  при експонентному розподілі наробітку на відмову, тобто при  $f(t) = \lambda e^{-\lambda t}$ .

В теорії надійності експонентний розподіл часу безвідмовної роботи має величезне значення, у порівнянні із значенням нормального розподілу в області опрацювання даних і представлення результатів вимірів.



Як відзначається в [5], на практиці взагалі часто інтенсивність відмов різноманітних агрегатів, після періоду приробітку об'єкту, вважають постійною.

Оскільки для більшості об'єктів, аналізованих у даному дослідженні число відмов на аналізованій конкретній ділянці не є великим через достатньо високу надійність і специфіку експлуатації газотранспортних систем, для статистичної перевірки гіпотези про незбільшення інтенсивності відмов на лінійній частині магістрального газопроводу в часі ефективний наступний непараметричний критерій [89].

Припущення про те, що інтенсивність відмов є постійною величиною приймається за робочу гіпотезу  $H_1$ , тобто при  $H_1$   $\lambda(t)=t$ , а припущення, що це не так, за альтернативну гіпотезу, тобто  $H_a$  -  $\lambda(t) = const$ . Нехай  $T_1, T_2, \dots, T_m$  є вибіркою, обсягом "n" незалежних спостережень (безаварійна робота різноманітних елементів) із генеральної сукупності з довільною густиною імовірності.

Вважається, без обмеження сукупності, що вибірка являє собою ряд значень, розташованих у порядку зростання:  $T_1, T_2, \dots, T_m$ .

Інтервали  $D_i$  і нормалізовані інтервали  $D_{H_i}$  визначаються в такий спосіб:

$$\begin{aligned} D_1 &= T_1, & D_{H_1} &= mD_1 \\ D_2 &= T_2 - T_1, & D_{H_2} &= (m-1)D_2 \\ &\dots\dots\dots & & \\ D_m &= T_m - T_{m-1}, & D_{H_m} &= D_m \end{aligned}$$

Припустимо

$$V_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{при } D_{Hi} \leq D_{Hj} \\ 0 & \text{при } D_{Hi} < D_{Hj}, i > j \end{cases} \quad (3.2)$$

Статистика  $V_n$  визначена в такий спосіб:

$$V_n = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^i V_{ij}. \quad (3.3)$$

Тоді робоча гіпотеза діє до рівня  $\alpha$ , якщо  $V_m > \gamma_{m,\alpha}$ , де граничне значення  $\gamma_{m,\alpha}$  визначається так, щоб  $P\{V_m > \gamma_{m,\alpha} / H_0\} = \alpha$ . У цьому випадку робоча гіпотеза не діє. При  $V_m \leq \gamma_{m,\alpha}$  приймається робоча гіпотеза.

Евристична перевірка гіпотези за допомогою даного критерію може бути обґрунтована в такий спосіб. При робочій гіпотезі нормалізовані інтервали  $D_{Hi}$  розподілені незалежно, кожний по експонентному закону так, що

$$P\{V_{i,j} = 1\} = 0,5 \text{ при } i, j = 1, \dots, m, i \neq j. \quad (3.4)$$

При справедливості альтернативної гіпотези  $P\{V_{i,j} = 1\} > 0,5$  при  $i, j = 1, 2, \dots, m$ , коли  $i < j$ , так як для більш ранніх моментів часу розміри інтервалів повинні бути більші, ніж для пізніших. Таким чином, кожне значення  $V_{i,j}$  і отже,  $V_m$  буде більше при альтернативній гіпотезі. Тому при великих  $V_m$  робоча гіпотеза відхиляється.

Для практичного застосування критерію необхідно знати розподіл  $V_m$ , виходячи з якого можна знайти  $\gamma_{m,\alpha}$ .

Розподіл імовірностей  $P\{V_m = k\}$  при справедливості робочої гіпотези визначається такою формулою з [91]:

$$P\{V_m = K\} = \frac{\Pi_m(k)}{m!}, k = 0, 1, 2, \dots, \quad (3.5)$$

де  $\Pi_m(k)$  - число перестановок нормалізованих інтервалів  $D_{Hi}$ , у яких має місце точно "k" випадків  $D_{Hi} > D_{Hj}$  при  $i > j$ .

Для  $\Pi_m(k)$  справедливо таке рекурентне співвідношення (при  $m > 2$ ):

$$\Pi_m(k) = \Pi_{m-1}(k) + \Pi_{m-1}(k-1) + \dots + \Pi_{m-1}(k-m+1), \quad (3.6)$$

де  $\Pi_{m-1}(k) = 0$  при  $k < 0$ .

Число перестановок із двох елементів можна виписати:

$$D_{H_1} \quad D_{H_2}, \quad D_{H_2} \quad D_{H_1}$$

Звідси

$$\Pi_2(0) = 1, \quad \Pi_2(1) = 1, \quad \Pi_2(2) = 0.$$

На основі зазначених співвідношень імовірність  $P(V_m = k)$  може бути підрахована для будь-якого значення  $m$ . Для цього використовуються табличні значення функції розподілу

$$F(\gamma) = P\{V_m \leq k\},$$

$$\text{для } k \geq 10,$$

отриманої за допомогою виписаної раніше рекурентної формули для  $\Pi_m(k)$ .

Визначивши  $V_m$  по дослідних даних, знаходимо за допомогою таблиці відсоткову точку  $\gamma_{m,\alpha}$  розподілу  $V_m$ , що задається рівнянням

$$F\{V_{m,\alpha}\} = 1 - \alpha$$

при обраному рівні значимості  $\alpha$ . Порівняння  $V_m$  і  $V_{m,\alpha}$  закінчує розв'язок задачі.

Числові характеристики розв'язку задачі статистики  $V_m$  визначаються формулами:

$$MV_m = \frac{1}{4}(m-1)m; DV_m = \frac{1}{12}(m-1)m(2m+5) . \quad (3.7)$$

Виявляється, що розподіл є асимптотно нормальним із зазначеними вище параметрами. Цей розподіл вже при невеличких  $m$  досить близький до нормального, що дозволяє при  $m > 10$  для знаходження  $\gamma_{m,\alpha}$  використовувати таблиці нормального розподілу. Тоді

$$\gamma_{m,\alpha} = MV_m + U_{1-\alpha} \sqrt{DV_m}, \quad (3.8)$$

де  $U_{1-\alpha}$  - квантиль нормованого нормального розподілу.

Якщо при аналізі надійності газотранспортної системи використовувати зведення про заявки на аварійний ремонт, коли відбувається заміна елементів, то за даними про їх безаварійну роботу до моменту аварії утворюється не оцінка інтенсивності відмов  $\lambda(t)$ , а оцінка параметра потоку відмов  $\omega(t)$ . Параметр (або інтенсивність) потоку відмов дорівнює середньому числу відмов в одиницю часу [14]:

$$\omega(t) = \omega(i\Delta t) = \omega_i = \frac{m_i(\Delta t)}{M^* \Delta t}, \quad (3.9)$$

$$i = 1, 2, \dots, \lceil T_p / \Delta t \rceil$$

де  $m_i(\Delta t)$  - кількість елементів труб, замінених в  $i$ -ому інтервалі напрацювання  $[i\Delta t, (i+1)\Delta t]$ ;

$M^*$  - кількість елементів труб, замінених на початку експлуатації.

$T_p$  - час, протягом якого ведеться спостереження за об'єктом (тобто час ресурсу).

Оцінку відповідності робочої гіпотези зведенням про відмови можна провести за критерієм  $X^2$ . Статистика для перевірки гіпотези має вигляд:

$$X^2 = n \sum_{i=1}^{i_{\max}} \frac{(\bar{f}_i - f_i)^2}{f_i}, \quad (3.10)$$

де  $f_i$  - теоретичне значення густини імовірності часу безаварійної роботи підраховується за формулами (3.4) при  $t = i\Delta t$ ;

$\bar{f}_i$  - експериментальна оцінка густини імовірності часу безаварійної роботи, отримана по зведеннях про аварії, що сталися.

Прийнятій моделі зміни інтенсивності аварій відповідає така густина імовірності часу безаварійної роботи:

$$f(t) = \lambda e^{-\int_0^t \lambda(\bar{t}) d\bar{t}} = \lambda e^{-\lambda t} \quad (3.11)$$

Параметр потоку відмов  $\omega(t)$ , що утворюється при експлуатації з заміною аварійних ділянок трубопроводу, якщо інтенсивність аварій на цих ділянках  $\lambda(t)$  відома, задається фундаментальною формулою теорії відновлення:

$$\omega(t) = f(t) + \int_0^t f(t-\tau)\omega(\tau)d\tau, \quad (3.12)$$

де  $f(t)$  - густина імовірності часу безаварійної роботи.

Експериментальні оцінки  $\bar{f}_i$  утворюються на підставі підрахованих за формулою ( 3.2 ) значень параметру потоку відмов (аварій)  $\omega_i$  за рекурентними формулами:

$$\begin{aligned} \bar{f}_0 &= \omega_0 \\ \bar{f}_1 &= \frac{\omega_1 - \omega_1 f_0 \Delta t}{1 + \omega_0 \Delta t} \\ \bar{f}_2 &= \frac{\omega_2 - \omega_2 f_0 \Delta t - \omega_1 f_1 \Delta t}{1 + \omega_0 \Delta t} \end{aligned} \quad (3.13)$$

Формули (3.13) виведені наступним чином. В інтегральному рівнянні (3.12) інтеграл представляємо у вигляді суми

$$\omega_i = f_i + \sum_{v=0}^i f_i - v\omega_v \Delta t. \quad (3.14)$$

Якщо послідовно задавати значення 0, 1, 2, .... отримуємо наступні співвідношення:

$$\begin{aligned}
 \omega_0 &= f_0; \\
 \omega_1 &= f_1 + f_1\omega_0\Delta t + f_0\omega_1\Delta t \\
 \omega_2 &= f_2 + f_2\omega_0\Delta t + f_0\omega_1\Delta t + f_0\omega_2\Delta t.
 \end{aligned}
 \tag{3.15}$$

Висновок про можливість використання робочої гіпотези можна вважати обґрунтованим, якщо отримане значення  $X^2$  не значимо, тобто  $PX^2$ , визначено по таблиці “Процентные точки  $X^2$  - распределения” [5, с.174] при числі ступенів вільності  $(i_{\max} - 3)$ , менше 0,1 – 0,15.

Розрахунки, проведені за даною методикою, показали, що гіпотеза про незбільшення інтенсивності аварій на лінійній частині магістрального газопроводу – вірна. Дані по об’єктам дослідження подані в таблиці 2.2.

### 3.2 Математична модель функціонування системи формування запасів для аварійного ремонту лінійної частини газопроводу.

Аналіз практики експлуатації магістральних газопроводів дозволяє сформулювати ряд особливостей функціонування системи зберігання і поповнення запасів для ремонту ЛЧ МГ, основними з яких є наступні:

- поповнення запасів здійснюється за заздалегідь узгодженим з постачальником графіком, де зафіксовані терміни і об’єми постачань. Аварійні постачання виключаються, а при вичерпанні запасів підключаються сторонні джерела, що не входять у коло розгляду;

- у проміжку між черговими постачаннями можливий перерозподіл поточного запасу між пунктами їх складування з метою запобігання виникненню локального дефіциту;

- задоволення заявки на запасні частини, що характеризується випадковим розміром і випадковим місцем проведення ремонту, обумовлює необхідність формалізації правила ухвалення рішення по витраті запасів на множину локальних пунктів складування при поточному рівні запасів на кожному з них.

В даний час планування постачань запасів для експлуатації магістральних газопроводів здійснюється терміном на один календарний рік. При фіксованому графіку постачань аналіз функціонування системи складування запасів можна проводити послідовно на кожному з інтервалів часу  $T_i = \tau_{i+1} - \tau_i$  між черговими надходженнями (рис. 3.1)  $(\tau_i, \tau_{i+1})$ , з врахуванням перехідних (поточних) запасів, об'єм яких є випадковою величиною і вимагає прогнозування.

Обгрунтоване раніше допущення про пуассонівський потік моментів часу надходження заявок на запасні частини і штучний характер запасів, дозволяє використовувати для опису процесу функціонування системи складування запасів марковські моделі за схемою "чистої загибелі" (рис. 3.2).



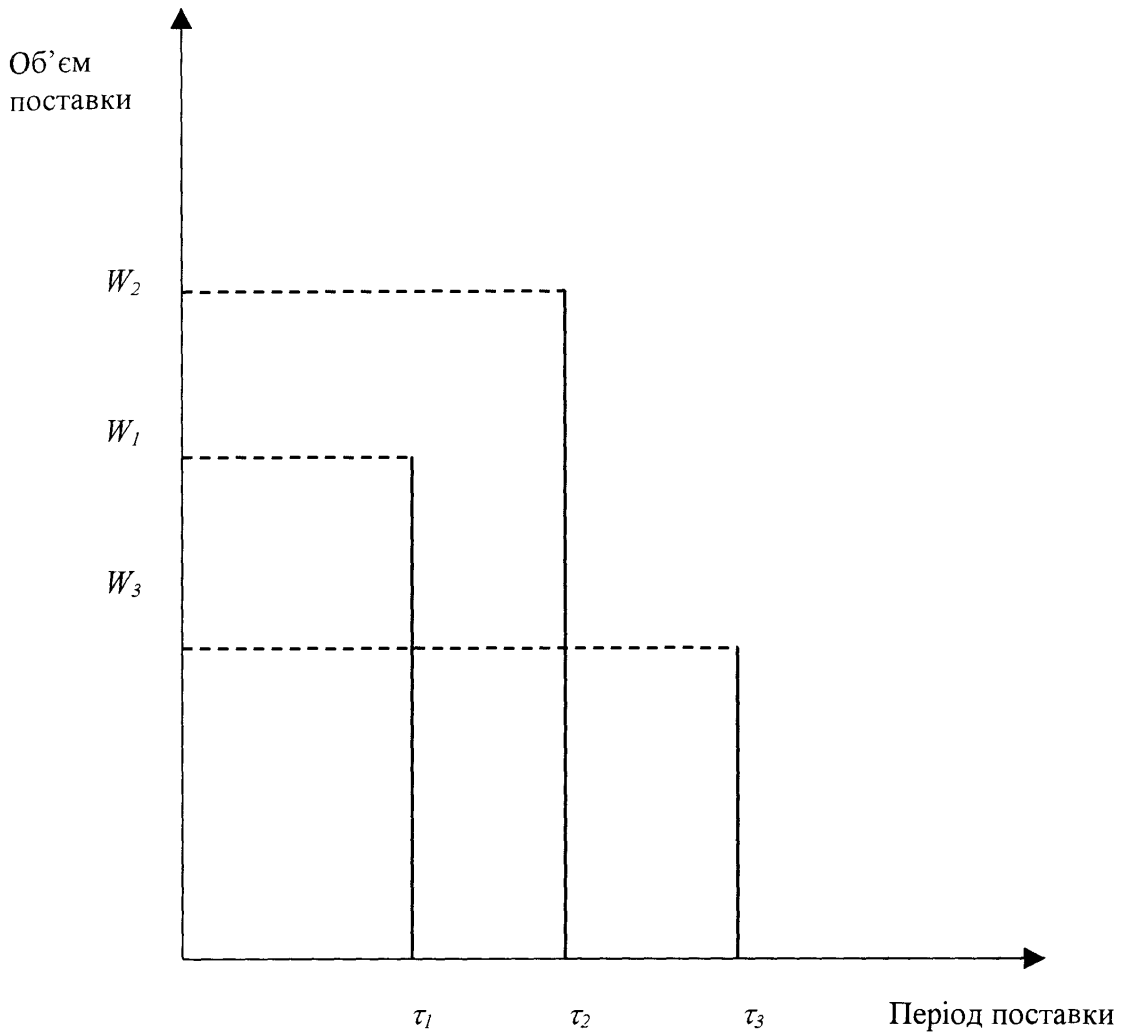


Рис.3.1 Графік постачання запасних елементів для ЛЧ МГ.

Фазовим простором є множина станів системи складування запасів об'ємом  $i$  ( $i = M, 0$ ) і стану дефіциту  $D$ . Розмір заявки  $k$  може мати місце з імовірністю  $r_k (r_k \equiv P(k))$ , причому розмір заявки є незалежною випадковою величиною.

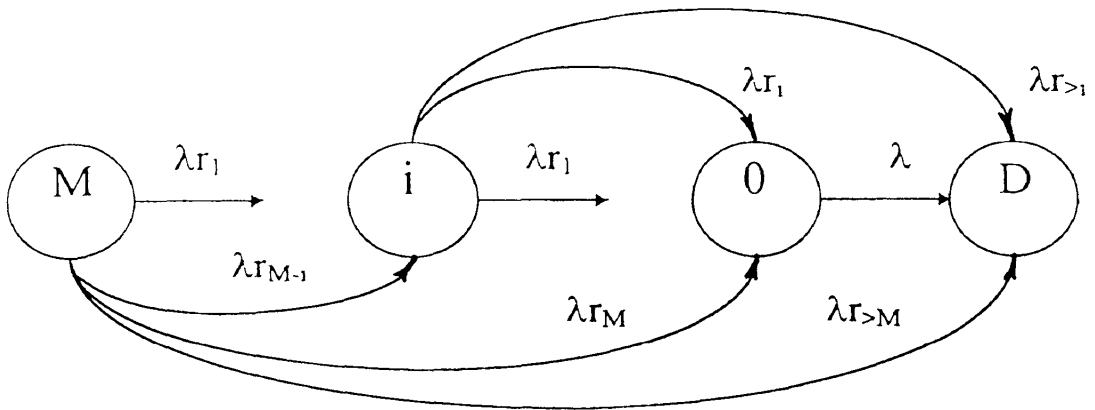


Рис.3.2. Граф еволюції системи в просторі станів:

M - початковий рівень збереженого запасу;

i - розмір поточних запасів;

$\lambda$  - інтенсивність аварій;

$r_i$  - ряд розподілу кількості труб для аварійного ремонту;

D - стан дефіциту, що відповідає повному вичерпанню запасів при наявності потреби в них;

0 – кінцевий рівень складування запасу.

Еволюція системи в просторі станів описується диференціальними рівняннями виду:

$$\begin{cases} \frac{dP_D}{dt} = \sum_{j=0}^M P_j(t) \cdot \lambda \cdot r_{>j} \\ \frac{dP_i}{dt} = \sum_{j=1}^{M-i} \lambda \cdot r_j \cdot P_{i+j}(t) - \lambda \cdot P_i(t); \quad i = \overline{0, M-1} \\ \frac{dP_m}{dt} = -\lambda \cdot P_M(t) \\ P_M(0) = 1; \quad \sum_{j=0}^M P_j(t) + P_D(t) = 1 \end{cases} \quad (3.16)$$

Інтересуюча у даному дослідженні величина перехідного запасу безпосередньо перед черговим надходженням оцінюється відповідними імовірностями  $P_i(T)$ ,  $i = \overline{0, M}$ .

Застосувавши перетворення Лапласа до системи рівнянь (3.16) і використавши початкові умови, отримаємо:

$$\begin{cases} \pi_D(S) = \frac{\lambda}{S} \sum_{j=0}^M \pi_j(S) \cdot r_{>j} \\ \pi_i(S) = \frac{\lambda}{S + \lambda} \sum_{j=1}^{M-i} \pi_{i+j}(S) \cdot r_j; \quad i = \overline{0, M-1} \\ \pi_M(S) = \frac{1}{S + \lambda}; \end{cases} \quad (3.17)$$

де

$$\pi_i(S) = \int_0^{\infty} P_i(t) e^{-St} dt.$$

Провівши послідовні обчислення  $\pi_i(S)$  починаючи  $i=M-1$  і далі до  $i=D$ , і переходячи до оригіналу, отримано:

$$\begin{aligned} P_M(T) &= e^{-\lambda T} \\ P_i(T) &= e^{-\lambda T} \sum_{j=1}^{M-i} R_j (M-i) \frac{(\lambda T)^j}{j!}; \quad i = \overline{0, M-1} \\ P_D(T) &= 1 - e^{-\lambda T} - \sum_{i=1}^{M-1} P_i(T) \end{aligned} \quad (3.18)$$

Враховуючи, що в даному конкретному випадку стани 0 і D еквівалентні, тобто перехідний запас для них дорівнює 0, у результаті отримаємо:

$$\begin{aligned}
 P_M(T) &= e^{-\lambda T} \\
 P_i(T) &= e^{-\lambda T} \sum_{j=1}^{M-i} R_j(M-i) \frac{(\lambda T)^j}{j!}; \quad i = 0, \overline{M-1} \\
 P_0(T) &= 1 - P_M(T) - \sum_{i=1}^{M-1} P_i(T)
 \end{aligned} \tag{3.19}$$

де  $R_j(k)$  -  $j$ -кратна згортка розподілу ( $R_j(k) \equiv P_j(k)$ ), тобто функція розподілу суми  $j$  незалежних випадкових величин із функцією розподілу  $P(k)$ ,  $R_j(i < j) = 0$ .

Таким чином, формули (3.19) дають імовірність перехідного запасу величиною  $i$  у момент часу  $T$ . Для оцінки ефективності функціонування системи складування запасів по обраному раніше показнику - середнім сумарним витратам ( $E_{X_M}(T)$ ), доцільно використовувати відомі співвідношення для марковських процесів із прибутками.

Введемо такі позначення:

$E_{X_i}(T)$  - середні сумарні витрати за час  $t$ , якщо процес починається станом  $i$ ;

$C_j$  - середні приведені до одиниці часу витрати від перебування процесу в стані  $i$ ;

$C_{i,j}$  - середні витрати при переході зі стану  $i$  в стан  $j$ ;  $C_{DD} = C_D$

Початкові співвідношення мають вид:

$$\begin{aligned}
\frac{dEx_i}{dt} &= C + \lambda \sum_{j=1}^i r_j \cdot C_{i,i-j} + \lambda(1 - \sum_{j=1}^i r_j)C_{i,D} + \\
&+ \lambda \sum_{j=1}^i r_j \cdot [Ex_{i-j}(t) - Ex_i(t)] + \lambda(1 - \sum_{j=1}^i r_j) \times \\
&\times [Ex_D(t) - Ex_i(t)] \quad i = \overline{0, M} \\
\frac{dEx_D}{dt} &= C_D + \lambda \cdot C_D
\end{aligned} \quad (3.20)$$

Початковими умовами є:

$$\begin{aligned}
Ex_i(0) &= 0 \quad i = \overline{0, M} \\
Ex_D(0) &= 0
\end{aligned} \quad (3.21)$$

Під час перетворення Лапласа  $Ex_i(T)$  шуканих функції рівняння (3.20) і (3.21) приводяться до виду:

$$\begin{aligned}
\varphi_D(S) &= \frac{Q_D}{S^2}; \\
\varphi_i(S) &= \frac{Q_i}{S(S+\lambda)} + \frac{\lambda}{S+\lambda} \sum_{j=1}^i r_j \varphi_{i-j}(S) + \\
&\frac{\lambda}{S+\lambda} \varphi_D(S) \sum_{j=i+1}^{\infty} r_j; \quad i = \overline{0, M}
\end{aligned} \quad (3.22)$$

де  $Q_D = C_D + \lambda C_D$ ;

$$Q_i = C_i + \lambda C_{i,D} + \lambda \sum_{j=1}^i r_j (C_{i,i-j} - C_{i,D}). \quad (3.23)$$

Рекурентна процедура (3.22) дає імовірність обчислення зображень  $\varphi_i(S)$ , починаючи з  $i = 0$  до  $i = M$ :

$$\varphi_M(S) = \frac{\lambda}{S + \lambda} \sum_{i=0}^M \left[ \left( \frac{Q_i}{\lambda S} + \varphi_D(S) \sum_{j=i+1}^{\infty} r_j \right) \sum_{j=1}^{M-i} \binom{\lambda}{S + \lambda}^j R_j(M-i) \right], \quad (3.24)$$

де  $\sum_{j=1}^0 \binom{\lambda}{S + \lambda}^j R_j(0) = 1$ .

Для пошуку функцій  $E_{x_M}(T)$  по її зображенню  $\varphi_M(S)$  перетворимо вираз до виду:

$$\varphi_M(S) = \sum_{i=0}^M \frac{Q_i}{\lambda S} \sum_{j=1}^{M-i} \binom{\lambda}{S + \lambda}^j R_j(M-i) + \sum_{i=0}^M \frac{Q_D (1 - \sum_{j=1}^i r_j)}{S^2} \sum_{j=1}^{M-i} \binom{\lambda}{S + \lambda}^{j+1} R_j(M-i) \quad (3.25)$$

Враховуючи, що

$$\begin{aligned} Z^{-1} \left[ \binom{\lambda}{S + \lambda}^{j+1} \right] &= \lambda \frac{(\lambda T)^j}{j!} e^{-\lambda T} \\ Z^{-1} \left[ \frac{1}{S} \binom{\lambda}{S + \lambda}^{j+1} \right] &= \lambda \int_0^T (\lambda t)^j e^{-\lambda t} dt \\ Z^{-1} \left[ \frac{1}{S^2} \binom{\lambda}{S + \lambda}^{j+1} \right] &= \lambda \int_0^T \int_0^t (\lambda x)^j e^{-\lambda x} dx dt \end{aligned} \quad (3.26)$$

одержуємо вираз для шуканої функції витрат :

$$\begin{aligned}
Z^{-1}[\varphi_M(S)] &= Ex_M(T) = \sum_{i=0}^M \left\{ Q_i \sum_{j=1}^{M-i} \frac{R_j (M-i)^T}{j!} \int_0^T (\lambda t)^j e^{-\lambda t} dt + \right. \\
&+ \left. \lambda Q_D (1 - \sum_{j=1}^i r_j) \sum_{j=1}^{M-i} \frac{R_j (M-i)^T}{j!} \int_0^t \int_0^t (\lambda x)^j e^{-\lambda x} dx dt \right\} = \\
&= \sum_{i=0}^M \left\{ \frac{Q_i}{\lambda} \sum_{j=1}^{M-i} R_j (M-i) \left[ 1 - e^{-\lambda T} \sum_{k=0}^j \frac{(\lambda T)^k}{k!} \right] + \right. \\
&+ \left. Q_D (1 - \sum_{j=1}^i r_j) \sum_{j=1}^{M-i} R_j (M-i) \left[ T - \frac{1}{\lambda} \sum_{k=0}^j \left[ 1 - e^{-\lambda x} \sum_{l=0}^j \frac{(\lambda T)^l}{l!} \right] \right] \right\}
\end{aligned} \tag{3.27}$$

Позначивши

$$F_j(T) = 1 - e^{-\lambda T} \sum_{k=0}^j \frac{(\lambda T)^k}{k!},$$

одержуємо:

$$\begin{aligned}
Ex_M(T) &= \sum_{i=0}^M \left\{ \frac{Q_i}{\lambda} \sum_{j=1}^{M-i} R_j (M-i) F_j(T) + \right. \\
&+ \left. Q_D (1 - \sum_{j=1}^i r_j) \sum_{j=1}^{M-i} R_j (M-i) \left[ T - \frac{1}{\lambda} \sum_{k=0}^j F_k(T) \right] \right\}; \tag{3.28} \\
Ex_0(T) &= Q_D (T + \frac{Q_0 - Q_D}{\lambda} (1 - e^{-\lambda T}))
\end{aligned}$$

Вираз (3.28) дозволяє прогнозувати розмір середніх сумарних витрат у системі складування запасів на інтервалі часу  $T$  при початковому рівні запасів  $M$ . У сполученні з формулами (3.19) можна розраховувати витрати при заданому графіку поповнення системи складування.

Розглянута вище математична модель є гарним наближенням до реального процесу функціонування системи складування запасів при  $T \rightarrow \infty$  і на початковому етапі, коли відсутні локальні дефіциту. Дана обставина

зумовлює необхідність використання двох показників для оцінки ефективності системи - середніх сумарних витрат  $Ex_M(T)$  і імовірності відсутності локальних дефіцитів  $\bar{P}_D(T)$

Функція мети всієї системи, володіючи властивістю адитивності, має вид:

$$Ex(T) = \sum Ex_{M_n}(T), \quad (3.29)$$

де  $n$  - індекс пункту складування запасів  $n = \bar{1}, \bar{N}$ ;

$M_n$  - початковий рівень запасів на  $n$ -ому пункті .

Мірою близькості періоду функціонування системи  $(0, T)$  до початкового етапу служить імовірність  $\bar{P}_D(T)$ :

$$\bar{P}_D(T) = e^{-\lambda T} \prod \left\{ 1 + \sum_{k=1}^{M_n} \sum_{j=k}^{M_n} R_k(j) \frac{(\lambda_n T)^k}{k!} \right\}, \quad (3.30)$$

де  $R_0(j)=1$ ,

$\lambda_n$  - інтенсивність надходження заявок на запасні частини на  $n$  - й пункт складування;

$$\lambda = \sum_{n=1}^N \lambda_n .$$

З ростом значення  $\bar{P}_D(T)$  збільшується ступінь адекватності залежності (3.29). Залишаючи осторонь детальне вивчення питання про вибір припустимого діапазону зміни імовірності, обмежимося призначенням



$\bar{P}_D^*(T) = \lambda$ , де  $\lambda$  - сформований у даний час на практиці рівень достатності запасів на магістральних газопроводах.

Не важко зауважити, що показник  $\bar{P}_D(T)$  визначається тільки структурою системи запасів - числом пунктів складування  $N$ , розподілом загального запасу:

$$M_{\Sigma} = \sum_{n=1}^N M_n$$

по пунктах складування, розбивкою лінійної частини на окремі ділянки, кожна із яких закріплена за одним пунктом (побічно через  $\lambda_n$ ).

Складові показника (3.29)  $Ex_{M_n}(T)$  залежать від ряду техніко-економічних параметрів. Для мети розрахунку приймається, що для кожного пункту складування

$$\begin{aligned} \bar{c}_i &= a + b_i; \quad i = 0, \bar{M} \\ \bar{c}_D &= \bar{c}_0 \end{aligned}, \quad (3.32)$$

де  $a$  і  $b$  - постійні коефіцієнти, що залежать від розміщення конкретного пункту складування;

$a$  - постійні витрати на утримання пункту складування аварійного запасу;

$b$  - вартість складування одиниці запасу з врахуванням амортизаційних відрахувань.

Умова (3.32) припускає прямопропорційну залежність між питомими витратами на складування  $\bar{c}_i$ , і об'ємом запасу  $i$ , плюс додаткові витрати  $a$ , що не залежать від об'єму складування.

Для оцінки параметра  $C_{i,j}(j \neq D)$  варто підсумувати транспортні витрати на доставку запасу, розміром  $(i-j)$ , а також збитки від простою газопроводу за час доставки.

При  $j = D$  необхідно окремо враховувати витрати, пов'язані з доставкою запасів розміром  $i$  з пункту складування і запасів розміром

$$\begin{aligned} X_i &= \sum_{j=1}^{\infty} jP(i+j) = \frac{(2+qi)P^i}{q(1+q)}; \quad i = 0, \bar{M}, \\ X_D &= X_0 \end{aligned} \quad (3.33)$$

які поставляються із сусідніх пунктів складування або резервного (аварійного) джерела.

Отже,

$$\begin{aligned} c_{i,j} &= Ex_{TP}(i-j) + y\tau_{TP}(i-j); \quad j \neq D; \quad i = 0, \bar{M} \\ c_{i,D} &= Ex_{TP}(i) + Ex_{TP}^{(D)}(x_i) + y_{\max}[\tau_{TP}(i); \tau_{TP}^{(D)}(x_i)] + \Delta \bar{E}x \cdot x_i; \\ c_D &= Ex_{TP}^{(D)}(x_D) + y\tau_{TP}^{(D)}(x_D) + \Delta \bar{E}x \cdot x_D \end{aligned} \quad (3.34)$$

де  $Ex_{TP}(i)$  і  $\tau_{TP}(i)$  - відповідно витрати засобів і тягача на доставку запасу, розміром  $i$ , а верхній індекс  $(D)$  вказує на доставку з резервного джерела;  $\Delta Ex$  - додаткові питомі витрати на придбання одиниці запасу з резервного джерела.

Резервним джерелом можуть бути сусідні пункти складування або зовнішніх постачальників. Оскільки функціонування системи запасів в умовах дефіциту не розглядається в даному дослідженні, доцільно прийняти значення  $Ex_{TP}^{(0)}(i), \tau_{TP}^{(0)}(i)$  і  $\Delta Ex$  рівними деяким невеличким значенням. В цьому випадку вираз (3.34) може бути песимістичною оцінкою, що дає гарантований результат.

Таким чином, в умовах зроблених допусків і припущень, задача оптимізації системи територіально розосереджених пунктів складування запасів, має вид:

$$\begin{cases} Ex^*(T) = \min_N \min_{\lambda_n} \min_{M_n} \sum_{n=1}^N Ex_{M_n}(T); \\ \bar{P}_D(T) \geq \alpha; \\ M_n > 0; \quad \lambda_n > 0; \\ \sum_{n=1}^N \lambda_n = \lambda; \\ \sum_{n=1}^N M_n = M_\Sigma \end{cases} \quad (3.35)$$

У постановці (3.35) імовірність обмеження на загальний об'єм запасів. Якщо задача (3.35) не має рішення, має сенс сформулювати множину компромісних Парето-оптимальних рішень. Остаточне рішення вибирається з множини компромісних з врахуванням додаткових міркувань.

У даному конкретному випадку, найменше значення показника  $Ex(T)$  досягається в точці А (рис 3.3), проте для цієї точки значення показника  $\bar{P}_D(T)$  далеко від максимуму. При найбільшому значенні показника  $\bar{P}_D(T)$ , що

характеризується точкою В, далеко від мінімуму значення показника  $Ex(T)$ . Очевидно, що розв'язок необхідно шукати на кривій АВ, що визначає для

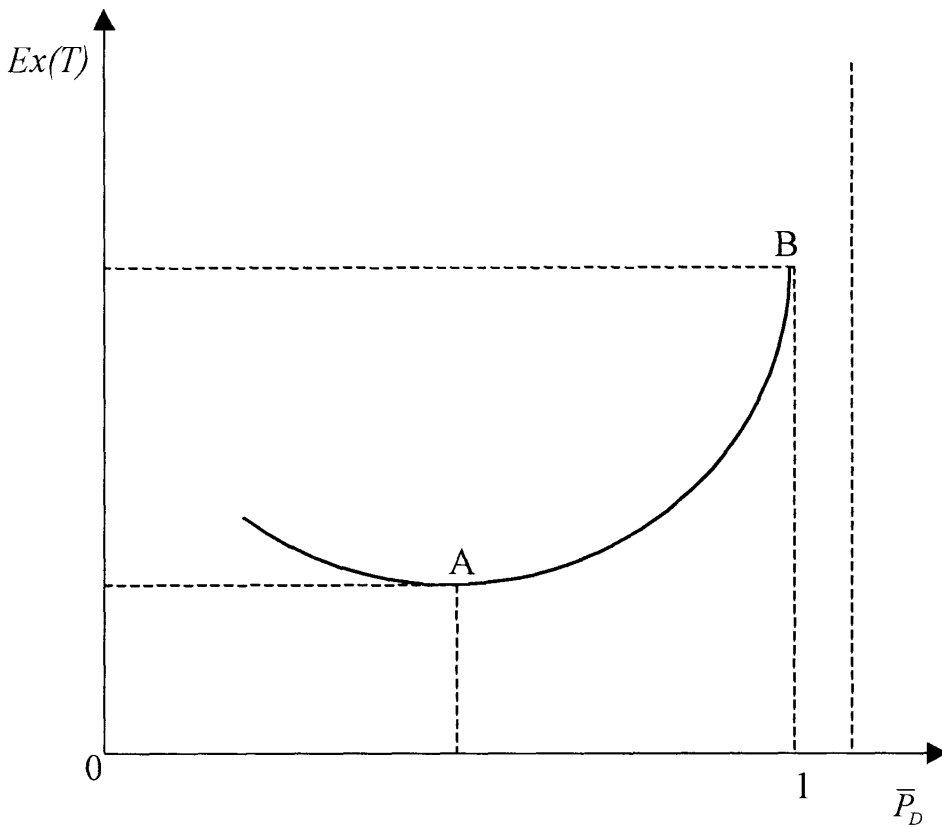


Рис. 3.3 Парето-оптимальний принцип вибору рішень.

аналізованого випадку область Парето, яка характеризується тим, що будь-яке приналежне їй рішення не можна поліпшити одночасно по обох показниках.

Побудова множини парето-оптимальних рішень здійснюється методом граничної оптимізації. Для цього з двох показників ефективності вибирається один, наприклад  $Ex(T)$ , а інший ( $\bar{P}_D(T)$ ) виступає в ролі обмеження з порогом  $k \Delta\alpha$ . У результаті одержують для кожного  $k = 0, 1, 2, \dots$  задачу граничної оптимізації :

$$\begin{aligned} Ex(T) &\rightarrow \min; \\ \bar{P}_D(T) &\geq \alpha + k\Delta\alpha; \end{aligned} \quad (3.36)$$

рішення якої належить області Парето. Обираючи різноманітні значення  $k$  і  $\alpha$ , визначається вся область Парето.

### 3.3 Окремі задачі удосконалення системи забезпечення аварійним запасом лінійної частини магістрального газопроводу

Відповідно до поставлених задач забезпечення запасами лінійної частини газотранспортних систем необхідно вирішити задачу врахування нерівномірності зміни багатьох показників по довжині досліджуваної ділянки газопроводу. До таких показників відносяться:

- інтенсивність потоку відмов  $\bar{\lambda}$  ( $\bar{\lambda}_1, \bar{\lambda}_2, \dots$  по інтервалам однорідності);
- питомий збиток від простою газопроводу  $Y$  ( $Y_1, Y_2, \dots$  по інтервалах однорідності);
- питома вартість доставки аварійного запасу до місця проведення аварійно-відбудовних робіт  $S_a$  ( $S_{a1}, S_{a2}; \dots$  по інтервалах однорідності);
- коефіцієнт розвиненості доріг  $k_d$  ( $k_{d1}, k_{d2}, \dots$  по інтервалах однорідності).

Реалізація даної задачі передбачає виділення ділянок із рівномірним розподілом перерахованих показників для врахування їх диференційного впливу на значення функціоналу (3.28) (рис. 3.4). Оскільки межі зміни показників не збігаються одна з одною, необхідна розбивка досліджуваної

ділянки на елементарні ділянки  $X_1, X_2, \dots$ . Врахування нерівномірності розподілу показників здійснюється обчисленням на ПЕОМ у рамках програмного комплексу і не створює додаткових труднощів при дослідженнях, дозволяючи, у той же час, враховувати більшість особливостей конкретної газотранспортної системи.

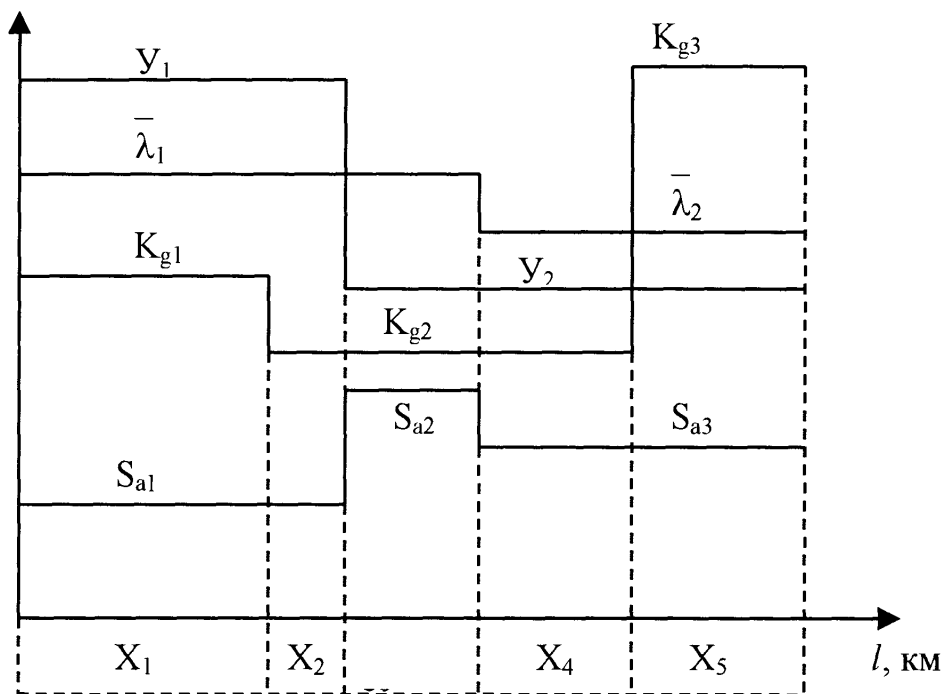


Рисунок 3.4 – Виділення ділянок з постійними значеннями нерівномірно розподілених показників по довжині газопроводу.

- $\lambda$  - інтенсивність потоків відмов;
- $Y$  - питома збитки від простою газопроводу;
- $S_a$  - питома вартість доставки аварійного запасу до місця проведення аварійно-відновних робіт;
- $K_g$  - коефіцієнт розвинутості шляхів.

У розроблених математичних моделях, об'єднаних у функціоналі (3.28), потрібна формалізація транспортних витрат засобів і часу, що визначаються кількістю труб і матеріалів, які доставляються до місця проведення аварійно-

відбудовних робіт, типом і кількістю транспортних засобів і є функцією плеча перевезення (координати). При цьому необхідно враховувати складну структуру дорожньої мережі.

Оскільки дані розрахунки використовуються на стадії планування схеми розміщення пунктів складування аварійного запасу труб ЛЧ МГ, відстань транспортування  $d_{TP}$  визначається, як середнє очікуване значення з врахуванням нерівномірності розподілу показників надійності по довжині газопроводу (імовірність виїзду на ділянку з підвищеною аварійністю більше, ніж на ділянку зі зниженою):

$$d_{TP} = \frac{1}{\lambda(l_1, l_2)} \int_{l_1}^{l_2} \sqrt{(x - x_n)^2 + y_n^2} \bar{\lambda}(x) dx, \quad (3.37)$$

де  $l_1, l_2$  - ліва і права межа ділянки обслуговування, закріпленого за  $i$ -тим пунктом складування аварійного запасу;

$x_n, y_n$  - координати пункту складування;  $x$  - координата місця проведення аварійних робіт.

Середнє значення плеча перевезення визначається виходячи з аналогічних показників на елементарних ділянках (рис.3.5):

$$d_{cp} = \frac{d_{cp1} \lambda_1 x_1 + d_{cp2} \lambda_2 x_2 + d_{cp3} \lambda_3 x_3}{\lambda_0}.$$

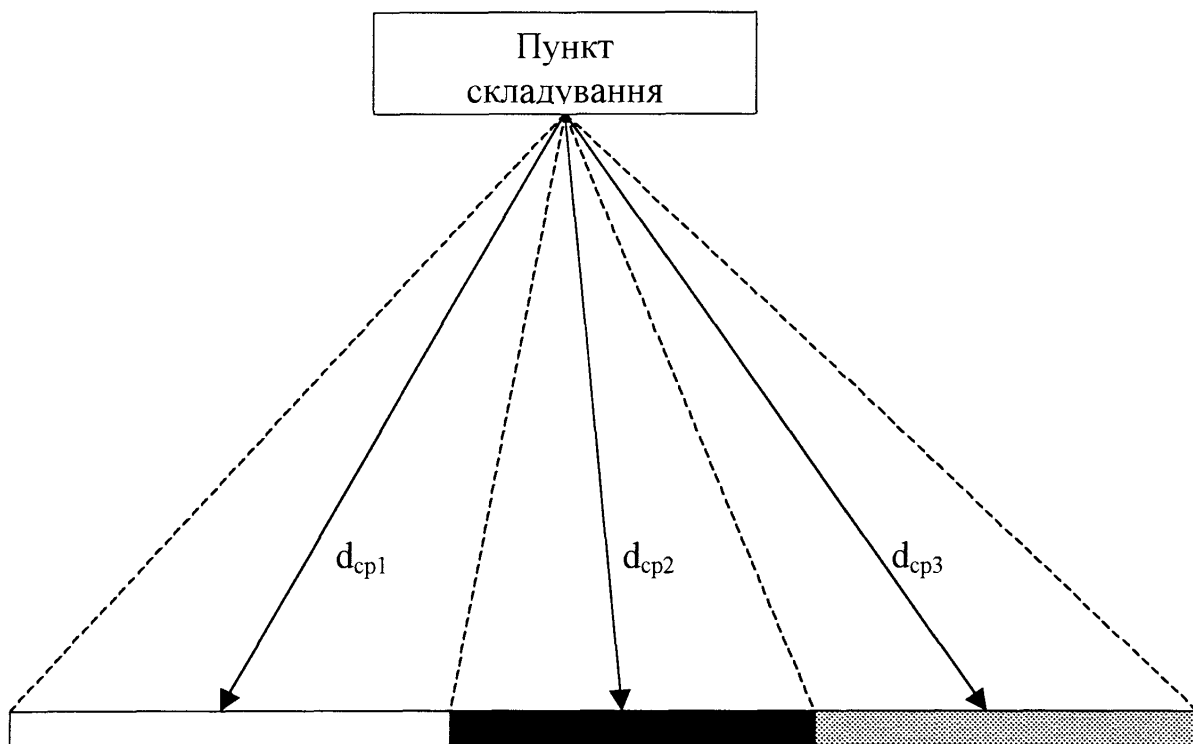
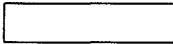




Рисунок 3.5- Визначення середнього значення плеча перевезення аварійного запасу:

ділянка з підвищеною аварійністю	
ділянка із середньою аварійністю	
ділянка з малою аварійністю	

Час, необхідний для транспортування аварійного запасу до місця проведення аварійно-відбудовних робіт визначається як:



$$\tau_{cp} = \frac{d_{cp} \cdot k_g}{v},$$

де  $v$  - швидкість доставки аварійного запасу, що залежить від виду транспорту;

$k_g$  - коефіцієнт розвиненості доріг по інтервалах однорідності на аналізованій ділянці газопроводу.

В однопіткових системах при прогнозуванні аварійності на лінійній частині підлягають оцінці інтенсивність відмов і імовірність розміру руйнування  $P_k(k)$ ,  $k = 1, 2, \dots$

Основним допущенням є: допущення про рівноімовірнісні відмови по довжині газопроводу, тобто  $\lambda$  не є функцією координати  $x$ .

отже,  $\lambda = \lambda_1$ , де  $\lambda$  - const; припущення про незалежність розміру руйнування від координати.

Якщо розглядаються декілька незалежних по змісту відказів одиночних ділянок ( $\beta$  - індекс ділянки:  $\beta = \overline{1, B}$ ) (рис. 3.6) із своїми індивідуальними характеристиками  $\lambda_\beta$  і  $P_\beta(k)$ , то інтегральні характеристики визначаються в такий спосіб:

$$\begin{aligned} \lambda &= \sum_{\beta=1}^B \lambda_\beta; \\ P(k) &= \sum_{\beta=1}^B \frac{\lambda_\beta}{\lambda} P_\beta(k) = \sum_{\beta=1}^B \frac{\lambda_\beta P_\beta(k)}{\sum_{\beta=1}^B \lambda_\beta}, \end{aligned} \quad (3.40)$$

де  $P(k)$  - імовірність руйнування  $k$  умовних елементів заміни.

Обидві характеристики  $\lambda_{\beta}$  і  $P_{\beta}(k)$  для кожної однопіткової ділянки оцінюються на основі ретроспективних даних про аварії і руйнування.

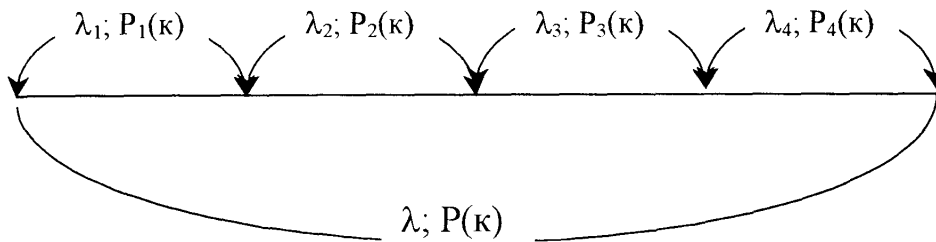


Рисунок 3.6 - Декілька незалежних по відмовах ділянок газопроводу.

У багатониткових газотранспортних системах, а саме такими є переважне число магістральних газопроводів, як свідчить практика їхньої експлуатації, виникають, хоча і значно рідше, залежні відмови (аварії), коли руйнується одночасно декілька рівнобіжних ниток через розірвання однієї з них.

У даній ситуації для цілей розрахунку необхідно вводити в розгляд додаткові характеристики аварійності (безвідмовності), які б відбивали особливості руйнування. У найпростішому випадку, коли всі нитки газопроводу ідентичні і працюють у єдиному гідравлічному режимі, вичерпною характеристикою безвідмовності може служити інтенсивність

відмов числа ниток  $\lambda(\gamma)$ , де  $\gamma = 1, \overline{ГП}$  - число ниток, що одночасно зруйнувалися, із наявних в ГП (рис. 3.7).

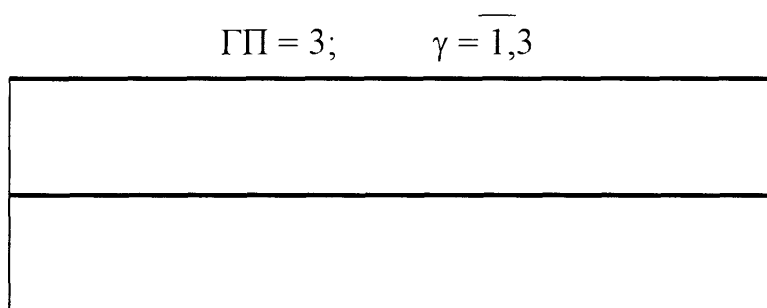


Рисунок 3.7 - Триниткова ділянка магістрального газопроводу, що працює в єдиному гідравлічному режимі.

У випадку, зображеному на рис. 3.7, необхідно ввести в розгляд три характеристики безвідмовності  $\lambda(1)$ ,  $\lambda(2)$  і  $\lambda(3)$ . Відповідно, загальна аварійність на ділянці газопроводу визначається як

$$\lambda = \lambda(1) + \lambda(2) + \lambda(3)$$

або в загальному виді:

$$\lambda = \sum_{\gamma=1}^{\overline{ГП}} \lambda(\gamma) \quad (3.41)$$

Імовірність руйнування  $\gamma$  ниток оцінюється відповідно:

$$\rho(\gamma) = \frac{\lambda(\gamma)}{\lambda} = \frac{\lambda(\gamma)}{\sum_{\gamma=1}^{\Gamma\Pi} \lambda(\gamma)} \quad (3.42)$$

В рамках гіпотези про незалежність розміру руйнування від причини для імовірності величини руйнування  $P_0(k)$  маємо такий вираз:

$$P_0(k) = \sum_{\gamma=1}^{\Gamma\Pi} \rho(\gamma) P^{(\gamma)}(k), \quad (3.43)$$

де  $P^{(\gamma)}(k)$  -  $\gamma$  - кратна верстка імовірності величини руйнування,  $\gamma = 1, 2, \dots, \Gamma$ .

$$\begin{aligned} P^{(1)}(k) &= P(k); \\ P^{(2)}(k) &= \sum_{u=1}^k P(u)P(k-u) = \sum_{u=1}^k P^{(1)}(u)P(k-u); \\ P^{(3)}(k) &= \sum_{u=1}^k P^{(2)}(u)P(k-u); \\ &\dots\dots\dots \\ P^{(\gamma)}(k) &= \sum_{u=1}^k P^{(\gamma-1)}(u)P(k-u). \end{aligned} \quad (3.44)$$

Таким чином, необхідну для розрахунків інформацію можна одержати на основі трьох характеристик:  $\lambda$ ,  $\rho(\gamma)$ ,  $P_0(k)$ . Їх оцінка здійснюється за приведеними формулами (3.41)-(3.44), для чого варто попередньо оцінити  $\lambda(\gamma)$  і  $P(k)$ . Для газопроводів, що мають однаковий діаметр, товщину стінки труб, і які працюють у єдиному гідравлічному режимі (або, принаймні, при близьких рівнях тиску), значення  $P(k)$  можна вважати також однаковими. Тому

розрахунок характеристик таких багатониткових систем порівняно простий і здійснюється за формулами, поданими вище.

Якщо газопроводи різняться за перерахованими ознаками або є підстава думати, що вони мають свої індивідуальні значення  $P(k)$ , то розрахунок характеристик аварійності ускладнюється і полягає в тому. Газопроводи однакового діаметра, товщини стінки труби і рівня тиску об'єднуються в групу і її характеристики розраховуються за формулами (3.41)...(3.44). Далі, групи газопроводів з однаковими характеристиками об'єднуються і ці укрупнені групи знову розраховуються за тими ж залежностями. Необхідно тільки враховувати, що для кожної групи буде своє значення  $P(k)$  і, тому, формули (3.41)...(3.44) варто коректувати, розглядаючи  $\gamma$  в якості позначення однієї з можливих комбінацій відмов у різних групах, а  $P^{(\gamma)}(k)$  - імовірність розміру руйнування при даній комбінації. Газопроводи з різними характеристиками труби розраховуються окремо, тому що для їх відновлення використовуються елементи заміни різної номенклатури.

Таким чином, прокладка газопроводів в одному технологічному коридорі або спорудження багатониткових систем обумовлює імовірність виникнення залежних відмов на рівнобіжних нитках, а це, у свою чергу, призводить до підвищення значень показників аварійності щодо значень відповідних характеристик однопіткових систем. Викладене вище дає можливість оцінювати дані характеристики  $\lambda$  і  $P(k)$  для багатониткових систем з врахуванням даного явища.

#### РОЗДІЛ 4. РЕАЛІЗАЦІЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМИ СКЛАДУВАННЯ ЗАПАСІВ ДЛЯ АВАРІЙНОГО РЕМОНТУ ЛІНІЙНОЇ ЧАСТИНИ МАГІСТРАЛЬНИХ ГАЗОПРОВІДІВ У ВИДІ ПАКЕТУ ПРИКЛАДНИХ ПРОГРАМ ДЛЯ ПЕРСОНАЛЬНОЇ ЕОМ

Для практичної реалізації прикладних задач, сформованих і реалізованих на основі розробленої математичної моделі функціонування системи зберігання аварійного запасу труб для ремонту лінійної частини газопроводів, необхідно створити відповідні алгоритми та програмне забезпечення.

В зв'язку з специфікою та особливостями магістрального газопроводу, як транспортного підприємства, до пакету прикладних програм ставляться особливі вимоги. В першу чергу слід відзначити необхідність врахування поповнення та витрати труб аварійного запасу у відповідності до номенклатурних термінів та обсягів поставок, узгоджених з постачальником. Крім того, необхідний аналіз потоку вимог на запасні елементи та рішення про перерозподіл запасу між пунктами складування, які повинні прийматися оперативно. Вказані вимоги можуть бути повністю задоволені тільки в випадку реалізації задач функціонування системи зберігання аварійного запасу труб на ЕОМ.

Створення програмного комплексу для реалізації задачі функціонування системи зберігання аварійного запасу труб є невід'ємною складовою частиною загального рішення проблеми, як єдиного комплексу.

#### 4.1 Вимоги до програмного комплексу

Практика експлуатації магістральних газопроводів показує такі особливості функціонування системи складування і поповнення запасів для ремонту ЛЧ МГ:

- велика протяжність, розгалуженість і складність лінійної частини магістрального газопроводу;
- випадковий характер процесу виникнення потреби в ремонті;
- різке збільшення матеріальних витрат при збільшенні часу ремонтних робіт.

Успішне функціонування ЛЧ МГ можливо лише при виконанні таких вимог:

- поповнення запасів необхідно здійснювати за графіком, заздалегідь узгодженим з постачальником по термінам і об'ємам поставок, із можливим перерозподілом поточного запасу між пунктами його складування. Планування потребує систематизації ведення обліку і комплексного підходу при аналізі інформації за багатьма характеристиками;

- необхідний імовірнісний аналіз потоку вимог на запасні елементи для ухвалення рішення по витраті запасів на множині локальних пунктів складування при поточному рівні запасів на кожному з них;

- рішення по перерозподілу поточного запасу між пунктами складування повинні прийматися максимально оперативно;

Перераховані вимоги надзвичайно складно задовольнити, спираючись лише на можливості людського інтелекту.

Тільки одна з задач - ведення обліку за багатьма характеристиками - у даний час створює необхідність в експлуатаційних службах виробничих об'єднань по транспорту газу в кропіткій і нудній роботі з ведення

окремих і зведених таблиць врахування аварійного запасу труб і матеріалів, які малоефективні при оперативній роботі.

В той же час рівень розвитку сучасних технологій дає нам засіб для рішення поставлених задач - персональну електронно-обчислювальну машину (ПЕОМ). Використання ПЕОМ у виробничих об'єднаннях по транспорту газу дозволяє скористатися її незамінними якостями:

- спроможністю приймати, зберігати й опрацьовувати великі об'єми параметричних даних (характеристик розміщення пунктів складування аварійного запасу, ієрархії і розподілу матеріальних ресурсів, технології, стратегії, організації і керування виробничим процесом, імовірнісних характеристик) складної структури;

- спроможністю виконувати складні математичні задачі імовірнісного аналізу швидко і точно;

- можливістю зручного представлення результатів аналізу потоку заявок на аварійний запас у табличному або графічному виді.

Крім того, сучасний персональний комп'ютер компактний і достатньо простий в використанні навіть для недосвідченої в програмуванні людини, а процес комп'ютеризації галузі розвивається достатньо інтенсивно і виробничі об'єднання по транспорту газу мають у своєму розпорядженні спеціалістів достатньої кваліфікації для роботи з пакетами прикладних програм.

Все вище викладене переконливо доказує необхідність створення пакета прикладних програм, що реалізують задачу функціонування системи складування аварійних запасів лінійної частини магістрального газопроводу, на основі математичного моделювання, викладеного в розділі 3 даної роботи.



При розробці даного пакета прикладних програм використовувалася мова програмування "Сі" для персональних ЕОМ типу ІВМ РС, що найбільш поширені у газотранспортних підприємствах ДК "Укртрансгаз".

Поширення пакета прикладних програм у виробничих об'єднаннях не має особливих складностей. Для цього необхідно:

- наявність персональної ЕОМ типу ІВМ РС або сумісної з ним;
- наявність зовнішніх магнітних носіїв інформації ємністю від 360 кілобайт і більше;
- спеціаліст, що володіє кваліфікацією оператора персональної ЕОМ.

Можливо швидке навчання спеціалістів керівного й інженерно-технічного складу галузі роботі з пакетом прикладних програм (1-2 місяця).

Створення програмного комплексу, що забезпечує керування аварійним запасом для ЛЧ МГ, є складовою частиною на шляху створення системи керування підприємства по транспорті газу, тому вона розроблена з урахуванням зв'язків і обмежень, що забезпечують її взаємодію з керуючими, функціональними й обслуговуючими підсистемами.

Своєчасну і чітку реалізацію функцій керування системи забезпечення аварійним запасом ЛЧ МГ можна здійснювати впровадженням економіко-математичних методів і сучасної обчислювальної техніки в практичну діяльність органів виробничого об'єднання, що вирішують усі питання по забезпеченню лінійної частини аварійним запасом.

Визначення потреби в матеріально-технічних ресурсах, розподіл виділених лімітів, оперативний перерозподіл внутрішніх ресурсів, що надійшли, і раціональне використання, оперативне планування перевезень, контроль, врахування і звітність по переміщенню матеріально-

технічних ресурсів - ці задачі, що реалізуються в рамках системи, вирішуються з застосуванням програмного комплексу.

Багато задач матеріально-технічного забезпечення вирішуються, як правило, для групи постачальників і споживачів, число яких, як і кількість найменувань запасу (включаючи як укрупнені найменування, так і окремі типи, сорти і розміри) може досягати декількох десятків. Крім того, наявність різних умов надходження і споживання запасу ускладнює задачі, робить їх різноманітними. При пошуку кожного з рішень потрібно використання великої кількості вихідних даних, у результаті чого трудомісткість розрахункових операцій виявляється досить значною. Єдиний засіб, що дозволяє забезпечити ефективне функціонування процесів планування і керування системи забезпечення аварійними запасами для ЛЧ МГ - сучасні математичні методи й обчислювальна техніка.

Поряд із задачами планування і керування, що в основному є оптимізаційними і потребують спеціальних алгоритмів і методів розрахунку, є значне число задач розрахункового характеру, наприклад задачі обліку і звітності. Тому обчислювальна техніка повинна застосовуватися і для механізації обчислювальних процесів таких задач системи забезпечення аварійними запасами, як ведення врахування і звітності по прямованню матеріально-технічних ресурсів; упорядкування підготовчих матеріалів для аналізу господарських процесів (таблиць, зведень та ін.); підготування зведених специфікацій; розрахунки необхідних показників та ін.

Характерно, що тут механізується монотонна і нерідко виснажлива праця, ліквідується дублювання при зборі і опрацюванні вихідних даних по обліку і звітності.

Різноманітні напрямки застосування математичних методів і обчислювальної техніки не варто розглядати, як самостійні процеси. Вони тісно переплітаються і знаходяться у взаємозв'язку. Так, якщо для розв'язку оптимізаційних задач планування і керування потрібні облікові показники, різноманітні коефіцієнти, що входять до складу нормативної бази системи, то результати розв'язку задач і їхньої наступної реалізації лягають в основу обліку, звітності і формування нормативно-довідкової інформації. Використання економіко-математичних методів і сучасного обчислювальної техніки в системі забезпечення аварійними запасами для ЛЧ НГ потребує послідовного виконання ряду стадій: розробки математичних моделей; підготування відповідних алгоритмів і обчислювальних схем; програмування для ПЕОМ; формування необхідної інформації і вихідних даних, що потрібні для відповідних розрахунків; проведення обчислень на ПЕОМ; аналізу отриманих результатів і їхнє використання в практичній діяльності. Ці роботи повинні проводитися з врахуванням визначених вимог, що відповідають кожній стадії робіт.

Математичне забезпечення програмного комплексу являє собою сукупність алгоритмів і програм, описів і інструкцій, призначених для ефективної організації обчислювального процесу і рішення задач планування, врахування і керування. Зазначені функції реалізуються при використанні операційної системи ЕОМ і спеціального математичного забезпечення, що складається із сукупності програм для розв'язку задач планування, керування, обліку і звітності системи забезпечення аварійним запасом ЛЧ МГ. До складу спеціального математичного забезпечення програмного комплексу включені алгоритми і програми перспективного планування потреби в запасах; поточного планування; оперативного керування процесом розподілу аварійного запасу по підрозділах виробничого об'єднання; розташування пунктів складування

аварійного запасу по трасі газопроводу і закріплення за ними ділянок обслуговування; опрацювання первинної інформації про переміщення МТР; врахування матеріальних, трудових і фінансових витрат ; аналізу процесу забезпечення аварійним запасом підрозділі ВО; формування звітності по пунктах складування аварійного запасу, підрозділам і виробничому об'єднанню в цілому.

Ефективне функціонування всіх частин програмного комплексу реалізуючої задачі працездатності системи забезпечення аварійним запасом ЛЧ МГ можливо тільки в тому випадку, якщо всі ці частини одержують вичерпну інформацію, необхідну для виконання конкретних управлінських функцій. Цій меті служить інформаційне забезпечення, що повинне здійснювати збір, зберігання і видачу необхідної інформації.

Інформаційне забезпечення даного програмного комплексу можна уявити як сукупність системи класифікації і кодування інформації, мов запису даних, системи показників, масивів інформації. Частини інформаційного забезпечення зазначеної системи утворюються і функціонують не тільки по визначених правилах і закономірностям, властивим кожній із них, але й у визначених взаємозв'язках між собою, а так само з іншими частинами і з зовнішнім середовищем. При побудові системи інформаційного забезпечення програмного комплексу по забезпеченню аварійним запасом ЛЧ МГ застосовані такі організаційні і методичні принципи, що дозволяють досягти необхідної ефективності системи:

- методична єдність і системний підхід при створенні інформаційного забезпечення програмного комплексу; система інформації, моделі керування і самої системи керування аварійним запасом складають єдине ціле, тому кожна з цих частин розроблена з врахуванням взаємозв'язків, що існують між ними;

- інформаційна сумісність елементів і частин інформаційного забезпечення; кожна з задач ґрунтується на визначеному наборі інформаційних сукупностей, які, у свою чергу, взаємозалежні між собою з єдиною системою форм обміну, класифікаторів, кодів, шифрів, що дозволяє забезпечувати високу ефективність використання інформації;

- типізація і блочність структури інформаційного забезпечення й уніфікації форм обміну інформацією;

- спадкоємність інформаційної системи програмного комплексу, врахування умов роботи виробничого об'єднання по транспорту газу при розробці інформаційного забезпечення;

- врахування вимог машинного опрацювання шляхом уніфікації методів введення інформації, забезпечення достовірності переданої інформації;

- інтеграція обробки інформації, однократність введення інформації при багатократному її використанні.

Технічне забезпечення програмного комплексу системи забезпечення аварійним запасом ЛЧ МГ призначено для автоматизації збору, передачі і опрацювання інформації у всіх підрозділах виробничого об'єднання і являє собою комплекс технічних засобів і певним чином сформульовані засоби організації їхньої взаємодії між собою та іншими частинами системи в процесі його функціонування.

Для газотранспортних підприємств ДК “Укртрансгаз” пропонується така схема технологічного процесу опрацювання даних у пакеті прикладних програм, що реалізує задачі функціонування системи забезпечення запасом для аварійного ремонту лінійної частини магістрального газопроводу (рис. 4.1).

Збір інформації може бути здійснений за допомогою телефонного зв'язку з лінійними управліннями з наступним введенням у пам'ять

персональної ЕОМ оператором або в перспективі модемним зв'язком типу "персональна ЕОМ лінійного управління -> персональна ЕОМ виробничого об'єднання" (модемний зв'язок використовує звичайні телефонні лінії).

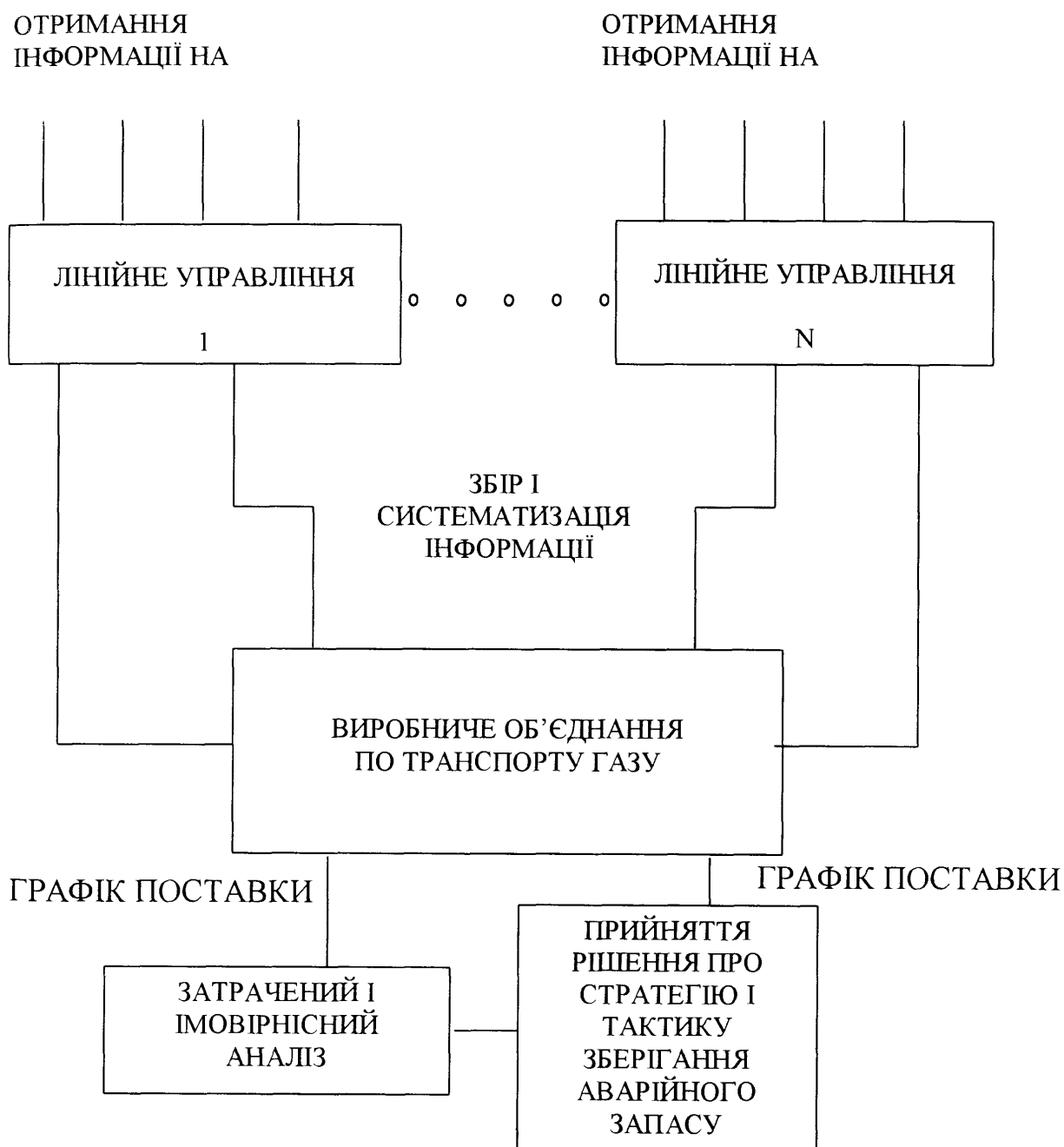


Рисунок 4.1 - Схема технологічного процесу обробки даних

Робота пакета прикладних програм починається безпосередньо після запровадження інформації на рівні виробничого об'єднання. Тут здійснюються:

- систематизація зібраної інформації про стан системи забезпечення аварійним запасом ЛЧ МГ усього виробничого об'єднання ;
- зручне і наочне уявлення систематизованих даних;
- розрахунок витратного і імовірнісного функціоналів у рамках описаної вище математичної моделі функціонування системи складування;
- наочний (табличний і графічний) вивід результатів розрахунку;
- аналіз матеріальних витрат і можливості бездефіцитної роботи для розрахованих варіантів;
- вибір найкращого варіанта, виходячи з компромісу між витратами і можливістю бездефіцитної роботи;
- прийняття рішення про стратегію і тактику складування запасних елементів для аварійного ремонту;
- розробка графіка постачань запасних елементів для аварійного ремонту по виробничому об'єднанню на основі прийнятого рішення про стратегію і тактика складування.

Передача інформації про прийняті рішення на рівень лінійних управлінь може здійснюватися також за допомогою телефонного зв'язку або в перспективі модемним зв'язком типу "персональна ЕОМ виробничого об'єднання  $\Rightarrow$  персональна ЕОМ лінійного управління".

#### 4.2 Схе́ма програмного комплексу, що реалізує задачі функціонування системи забезпечення аварійним запасом для лінійної частини магістральних газопроводів

При розробці програмного комплексу були враховані такі особливості даної роботи:

- з одного боку, надзвичайно важлива сама по собі задача врахування і контролю матеріально-технічних ресурсів ЛЧ МГ;
- з іншого боку, задача прийняття рішення про стратегію і тактику складування запасів для аварійного ремонту є визначальною в даній роботі.

При математичному моделюванні обидві задачі взаємозалежні:

- зміни в параметрах функціонування системи негайно викликають необхідність прийняти рішення про зміну режиму функціонування системи складування аварійних запасів ЛЧ МГ;
- зміна режиму функціонування системи складування призводить до зміни параметрів системи.

Тому комплекс програм, що реалізує задачу функціонування, повинен однаково добре виконувати обидві основні задачі. Щоб виконати цю вимогу, комплекс програм був побудований за принципом багатозадачності. Кожну окрему задачу виконує відповідна програма, по закінченні роботи отримані результати залишаються доступні іншим програмам комплексу.

Весь комплекс являє собою замкнутий цикл роботи окремих програм. Завершення роботи програмного комплексу відбувається в тому випадку, коли рішення про стратегію і тактику функціонування системи складування аварійних запасів ЛЧ МГ вибрано і задовольняє умовам компромісу між матеріальними витратами, необхідними при проходженні





Дана схема програмного комплексу дозволяє:

- зручно, наочно й оперативно вводити і регулярно оновлювати інформацію про параметри і режим функціонування системи складування аварійних запасів лінійної частини магістрального газопроводу;

- виводити в табличному виді на екран дисплея або на друкувальний пристрій інформацію про параметри і режим функціонування системи складування аварійних запасів ЛЧ МГ;

- швидко і при необхідності багаторазово з різноманітними варіантами вихідних даних провести розрахунок витратного і імовірнісних функціоналів;

- виводити в табличному виді на екран дисплея ЕОМ або на друкувальний пристрій результати розрахунку витратного і імовірнісних функціоналів;

Для обраних варіантів вихідних даних:

- будувати за результатами розрахунків на екрані дисплея ЕОМ і виводити на друкувальний пристрій такі сімейства графіків:

- а) залежності витрат від середньої кількості одиниць складування на пунктах складування при зміні періоду поповнення запасу;

- б) залежності витрат від періоду поповнення запасу складування при зміні середньої кількості одиниць на пунктах складування;

- в) залежності можливості бездефіцитної роботи системи складування аварійних запасів від кількості пунктів складування при зміні періоду поповнення запасу;

- г) залежності можливості бездефіцитної роботи системи складування аварійних запасів від періоду поповнення запасів при зміні кількості пунктів складування;

- будувати за результатами розрахунків на екрані дисплея ЕОМ і виводити на друкувальний пристрій графічну діаграму залежності матеріальних витрат на функціонування системи складування аварійних запасів ЛЧ МГ від можливості її бездефіцитної роботи для обраних варіантів стратегії і тактики;

- на основі перегляду таблиць результатів розрахунку затратного і імовірнісного функціоналів з врахуванням перерахованих вище графічних залежностей оперативно приймати рішення про стратегію і тактику функціонування системи складування аварійних запасів лінійної частини магістрального газопроводу.

Багатоетапність програмного комплексу, який реалізує задачу функціонування системи складування аварійних запасів ЛЧ МГ, потребує вибору форми спілкування людини з ЕОМ, найбільш оперативної і наочної. З цією метою програмний комплекс був розроблений у режимі прямого діалогу людини і ЕОМ, тобто на деяку дію людини (наприклад, ввід даних із клавіатури) ЕОМ виконує відповідну роботу (зберігання введеної інформації у файлі на магнітних носіях) і надає людині вибрати такий етап роботи.

Найбільше наочним і оперативним видом прямого діалогу людини й ЕОМ є багатоекранне графічне меню. Схематично роботу програмного комплексу можна описати таким чином (рис. 4.3):

- робота починається з виводу на екран дисплея ЕОМ вікна (виділеного прямокутника), усередині якого надруковані декілька рядків із назвами основних етапів роботи, одна з рядків виділений кольором фону (на початку перша);

- натисканням на клавіатурі ЕОМ клавіш із стрілками нагору або вниз можна змінювати виділений рядок у вікні;

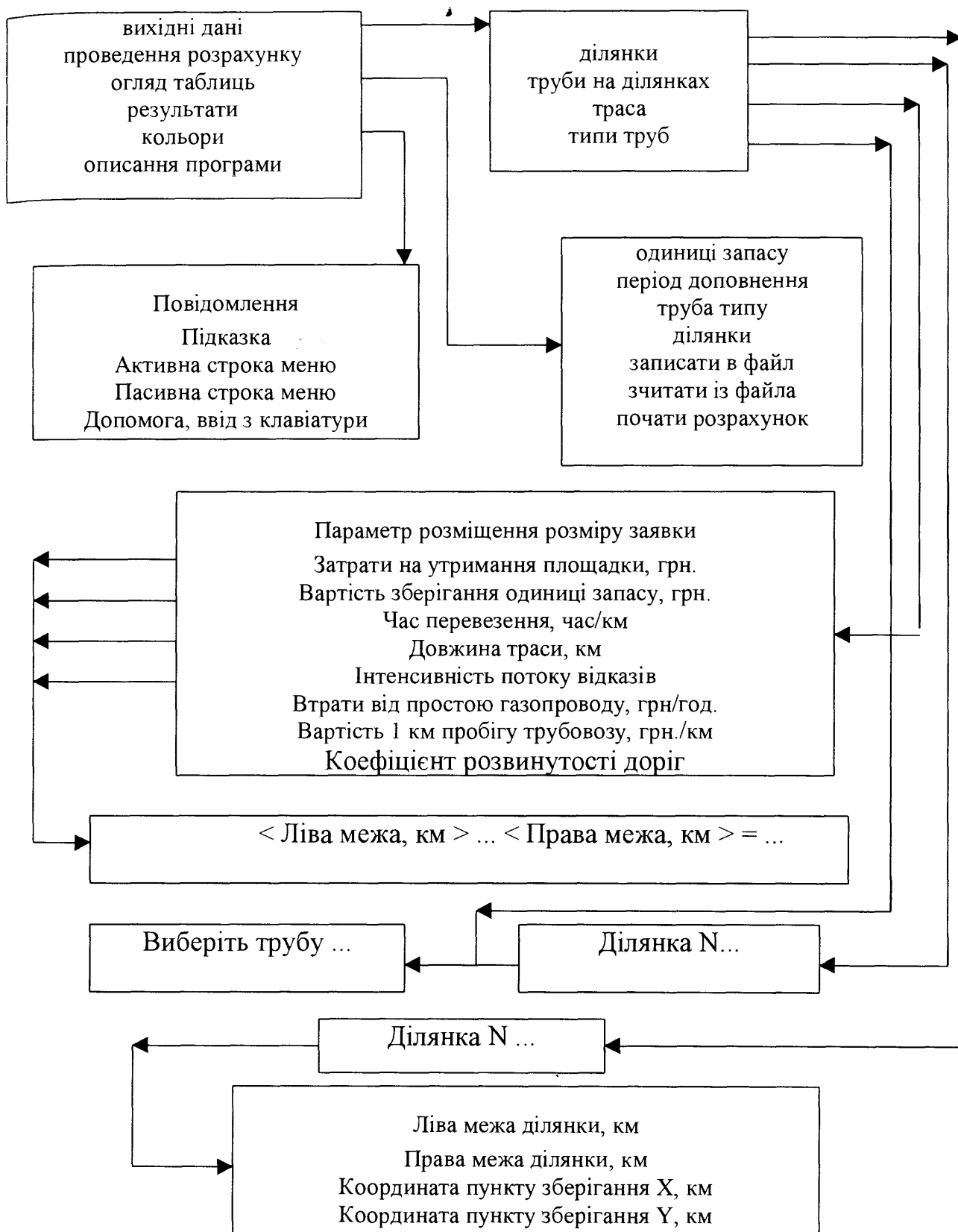


Рисунок 4.3 - Схема багатовікнового графічного меню, зображеного на екрані дисплея ЕОМ під час роботи програмного комплексу.

- натисканням на клавіатурі EOM клавіші "ENTER" або "RETURN" провадиться запуск виконання етапу роботи програмного комплексу з назвою відповідному виділеному рядку у вікні меню;

- етап роботи програмного комплексу може бути простим (наприклад введення одного параметра при вводі вхідних даних) - після завершення виконання такого етапу програмний комплекс повертається в старий стан (до натискання клавіші "ENTER" або "RETURN");

- етап роботи програмного комплексу може бути складним (наприклад повне введення вхідних даних ), тобто складеному із декількох підетапів - після натискання клавіші "ENTER" або "RETURN" висвічується нове вікно (підвікно) із надрукованими рядками назв підетапів роботи;

- схема діалогу в підвікні аналогічна схемі діалогу в основному вікні;

- повернення з підвікна в основне вікно провадиться натисканням на клавіатурі EOM клавіші "ESC";

- вихід із програмного комплексу провадиться натисканням клавіші "ESC" у той час, коли робота пропонується в основному вікні.

Далі подана докладна схема багатоекранного графічного меню і опис кожного етапу роботи програмного комплексу, який реалізує задача функціонування системи складування запасів для аварійного ремонту лінійної частини магістрального газопроводу.

А. Вибір і введення вхідних характеристичних параметрів, що визначають керовані фактори і імовірнісні характеристики функціонування моделі. (Відповідний пункт меню на екрані дисплея EOM називається "Вхідні дані" ).

На цьому етапі провадиться збір інформації з конкретної лінійної частини магістрального газопроводу:

- розміщення ділянок і закріплення за кожною із ділянок пунктів складування запасних елементів ( "Ділянки" ): вибір конкретної

ділянки ЛЧ МГ ( "Ділянка М<sup>н</sup>" ), розміщення ( "Ліва межа ділянки, км" і "Права межа ділянки, км" ) і закріплення пункту складування ( "Координата пункту складування Х, км" і "Координата пункту складування У, км" );

- визначення типу труб. ( "Типи труб." ), використовуваних на ЛЧ МГ: відповідність номеру типу труби ( "Виберіть трубу" ) її характеристик ( "Діаметр умовний, мм", "Довжина, м", "Тиск умовний, МПа", "Матеріал труби ... Матеріал N " );

- врахування типу труб на ділянках ( "Труби на ділянках" ): вибір конкретної ділянки ЛЧ МГ ( "Ділянка М" ) і відповідного типу труби ( "Виберіть трубу" );

- врахування керованих параметрів і імовірнісних характеристик траси ( "Траса" ):

- "Витрати на утримання площадки, грн."

- "Вартість складування одиниці запасу, грн."

- "Час перевезення, год/км"

- "Довжина траси, км"

- "Збиток від простою газопроводу, грн/год."

( декілька різноманітних значень по довжині траси )

- "Вартість 1 км пробігу грн/км." ( декілька різноманітних значень по довжині траси )

- "Коефіцієнт розвиненості доріг" ( декілька різноманітних значень по довжині траси )

- "Параметр розподілу розміру заявки" ( декілька різноманітних значень по довжині траси )

- "Інтенсивність потоку відмов"  $LAMBDA(p)$  ( декілька різноманітних значень по довжині траси ).

Даний етап роботи програми використовується в якості самостійної програми врахування і систематизації даних про структуру, режими роботи і підрозділи системи складування запасів для аварійного ремонту ЛЧ МГ.

Б. Представлення параметрів лінійної частини магістрального газопроводу у виді таблиць із можливим записом у файл на магнітному накопичувачі на жорсткому умонтованому вінчестері або на гнучкому зовнішньому диску персональної ЕОМ, доступному для перегляду в будь-який момент роботи програми.

Для кожної ділянки ЛЧ МГ створюються таблиці, що складаються з таких колонок:

- номер типу труби;
- діаметр труби, мм;
- довжина труби, м;
- тиск, МПа;
- номер типу матеріалу, із якого виготовлена труба;
- протяжність ділянки, км;
- призначено запасних елементів;
- є в наявності ( м, т, штук );
- сертифікат ( є/немає ).

В. Визначення виду залежності різноманітних характеристик функціонування від введених параметрів структури системи, режиму роботи, підрозділів і імовірнісних характеристик.

На цьому етапі провадиться аналіз введених параметрів і обчислення проміжних характеристик, які використовуються у якості параметрів при розрахунку імовірнісного і витратного функціоналів:

- середні, приведені до одиниці часу, витрати від перебування пункту складування в стані 1 ( $C_1$ );

- середні, приведені до одиниці часу витрати при переході пункту складування зі стану  $i$  у стан  $j$  ( $C_{ij}$ );
- коефіцієнти  $a$  і  $b$  ( $C_i = a + b \cdot i$ );
- додаткові витрати на придбання запасу у резервного джерела.

Крім того, вибираються діапазони зміни кількості одиниць запасу ( меню "Проведення розрахунку" => "Одиниць запасу" ) і періоду поповнення запасів ( "Проведення розрахунку" => "Період поповнення").

Г. Розрахунок імовірнісного і витратного функціоналів відповідно до обраних керованих параметрів і імовірнісних характеристик.

( Відповідний пункт меню - "Проведення розрахунку" => "Почати розрахунок" ).

Д. Аналіз розрахованих варіантів функціонування системи постачання запасними елементами ЛЧ МГ і сортування їх відповідно до прийнятності щодо витрат і можливості бездефіцитної роботи (кожному варіанту поставлений у відповідність свій номер ).

Е. Отримані і пронумеровані варіанти функціонування системи відображаються у виді поточної діаграми щодо рівня витрат і можливості бездефіцитної роботи ЛЧ МГ.

Ж. Вивід результатів розрахунку у виді таблиць із можливим записом у файл на магнітному накопичувачі на жорсткому вмонтованому вінчестері або на гнучкому зовнішньому диску персональної ЕОМ, доступному для перегляду в будь-який момент роботи програми.

На цьому етапі зроблені раніше обчислення оформляються у виді таблиць такого змісту:

- 1) перелік ділянок ЛЧ МГ;
- 2) таблиці, що описують параметри труб на ділянках ЛЧ МГ:
  - діаметр труби, мм;
  - довжина труби, м;



- тиск, МПа;
- номер типу матеріалу, із якого виготовлена труба;

3) таблиці підхожих варіантів функціонування системи постачання запасними елементами ЛЧ МГ:

- номер варіанта;
- одиниць запасу;
- період поповнення, рік;
- витрати, грн.;
- можливість бездефіцитної роботи ЛЧ МГ.

#### 4.3 Дослідження ефективності методів забезпечення аварійним запасом ЛЧ МГ із застосуванням програмного комплексу

Апробація результатів дисертаційного дослідження проводилася на підприємствах ДК "Укртрансгаз" - УМГ "Прикарпаттрансгаз", "Львівтрансгаз", "Черкаситрансгаз". У їх структурі магістральні газопроводи різноманітного діаметра - від 300 до 1400 мм, введені в експлуатацію в різноманітні періоди - із 1957 р. (Дашава - Львів, Ду 300 мм) по 1982 р. (Уренгой – Помари - Ужгород, Ду 1400).

Магістральні газопроводи УМГ "Прикарпаттрансгаз" утворюють складну регіональну транспортну систему, що характеризується проходженням магістральних газопроводів різноманітного діаметра в єдиних технологічних коридорах, наявністю значних міжрегіональних вузлів, великою кількістю відводів.

Структурно в УМГ "Прикарпаттрансгаз", "Львівтрансгаз" і "Черкаситрансгаз" входить 14 лінійно-виробничих управлінь, що обслуговують газопроводи: Союз-УПУ-Прогрес, Ду 1400 мм, що має 3 нитки, загальною протяжністю 1229 км; Новопсков - Тальне Ду 1400 мм

протяжністю 688 км; Братерство Д=1420 мм 192 км; Івацевичі-Долина Д=1220 мм 409 км; Київ-Захід України Д=1020 мм 409 км; Богородчани-Ананіїв- Ізмаїл Д=1020. Різноманітні вік газопроводів, діаметр і режими роботи обумовлюють різноманітну аварійність окремих газопроводів і окремих ділянок. Найбільше аварійними виявилися магістральні газопроводи системи Братерство, побудовані на початку 70-х років, Д 1420 мм. Аналіз ретроспективної інформації з аварійності на цих газопроводах підтверджує припущення про незростання кількості відмов на лінійній частині з часом і випадковий характер виникнення аварій на лінійній частині магістрального газопроводу. Так, 13 липня 1988 р. мало місце дві аварії на магістральних газопроводах системи, Союз-УПУ-Прогрес майже в той самий час на 160 км і 343 км на сусідніх нитках. Вид аварій - розривши з загоранням, причина в обох випадках - корозія. Залежності між цими аваріями не встановлено. Тривалість ремонтних робіт склала 39 годин, втрати газу - 16 млн. куб. м. а потреба в заміні труби склала 44 м і 50 м відповідно. Даний приклад свідчить про те, що навіть магістральні газопроводи однакового діаметра, прокладені в єдиному технологічному коридорі необхідно розглядати як окремі технологічні об'єкти, з огляду на, звичайно, малу можливість виникнення подібних подій.

Згідно з [41,42], для забезпечення високої експлуатаційної надійності магістрального газопроводу протягом всього часу його роботи варто передбачати аварійний запас труб, що використовується для термінової ліквідації аварій на газопроводі і підлягає негайному відновленню в міру використання, але не нижче нормованого незнижуваного запасу.

Норми аварійного запасу труб передбачені для нормальних і складних умов проходження газопроводу. Складні умови характеризуються одними із таких ознак: наявністю корозійно-активних

грунтів, боліт, пустелі, відсутністю розвитої мережі доріг, підвищеною сейсмічністю району проходження газопроводу.

Аварійний, у тому числі незнижуваний запас труб, підлягає зберіганню на складах лінійно-експлуатаційних служб або інших місць складування по рішенню лінійно-експлуатаційної служби. Для кожної лінійно-експлуатаційної служби аварійний незнижуваний запас визначається відповідно довжині газопроводів відповідного діаметра за нормативними показниками, які вказані в таблицях 4.1 і 4.2.

Таблиця 4.1- Норми аварійного запасу труб для газопроводів, в долях від довжини газопроводів в однитковому обрахунку

Умови проходження газопроводу	Умовний діаметр газопроводу, мм				
	до 500	700-800	1000	1200	1400
Нормальні	0,30	0,35	0,35	0,40	0,45
Складні	0,50	0,60	0,60	0,70	0,85

Таблиця 4.2 - Норми незнижуваного запасу труб для газопроводів, в долях від довжини газопроводів в однитковому обрахунку.

Умови проходження газопроводу	Умовний діаметр газопроводу, мм				
	до 500	700-800	1000	1200	1400
Нормальні	0,12	0,14	0,14	0,16	0,18
Складні	0,20	0,24	0,24	0,26	0,34

Ситуація з наявністю аварійного запасу труб в лінійно-виробничих управліннях УМГ “Прикарпаттрансгаз”, “Львівтрансгаз”, “Черкаситрансгаз” і “Київтрансгаз” типові для більшості газотранспортних підприємств ДК”Укртрансгаз”. Підприємства мають в наявності аварійний запас труб діаметром від 320 мм до 1420 мм, які розміщені у лінійних підрозділах. Кожне лінійно-виробниче управління має, в середньому, 6...10 площадок складування аварійного запасу труб. Всього біля 70 площадок. Площадки розміщені, як правило, в зонах компресорних станцій, лінійно-експлуатаційних служб, великих вузлів. В останні роки намітилась тенденція по зменшенню пунктів складування аварійного запасу, розміщення їх в зонах компресорних станцій з метою ліквідації неохоронних площадок через збільшення випадків крадіжок. Але, незважаючи на те, що сумарний запас труб по підприємствах складає тисячі погонних метрів, по кожній окремій номенклатурі є некомплект, який складає від 3% до 85% від діючих норм. Аварійний запас труб ДК”Укртрансгаз” на 01.08.1999 р. діаметром 1220 мм склав 7289 п.м. при нормі 9939 п.м. Некомплект складає 2650 п.м. або 27%, а для труб діаметром 720 мм некомплект складає 85% - 1430 п.м. замість 2850 п.м., які необхідні за нормою. Величина недостаючих запасів пропорційно залежить від віку газопроводу. Створений під час будівництва газопроводу запас розходиться, а заявки на його поповнення не задовольняються, або задовольняються частково, що пов’язано з дефіцитом труб і їх дороговизною. В умовах недостатнього фінансування, кризи неплатежів і нестабільної економічної ситуації в країні і в галузі доцільно бути готовими до дій при виникненні потреби у аварійному запасі – аварії. Неможливо точно визначити коли, де і скільки трапиться аварій, але можна прогнозувати в умовах обмеженого аварійного запасу і дефіциту необхідність перерозподілу існуючого запасу труб між пунктами

складування з врахуванням уточнень індивідуальних характеристик окремих ділянок магістрального газопроводу.

Проведені на основі програмного комплексу “ZAPAS” розрахунки діючої системи забезпечення аварійним запасом труб, дозволяють запропонувати заходи по скороченню витрат підприємств на систему формування аварійного запасу труб. Очікуваний економічний ефект від впровадження запропонованих заходів, який підтверджений актами, складає 500 тис. грн.

Розглянемо більш детально процес прийняття рішень по формуванню аварійного запасу труб на прикладі ділянки магістрального газопроводу “Союз-УПУ-Прогрес” діаметром 1420 мм, що має три нитки довжиною 1229 км.

Газопроводи мають однаковий діаметр і робочий тиск від 5,0 МПа до 7,5 МПа. На ділянці траси є повітряні і підводні переходи.

В цілому, дана ділянка характеризується нормальними умовами проходження траси, невисокою аварійністю, нормальною розвинутістю шляхів, можливістю під'їзду до об'єктів траси.

Після аналізу стану системи забезпечення аварійним запасом, з допомогою діалогу користувача-експерта і програмного комплексу “ZAPAS” сформована значна кількість взаємоприйнятних варіантів по організації ефективного забезпечення аварійним запасом досліджуваної ділянки магістрального газопроводу. У ході проведених розрахунків розв'язані задачі визначення кількості аварійного запасу труб і періоду поповнення для ділянки ЛВУ, а також оптимальний розподіл аварійного запасу між двома пунктами складування, розмежованих водною перешкодою – р. Ріка.

При проведенні розрахунків в якості вхідних даних використані:

- інтенсивність потоку відмов, яка характеризує кількість відмов на лінійній частині за розглянутий період часу;
- параметр розподілу розміру вимоги, що характеризує потребу у кількості погонних метрів труб, необхідних для проведення ремонтних робіт;
- питомі збитки від простою за час аварійних робіт;
- блок економічних параметрів, що описують систему складування аварійних запасів.

Оцінка різних варіантів, сформованих програмним комплексом, проведена на основі двох показників – вартісного і імовірного. В результаті сформована Парето-оптимальна область рішень, переміщуючись по якій можливо балансувати між скороченням витрат на систему забезпечення аварійним запасом труб і збільшенням вірогідності бездефіцитного функціонування системи.

На рис. 4.4...4.7 подані проміжні результати розрахунків, отримані з використанням програмного комплексу “ZAPAS”. На рис. 4.4 зображена найпростіша залежність витратного функціоналу від кількості аварійного запасу, який є в наявності на пунктах складування ЛВУ.

Складна система формування витратного показника, яка враховує загальні втрати від положення системи забезпечення аварійним запасом у стані дефіциту, дозволяє визначити оптимальний об'єм аварійного запасу. Ця зона знаходиться у районі 450 п.м. труби 1420 мм для ЛВУ в цілому. На рис. 4.5 зображено аналіз залежності витратного показника від періоду поповнення аварійних запасів.

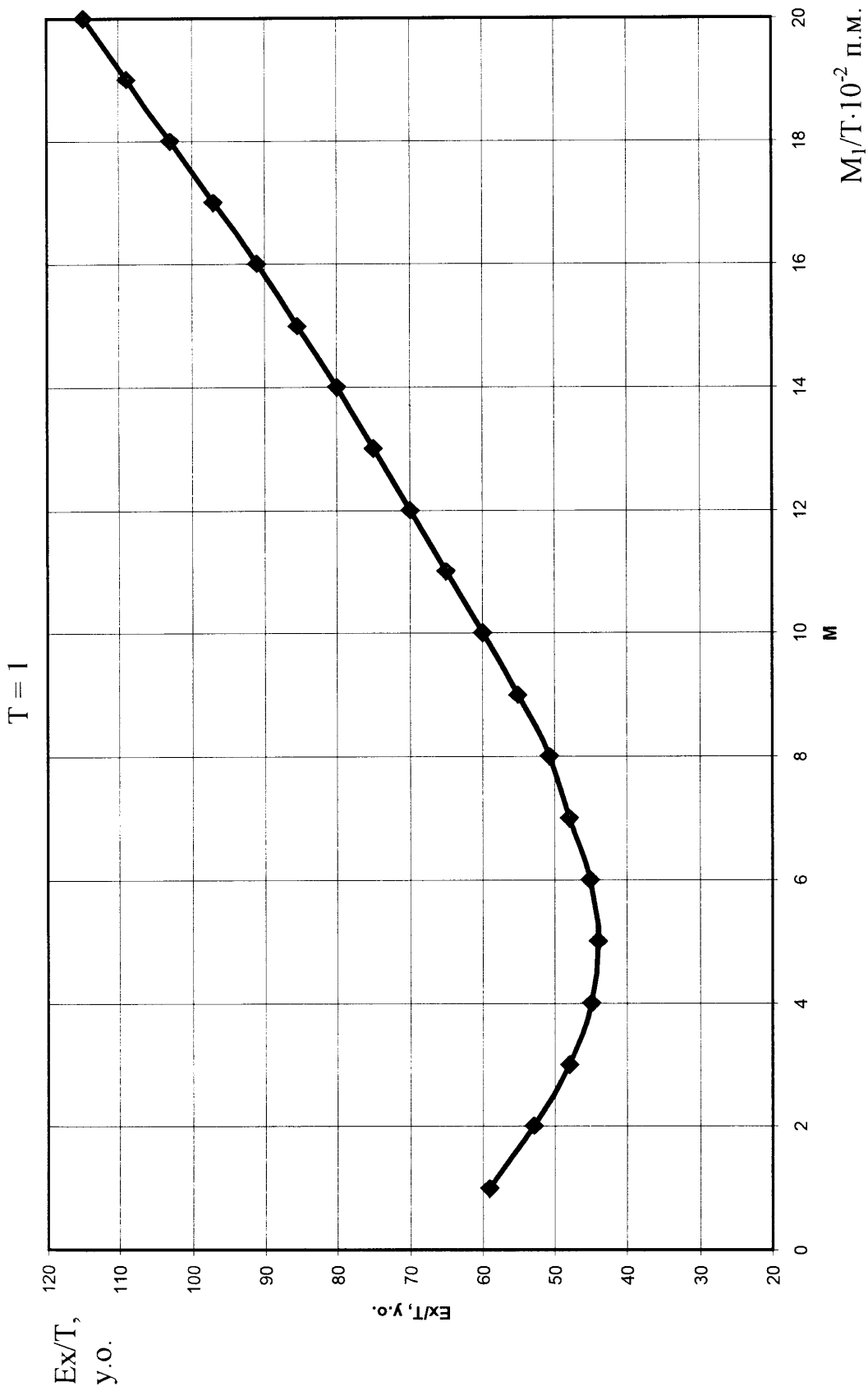


Рисунок 4.4 – Залежність техніко-економічного показника від кількості аварійного запасу на пункті складування.

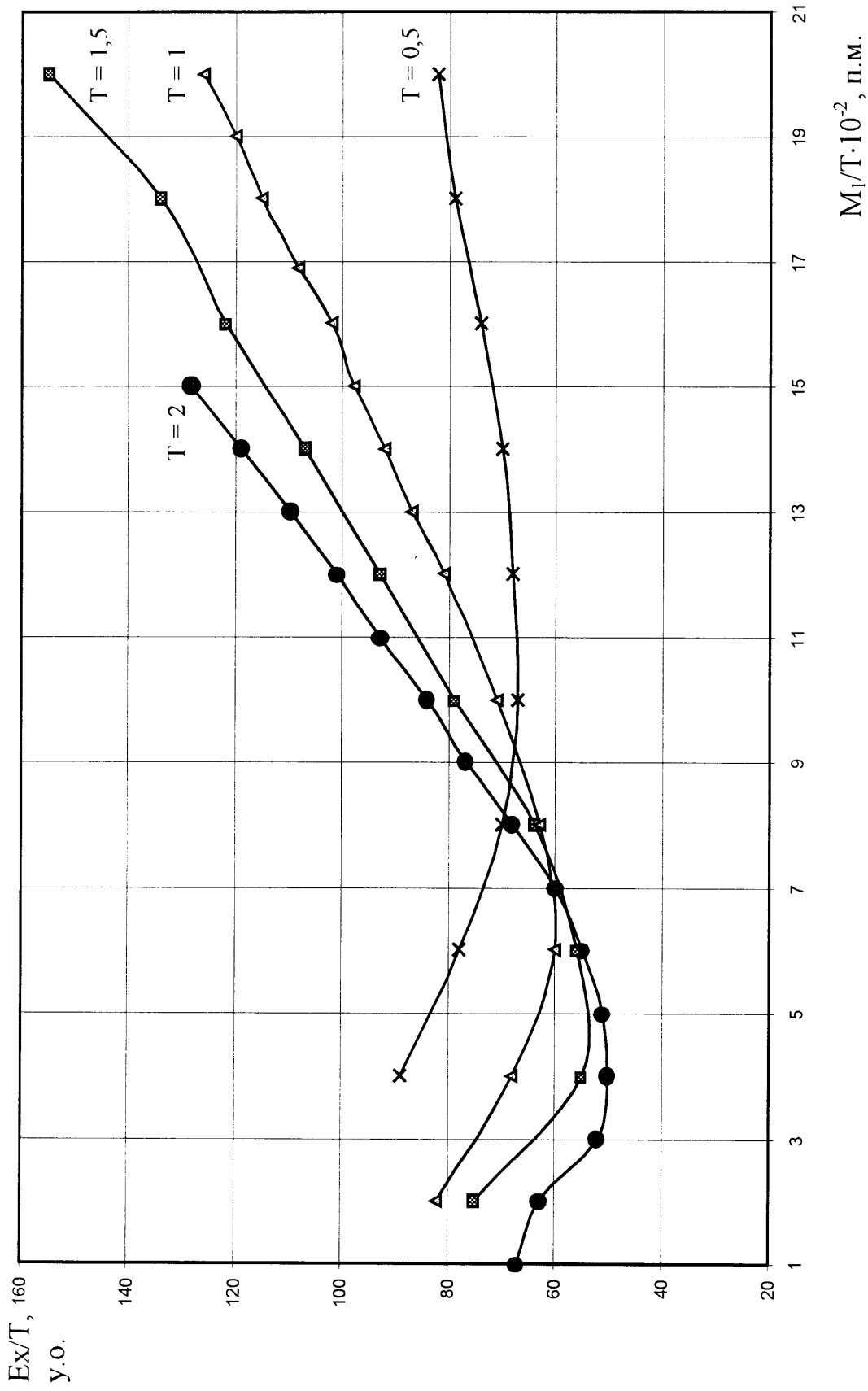


Рисунок 4.5 – Залежність техніко-економічного показника від періоду поповнення аварійного запасу



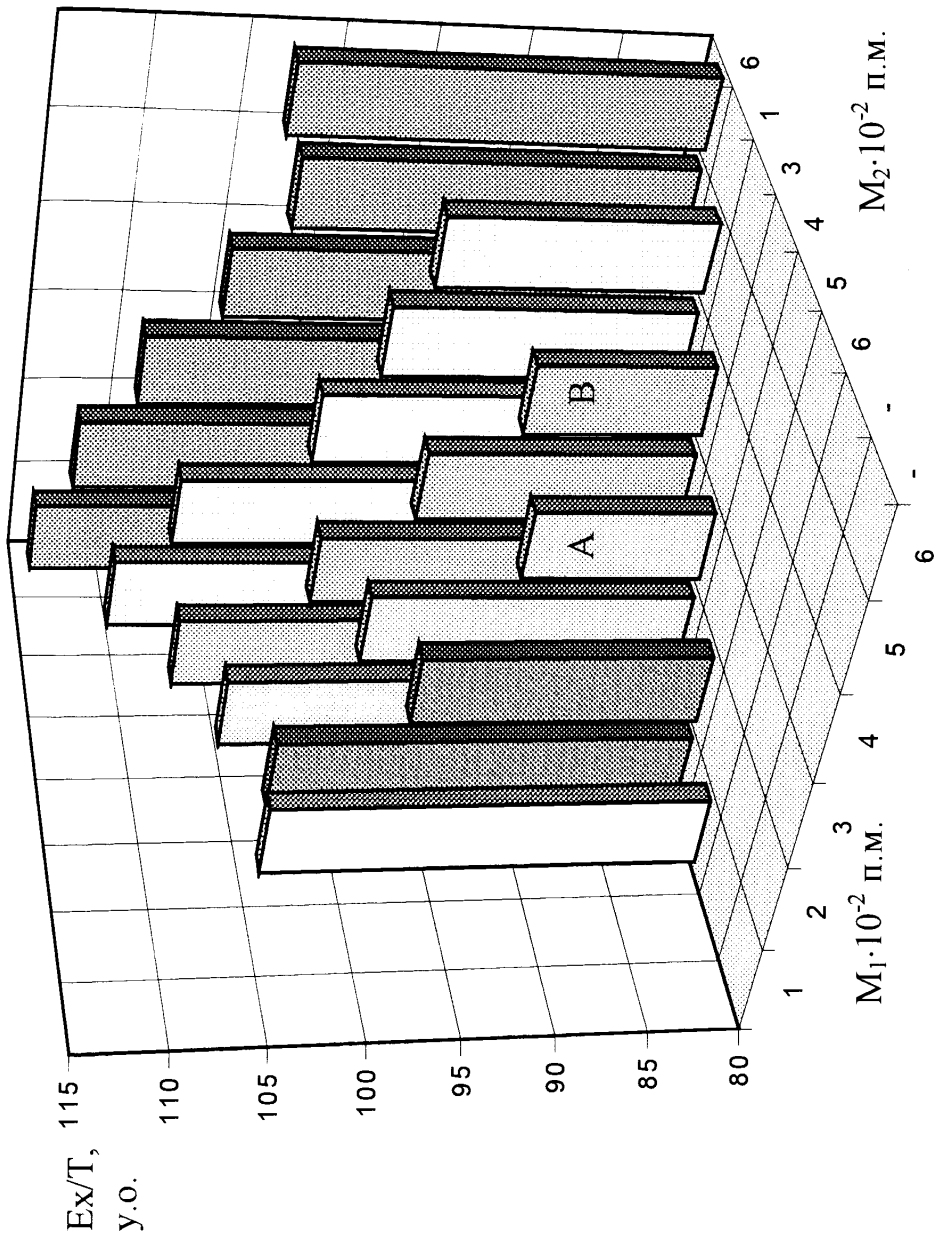


Рисунок 4.6 – Залежність техніко-економічного показника від розподілу загальної кількості аварійного запасу труб між двома пунктами складування.

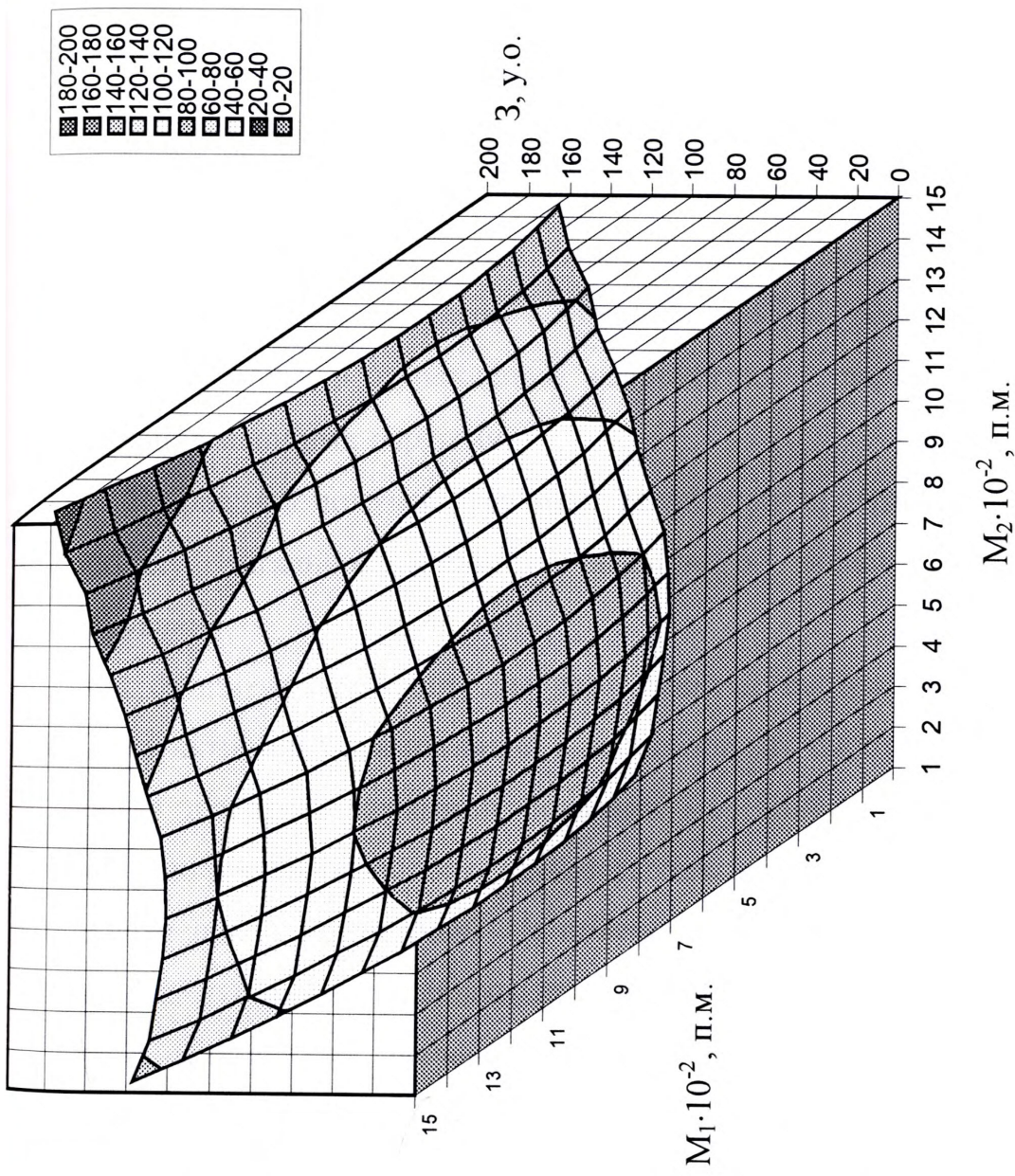


Рисунок 4.7 – Укрупнена діаграма розподілу аварійного запасу між пунктами складування.

Створення певної кількості аварійного запасу робиться в розрахунку на те, що якраз ця кількість може бути потрібною за даний період часу і буде використана. Але використання аварійного запасу прямо пов'язано щорічними витратами аварійного запасу і, відповідно, потребою у поповненні для підприємства в цілому.

Діаграма, подана на рис. 4.5, показує, що для обстежуваного підприємства економічно найбільш доцільним є збільшення періоду постачання, так як збільшуючи період постачання можна скоротити загальну кількість аварійного запасу. Для газопроводів з низькою аварійністю кращим варіантом є варіант з більшим періодом постачання, для газопроводів з підвищеною аварійністю – варіант періодичного постачання меншими партіями.

На рис. 4.6 показано фрагмент розрахунку програмним комплексом розподілу загальної кількості аварійного запасу між пунктами складування.

Даний фрагмент показаний для двох пунктів, так як розподіл більшого числа пунктів показати наглядно в двовимірному просторі неможливо. Як видно з діаграми, затратний показник має мінімум значень в зоні з приблизно рівним розподілом кількості запасів між пунктами складування. Але значення А і В не рівні. Це пояснюється тим, що при інших рівних даних за пунктами закріплені нерівні ділянки газопроводу. Відповідно область мінімальних значень В може бути зміщена ще сильніше при наявності різниці в інтервальних характеристиках траси.

Показана на рис. 4.7 укрупнена діаграма розподілу аварійного запасу між пунктами зберігання наглядно показує область оптимальних рішень. Ця область приймає участь в формуванні Парето-оптимальної кількості рішень для всієї системи.

Фрагмент зведеної відомості обліку і контролю за рухом аварійного запасу труб ЛЧ МГ, яка сформована програмним комплексом в автоматичному режимі, показано в табл. 4.3.

1. Бар

№ п/п	Діаметр, мм	Довжина, м	Тиск, МПа	Виробник	Протяжність, км	За методикою, м	Є фактично, м	Надлишок/недолік, м	%
1	1420	10	7,5	Вітч.	116	315.5	403.25	87	27,5
2	1420	10	7.5	ФРН	104	661	733	72	10,8

2. Тальне

№ п/п	Діаметр, мм	Довжина, м	Тиск, МПа	Виробник	Протяжність, км	За методикою, м	Є фактично, м	Надлишок/недолік, м	%
1	1420	10	7,5	ФРН.	139	517	530	13	2,5

3. Сокаль

№ п/п	Діаметр, мм	Довжина, м	Тиск, МПа	Виробник	Протяжність, км	За методикою, м	Є фактично, м	Надлишок/недолік, м	%
1	1220	10	5.6	Вітч.	90	480	452	-28	-5,8
2	1220	10	5.6	Вітч.	90	480	527	47	10,2
3	820	10	5.6	Вітч.	90	360	380	20	5,6

Таблиця 4.3 – Фрагмент зведеної відомості номенклатури аварійного запасу, що формується програмним комплексом.

## 4. Боярка

№ п/п	Діаметр, мм	Довжина, м	Тиск, МПа	Виробник	Протяжність, км	За методикою, м	Є фактично, м	Надлишок/недолік, м	%
1	1220	10	5,6	Вітч.	230	1150	1238	88	7,6
2	1020	10	5,6	Вітч.	218	1090	1200	110	10
3	529	10	5,6	Вітч.	232	1392	1525	133	9,6

## 5. Ромни

№ п/п	Діаметр, мм	Довжина, м	Тиск, МПа	Виробник	Протяжність, км	За методикою, м	Є фактично, м	Надлишок/недолік, м	%
1	1420	10	7,5	ФРН.	290	870	945	75	8,6
2	1420	10	7,5	Вітч.	147	588	723	135	23
3	1220	10	7,5	Вітч.	162	805	1010	205	25,5

## 6. Долина

№ п/п	Діаметр, мм	Довжина, м	Тиск, МПа	Виробник	Протяжність, км	За методикою, м	Є фактично, м	Надлишок/недолік, м	%
1	1420	10	5,6	ФРН	95	285	505	220	77,1
2	1220	10	5,6	Вітч.	91	455	610	155	34,1
3	820	10	5,6	Вітч.	132	528	612	84	15,9
4	720	10	5,6	Чех.	14	84	50	-34	-40,5

Таблиця 4.3 – Фрагмент зведеної відомості номенклатури аварійного запасу, що формується програмним комплексом.

## ОСНОВНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ТА ПІДСУМКОВІ ВИСНОВКИ

Системи керування запасами можна класифікувати за багатьма ознаками. Різноманітні сполучення ознак визначають різноманіття задач керування запасами.

У наших умовах критерії оптимізації систем зберігання аварійних запасів дуже слабо корельовані з дійсністю цілком необґрунтованого "вольового" призначення норм втрат при зберіганні, існування "практики неплатежів", існування практично неформалізованих процедур "фондування", "раціонування" та ін. Тому доцільним стає використання різних варіантів імовірнісних критеріїв, які добре інтерпретуються і ідентифікуються у практичних задачах.

Необхідність створення запасів у ланках системи постачання впливає з таких реально існуючих факторів: неузгодження виробництва постачальників і споживачів; дискретності процесу постачання; випадку коливань і тривалості інтервалів між постачаннями щодо їхніх середніх значень; серйозності економічних наслідків у випадку незадоволення попиту.

Можливі два варіанти побудови систем постачання. У першому випадку всі склади безпосередньо обслуговують споживачів. Джерело поповнення запасів для всіх складів приймається невичерпним. В другому випадку кожна недостача покривається за рахунок кінцевих запасів складу вищого щабля. Склад самого вищого щабля приймається невичерпними. Число каскадів може доходити до 4 - 5.

Поповнення запасів відбувається завжди з деякою затримкою щодо моменту видачі вимоги. Забезпечення запасами полягає у встановленні моментів замовлення і його об'ємів для надолуження запасу і у розподілі знову прибулої партії по ланках системи постачання, що стоять нижче.

Сукупність правил, по яких приймаються ці рішення і є стратегією поповнення запасних елементів.

З точки зору побудови системи постачання перевагу варто віддати пірамідальним системам, що дозволяють компенсувати нерівномірність вичерпання запасів у низьких ланках і швидше організувати покриття дефіциту на окремих ділянках. Такі системи дозволяють мати більш низький середній рівень запасу за рахунок централізації постачання.

Система забезпечення аварійними запасами труб ЛЧ МГ пов'язана з рішенням таких задач: планування аварійних запасів; організаційні питання; оперативне керування аварійними запасами, яке забезпечує оперативний перерозподіл у випадку виникнення локального дефіциту; питання ведення обліку і звітності.

Давно виникла необхідність створення універсальної бази даних по аварійних запасах на магістральних газопроводах, основа якої - паспортизація пунктів складування аварійного запасу, збір статистики по витратах аварійного запасу.

Система керування аварійними запасами для ЛЧ МГ є складним технологічним комплексом із множиною внутрішніх зв'язків, що створюють оптимальне функціонування комплексу, і зовнішніх, що забезпечують взаємодію комплексу з іншими підрозділами. Для керування таким комплексом необхідно створення автоматизованої системи керування з застосуванням багаторівневої ієрархічної системи керування комплексом. У цій системі весь технологічний процес можна розбити на окремі достатньо відособлені підсистеми і в процесі вироблення рішення реалізувати один із методів ієрархічного керування .

Задачі керування системою зберігання і поповнення запасів для ремонту ЛЧ МГ мають багато специфічних особливостей, що вимагає виділення їх в особливий клас задач декомпозиційного керування. Виникає



проблема розбивки задач на підзадачі, рішення яких припускає складність системи керування і витрати на її рішення.

Для математичного опису процесу функціонування системи формування і зберігання запасів і для можливості прогнозування параметра потоку заявок на запасні частини і устаткування для аварійного ремонту необхідно мати можливість оцінювати інтенсивність (параметр потоку) відмов на лінійній частині магістрального газопроводу.

Під інтенсивністю відмов на лінійній частині магістрального газопроводу (елементів або невідновлюваних об'єктів) розуміється умовна можливість відмов за одиницю часу за умови, що до цього моменту відмов не було.

Висунута гіпотеза про незбільшення інтенсивності аварій на лінійній частині магістрального газопроводу, яка підтверджена проведеними розрахунками.

Аналіз практики експлуатації магістральних газопроводів дозволяє сформулювати ряд особливостей функціонування системи зберігання і поповнення запасів для ремонту ЛЧ МГ, основними з яких є наступні: поповнення запасів здійснюється за заздалегідь узгодженим з постачальником графіком, де зафіксовані терміни й об'єми постачань. Аварійні постачання виключаються, а при вичерпанні запасів підключаються сторонні джерела, що не входять у коло розгляду; у проміжку між черговими постачаннями можливий перерозподіл поточного запасу між пунктами їх зберігання з метою запобігання виникненню локального дефіциту; задоволення заявки на запасні частини, що характеризується випадковим розміром і випадковим місцем проведення ремонту, зумовлює необхідність формалізації правила ухвалення рішення по витраті запасів на множину локальних пунктів складування при поточному рівні запасів на кожному з них.

Прокладка газопроводів в одному технологічному коридорі або спорудження багатониткових систем зумовлює можливість виникнення залежних відмов на рівнобіжних нитках, а це, у свою чергу, призводить до підвищення значень показників аварійності щодо значень відповідних характеристик однопроводових систем.

Успішне функціонування ЛЧ МГ можливо лише при виконанні таких вимог: поповнення запасів необхідно здійснювати за графіком, заздалегідь узгодженому з постачальником по термінах і об'ємам постачань, із можливим перерозподілом поточного запасу між пунктами їхньої зберігання. Планування потребує систематизації ведення обліку і комплексного підходу при аналізі інформації з багатьох характеристик; необхідний імовірнісний аналіз потоку вимог на запасні елементи для ухвалення рішення по витраті запасів на множині локальних пунктів складування при поточному рівні запасів на кожному з них; рішення по перерозподілі поточного запасу між пунктами складування повинні прийматися максимально оперативно;

Вищевикладене переконливо доказує необхідність створення пакета прикладних програм, що реалізують задачу функціонування системи зберігання аварійних запасів лінійної частини магістрального газопроводу, на основі математичного моделювання.

Створення програмного комплексу, який забезпечує керування аварійним запасом для ЛЧ МГ, є складовою частиною на шляху створення системи керування підприємства по транспорті газу, тому вона розроблена з врахуванням зв'язків і обмежень, що забезпечують її взаємодію з керуючими, функціональними й обслуговуючими підсистемами.

Ефективне функціонування всіх частин програмного комплексу реалізуючої задачі працездатності системи забезпечення аварійним

запасом ЛЧ МГ можливо тільки в тому випадку, якщо всі ці частини одержують вичерпну інформацію, необхідну для виконання конкретних управлінських функцій. Цій меті служить інформаційне забезпечення, що повинне здійснювати збір, зберігання і видачу необхідної інформації.

Інформаційне забезпечення даного програмного комплексу можна уявити, як сукупність системи класифікації і кодування інформації, мов запису даних, системи показників, масивів інформації. Частини інформаційного забезпечення зазначеної системи утворюються і функціонують не тільки по визначених правилах і закономірностям, властивим кожній із них, але й у визначених взаємозв'язках між собою, а так само з іншими частинами і з зовнішнім середовищем. При побудові системи інформаційного забезпечення програмного комплексу по забезпеченню аварійним запасом ЛЧ МГ застосовані організаційні і методичні принципи, що дозволяють досягти необхідної ефективності системи: методична єдність і системний підхід при створенні інформаційного забезпечення програмного комплексу; система інформації, моделі керування і самої системи керування аварійним запасом складають єдине ціле, тому кожна з цих частин розроблена з урахуванням взаємозв'язків, що існують між ними; інформаційна сумісність елементів і частин інформаційного забезпечення; кожна з задач ґрунтується на визначеному наборі інформаційних сукупностей, які, у свою чергу, взаємозалежні між собою єдиною системою форм обміну, класифікаторів, кодів, шифрів, що дозволяє забезпечувати високу ефективність використання інформації; типізація і блочність структури інформаційного забезпечення й уніфікації форм обміну інформацією; спадкоємність інформаційної системи програмного комплексу, урахування умов роботи виробничого об'єднання по транспорту газу при розробці інформаційного забезпечення; урахування вимог машинного опрацювання шляхом

уніфікації методів запровадження інформації, забезпечення достовірності переданої інформації; інтеграція опрацювання інформації, однократність запровадження інформації при багатократному її використанні.

Весь комплекс являє собою замкнутий цикл роботи окремих програм. Завершення роботи програмного комплексу відбувається в тому випадку, коли рішення про стратегію і тактику функціонування системи зберігання аварійних запасів ЛЧ МГ вибрано і задовольняє умовам поступки між матеріальними витратами, необхідними при проходженні обраних стратегії і тактики, і можливістю бездефіцитного функціонування системи в цих умовах.

Все викладене вище дозволяє зробити наступні висновки:

1. На основі аналітичних та статистичних досліджень розв'язана важлива науково-практична задача підвищення надійності газопостачання за рахунок скорочення вимушених простоїв газопроводу для проведення аварійних ремонтів шляхом оптимізації об'ємів аварійного запасу труб і розподілу пунктів їх складування по трасі.
2. Аналіз сучасного стану системи забезпечення аварійним запасом труб для лінійної частини магістрального газопроводу показав, що на пунктах складування спостерігається відхилення від норми по недостачі 5,8%, по надлишку – 27,5%. Це підтверджує необхідність розробки комплексу рішень по організації ефективної системи забезпечення аварійним запасом ЛД МГ, які заключені в можливостях: оцінювати ситуацію, діставати об'єктивні рекомендації і приймати обґрунтовані рішення в умовах дефіциту на окрему номенклатуру труб; визначати істинну потребу конкретних газопроводів в аварійних запасах, виходячи з інтервальних характеристик газопроводів.
3. Запропонований новий принцип планування аварійних запасів ЛД МГ, виходячи з розрахунку нерівномірності розподілу показників

## ЛІТЕРАТУРА

1. Александров А.В. Надежность систем дальнего газоснабжения М.: Недра, 1976. - 318 с.
2. Альшанов А.П., Галлиулин З.Т., Гуссак В.Д. Методика расчета аварийного запаса труб // Газовая промышленность М.: Недра, 1977. - № 8. С.34-37.
3. Андреев А.Ф., Бренц А.Д. и др. Актуальные экономические проблемы нефтегазовых отраслей промышленности. - М.: ГАНГ, 1992. - 52 с.
4. Артамонов А.Г., Володин В.М., Авдеев В.Г. Математическое моделирование и оптимизация плазмохимических процессов. - М.: Химия, 1989. - 225 с.
5. Барзилович Е.Ю., Мезенцев В.Г., Савенков М.В. Надежность авиационных систем. - М.: Транспорт, 1982. - 182 с.
6. Березовский Б.А., Борзенко В.И., Кеплер Л.М. Бинарные отношения в многокритериальной оптимизации. - М.: Наука, 1981. - 149 с.
7. Векштейн М.Г., Тугунов П.И., Галеев В.Б. Централизованное аварийно-восстановительное обслуживание линейной части магистральных трубопроводов.- М.: ВНИИОЭНГ, 1975. - 90 с.
8. Вентцель Е.С. Исследование операций: задачи, принципы, методология. - М.: Наука, 1988. - 208 с.
9. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория вероятностей и ее инженерные приложения.- М.: Наука, 1988. - 480 с.
10. Вороновицкий М.М. Простая модель самоусиления дефицита вследствие создания запасов. Экономика и математические методы М., 1987. - Т.24. - Вып. 47.
11. Вунш Г. Теория систем. - М.: Советское радио, 1978.- 288 с.

12. Галлиулин З.Т., Гуссак В.Д., Альшанов А.П. Повышение эффективности ремонтного обслуживания газопроводов с учетом его надежности. Обз. информ. Сер.: Важнейшие научно-технические проблемы газовой промышленности.- М.: ВНИИЭгазпром, 1986.- Вып. 8. - 52 с.
13. Гмурман В.С. Теория вероятностей и математическая статистика.- М.: Высшая школа, 1972. - 368 с.
14. Гнеденко Б.В., Беляев Ю.К., Соловьев А.Д. Математические методы в теории надежности.- М.: Наука, 1965. - 524 с.
15. Гнеденко И.И., Трускалов Н.П. Надежность систем многоканальной связи М.: Связь, 1980. - 96 с.
16. Головин И.Н., Чуварыгин Б.В., Шура-Бура А.Э. Расчет и оптимизация комплектов запасных элементов радиоэлектронных систем М.: Радио и связь, 1984. - 176 с.
17. Гордиенко Е.А. Адаптивное управление запасами при неизвестном распределении спроса //Известия АН СССР /Техническая кибернетика. М., 1982. - № 1.
18. Горелик В.А., Ушаков И.А. Исследование операций. -М.: Машиностроение, 1986. - 288 с.
19. Грудз В.Я., Михалків В.Б., Лінчевський М.П., Тимків Д.Ф. Керування режимами газотранспортних систем. – Київ.: 1996р. 150с.
20. Грудз В.Я., Тимків Д.Ф., Лінчевський М.П., Михалків В.Б. Методика розрахунків керування режимами роботи газопроводів в процесі проведення очисних і діагностичних робіт. // Національна акціонерна компанія "Нафтогаз України", Івано-Франківський державний технічний університет нафти і газу. М. Івано-Франківськ. 2000р. –с. 50.

21. Грудз В.Я., Тымкив Д.Ф., Яковлев Е.И. Обслуживание газотранспортных систем. – Киев.: УМКВО, 1991.-159с.
22. Груничев А.В., Однодушнов А.В., Якимов П.Ф. Обеспечение надежности радиоэлектронной аппаратуры и комплектующих изделий при эксплуатации М.: Советское радио, 1976.- 240 с.
23. Дедков Б.К., Северцев Н.А. Основные вопросы эксплуатации сложных систем М.: Высшая школа, 1976. - 400 с.
24. Дмитриев Я.В. Об однопродуктовой задаче прикрепления поставщиков к потребителям // Экономика и математические методы М.,1986. - Т. 27. - Вып. 2.- 42 с.
25. Захаров В.К., Севастьянов Б.А., Чистяков В.П. Теория вероятностей М.: Наука, 1983. - 160 с.
26. Зубко Н.Ф. Надежность и оптимизация запасов деталей портовых машин. - М.: Транспорт. 1992. - 144 с.
27. Иванцов О.М. Надежность строительных конструкций магистральных трубопроводов М.: Недра, 1985. - 231 с.
28. Иванцов О.М., Мазур И.И. и др. Конструктивная надежность и экологическая безопасность трубопроводов.- М.:Недра, 1990.- 264 с.
29. Ильин Ю.А. Надежность водопроводных сооружений и оборудования М.: Стройиздат, 1985. - 240 с.
30. Инструкция о порядке хранения, использования и пополнения аварийного запаса труб.- М.: ВНИИГАЗ, 1978.- 7 с.
31. Инютина К.В., Шепелев И.Г., Аксенов В.М. Автоматизация управления снабжением в строительстве Л.: Стройиздат: Ленингр. отд-ие, 1987. - 152 с.

32. Клюкач І.І., Лінчевський М.П., Чабанович Л.Б. та інші. Енергозберігаючі системи повітряного опалення будівель і укриттів газоперекачуючих агрегатів. // Тези доповідей науково-практичної конференції "Нафта і газ України - 96", том 3, Харків, 1996р. –с. 145-146
33. Козлов Б.А., Ушаков И.А. Справочник по расчету надежности.- М.: Советское радио, 1975. - 471 с.
34. Комягин А.Ф., Караев П.Т. Управление запасами в системе компрессорных станций магистральных газопроводов//Реф. инф. Экономика газовой промышленности. - М.: ВНИИЭгазпром, 1980. - ВЫП. 12. - С.11-17.
35. Кульбак Л.И. Основы расчета обеспечения электронной аппаратуры запасными элементами,- М.: Советское радио, 1970.-208 с.
36. Левин Б.Р. Теория надежности радиотехнических систем.- Н.: Советское радио, 1978. - 263 с.
37. Левин В.И. Логическая теория надежности сложных систем.- М.: Энергоатомиздат, 1985 - 128 с.
38. Левин В.И. Структурно-логические методы исследования сложных систем с применением ЭВМ.- М.: Наука, 1987.- 304 с.
39. Литовченко В.П. Прогнозирование материальных ресурсов в строительстве.- М.: Стройиздат, 1978.
40. Лінчевський М.П., Михалків В.Б. Оптимальне керування аварійними запасами труб для лінійної частини магістральних газопроводів в гірських місцевостях //Розвідка та розробка нафтових і газових свердловин. Державний міжвідомчий науково-технічний збірник.- Івано-Франківськ. Вип 38., 2001р. с 86-92с.



41. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа.-М.:Техтеориздат, 1950.-784 с.
42. Лурье М.В., Гольдзберг В.Л. Расчет гидродинамических процессов движения в системах контейнерного пневмотранспорта грузов.//Изв. АН СССР Энергетика и транспорт. №4, 1971. с.331-340
43. Лотоцкий В.А., Мандель А.С. Модели и методы управления запасами.- М.: Наука, 1991. - 189 с.
44. Мирзанжанзаде А.Х., Гусейнзаде М.А. Решение задач нефтепромысловой механики.-М.:Недра, 1969.-199 с
45. Михалкив В.Б. Разработка методов оперативного расчета режимов эксплуатации сложных систем газопроводов с пересеченным профилем трассы. Диссертационная работа на соискание уч. степ. канд. техн. наук. М., 1985.
46. Макар Р.М., Клюкач І.І., М.П. Лінчевський та інші. Енергозбереження на об'єктах транспорту природного газу. Науково-технічна конференція "Нафта і газ України", том 2, Київ, 1994р. –с. 3-6
47. Макар Р.М., Клюкач І.І., М.П. Лінчевський та інші. Енергозбереження – основа перспективного розвитку нафтогазового комплексу України. // Нафтова і газова промисловість № 4, 1995р. – с. 3-6
48. Макар Р.М., Клюкач І.І., М.П. Лінчевський та інші. Енергозаощадження – основа перспективного розвитку нафтогазового комплексу України. // Науково-технічна конференція. м. Львів., 1995р. –с. 24 – 24
49. Макар Р.М., М.П. Лінчевський, Шелковський Б.І. та інші. Ефективне повітряне опалення промислових будівель компресорних станцій

газопроводів. // Нафтова і газова промисловість № 3, 1997р. –с. 32-36

50. Макар Р.М., Шелковський Б.І. М.П. Лінчевський, та інші. Енергозбереження на об'єктах транспорту України. // Матеріали 2-ої міжнародної конференції по управлінню використання енергії. Львів., 1997р –с. 2-6.
51. Методические указания по расчету запасных узлов и деталей для газоперекачивающих агрегатов компрессорных станций магистральных газопроводов.- М.: ВНИИГАЗ, 1981. - 25 с.
52. Модульная КС из суперблоков. И.И. Ключах, М.П. Линчевский, В.И. Костюченко, Н.А. Гликман. //Газовая промышленность, № 3, 1986г., -с. 12-13
53. Нормирование надежности газопроводов/И.Д.Красулин, Е.Р.Ставровский и др.; под ред. В.Д.Шапиро.- М.: ИРЦ "Газпром", 1994.- 167 с
54. Нормы аварийного запаса труб, стальной трубопроводной арматуры, соединительных деталей и монтажных заготовок для магистральных газопроводов.- М.: ВНИИЭГазпром, 1977.- 8с.
55. Нормы аварийного запаса труб, стальных кранов, соединительных деталей и монтажных заготовок для трубопроводов, прокладываемых в едином технологическом коридоре. М.: ВНИИГАЗ, 1986.- 8 с.
56. Нормы неснижаемого запаса труб, оборудования, материалов и запчастей на газопроводе. М.: ВНИИГАЗ, 1979.- 10 с.
57. Оре 0. Теория графов. - М.: Наука, 1968.- 210 с.
58. Садыхов М.С. Автоматизированная система управления материально-техническим обеспечением нефтегазодобывающего объединения.- М.: Недра, 1988. - 152 с.

59. Свешников А.А. Прикладные методы теории случайных функций.- М.: Наука, 1968. - 463 с.
60. Сиразетдинов Т.К. Методы решения многокритериальных задач синтеза технических систем.- М.: Машиностроение, 1988.-160 с.
61. Скрипник В.М., Назин А.Е., Приходько Ю.Г., Благовещенский Ю.Н. Анализ надежности технических систем по цензурированным выборкам.- М.: Радио и связь, 1988. - 184 с.
62. Состояние и проблемы энергосбережения на объектах транспорта газа Украины. /Макар Р.М., Ключах І.І., Лінчевський М.П. та інші. // Газова промисловість № 9, 1999р. -с 24-27
63. Справочник по надежности/Под ред. В.Айресон. - М.:Мир, 1969. - Т.1. - 339 с.
64. Структурно-логические методы исследования сложных систем с применением ЭВМ. - М.: Гл. ред. физ-мат лит., 1987 -304 с.
65. Терентьев А.Н., Седых З.С., Дубинский В.Г. Надежность газоперекачивающих агрегатов с газотурбинным приводом.-М.: Недра, 1979. - 207 с.
66. Туманян О.Н. Приемка и складирование труб - важнейший подготовительный этап строительства//Строительство трубопроводов. - 1981. - Мо 8.
67. Ушаков И.А. Задачи оптимального резервирования.- М.: Знание, 1979. - С.3-69.
68. Ушаков И.А. Определение оптимального состава резервных блоков и запасных элементов восстанавливаемых систем с пополнением запасов//Надежность и контроль качества/Теоретические проблемы надежности и контроля качества. - М., 1979. -№ 3. - С.3-17.

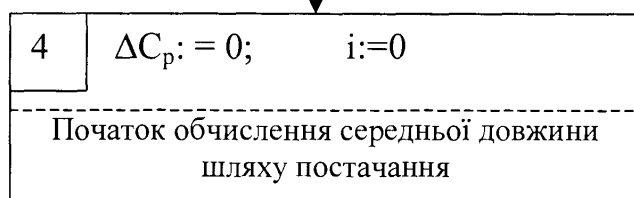
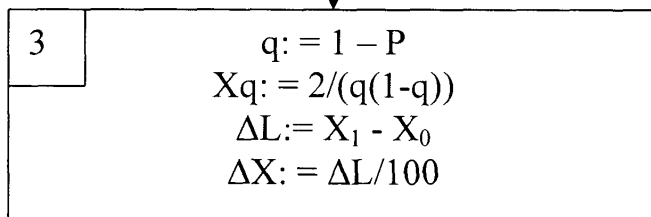
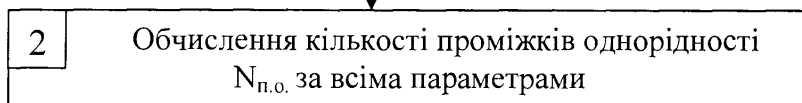
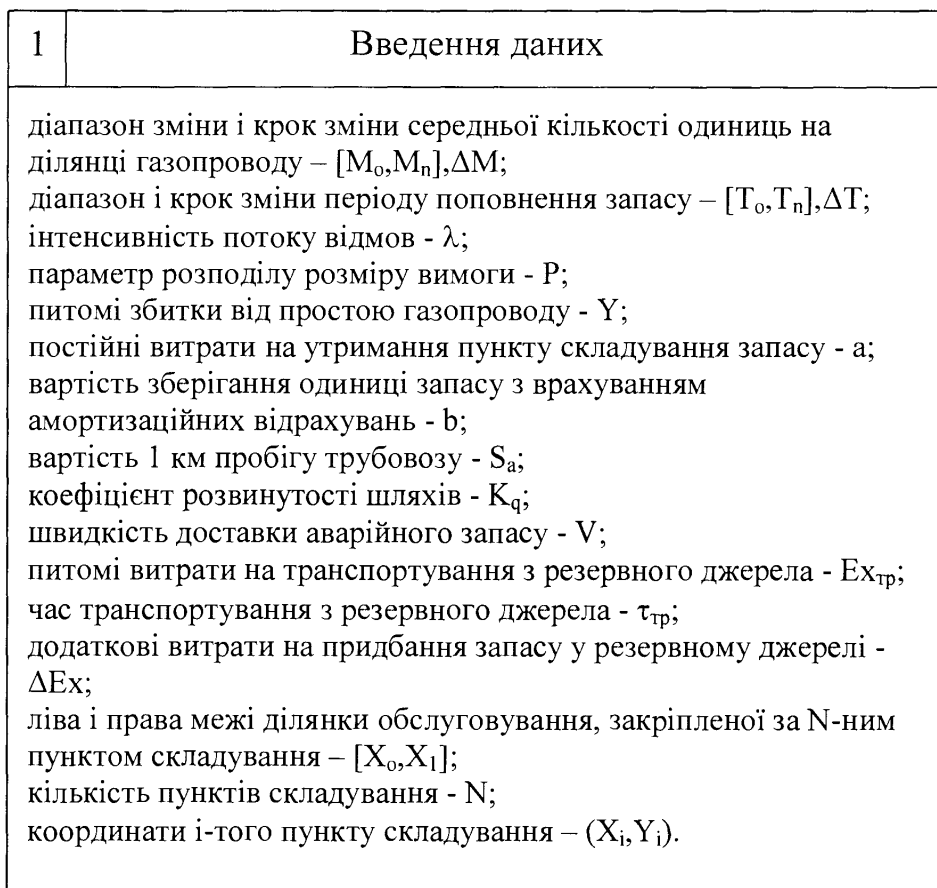
69. Фасоляк Н.Д. Управление производственными запасами.- М.: Экономика, 1972. - 256 с.
70. Феклистов Г.И. Математическое обеспечение систем управления запасами. - М.: Статистика, 1977. - 282 с.
71. Халилов К.Г., Розов В.Н. Управление материальными ресурсами в морской нефтегазодобычи.- М.: Недра,1988.- 160 с.
72. Хэнссмен Ф. Применение математических методов в управлении производством и запасами. - М.: Прогресс, 1966. -252 с.
73. Черчмен С.У., Арноф Р.Л., Акоф Е.Л. Введение в исследование операций. - М.: Наука, 1968. - 726 с.
74. Чирсков В.Г., Телегин Л. Г., Курепин Б.Н. и др. Управление запасами материальных ресурсов в системе материально-технического обеспечения строительства магистральных трубопроводов//НТО. Сер.: Экономика, организация и управление строительством предприятий нефтяной и газовой промышленности.- М.: Информнефтегазстрой. - 1982.- Вып. 2. - 61 с.
75. Шубин А.С.. Филиппов Ю.С., Комаров Е.И. Метод определения ущерба на предприятиях, ограничиваемых в газоснабжении/УИнформ. Листок саратовского межотраслевого терр. центра НТИ и пропаганды. - 1978. - Мо 43778. - 4 с.
76. Шура-Бура А.Э., Горяшко А.П. Задачи технического обслуживания (совместная оптимизация систем диагностики и обеспечения запасными элементами).- М.: Знание, 1985.-104 с.
77. Шура-Бура А.Э., Топольский М.В. Методы организации, расчета и оптимизации комплектов запасных элементов сложных технических систем.- М.: Знание, 1981. - С.58-112.

78. Щетина В.А., Лукинский В.С., Сергеев В.И. Снабжение запасными частями на автомобильном транспорте. - М.:Транспорт, 1988. –112 с.
79. Эйкхофф П. Основы идентификации системы управления.-М. : Мир, 1975. - 684 с.
80. Эффективные мероприятия по снижению уровня шума на КС /И.И Ключац, М.П. Линчевский, Б.И. Шелковский. //Газовая промышленность № 7, 1987г. – с. 36-37
81. Юфин В.А., Яковлев Е.И. и др. Трубопроводный транспорт нефти и газа. - М.: Недра, 1978. - 407 с.
82. Яковлєв Є.І., Казак О.С., Михалків В.Б. та ін. Режими газотранспортних систем .- Львів: Світ, 1992 р. с. 167.
83. Авторське свідоцтво СССР 826793, кл F17D1/02/ Способ транспортирования природного газа по магистральному трубопроводу. Линчевский М.П., Каминский П.М., Калапунь И.М., Присяжнюк П.О. № 132. Заявлено 20.11.84. Опубликовано 07.08.87. Бюлетень № 29 –2с.
84. Buffa E.S., Miller J.G. Production-inventory systems: Planning and control. Homewood (Ill). - Irwin, 1979. -278 p.
85. Gupta R. Inventory model for sloe-dependent consumption rate//Oper. Res. - 1986. - Vol. 2.3. - N1. - P. 19-24.
86. Harris F. Operation and cost (Factory management series). -Chicago: A.W.Show Co., 1915.
87. McLevy D.W., Naraslmhan S.L. Production planning and inventory control.- Boston: Alln and Bacon, 1985.- 282p.
88. Miller B.L. Scarf s state reduction method, flexi-bility and a dependent demand inventory model//Oper. Res.-1986.- Vol.34.- N1.- P. 83-90.

89. Proshan F., Pyke R. Tests for monotone failure rate/Math Statist. and Proballe.- Berkley. 1965-1966. - vol.3.
90. Raymond F.E. Quantity and economy: in manufacture.- New York: Me Crow - Hill Book Co., 1931.
91. Siever E.A.. Peterson R. Decision systems for inventory .management and production planning.- Chichester: Wi-ley. - 1985. - 298 p.

## ДОДАТОК А

БЛОК – СХЕМА РОЗРАХУНКУ ВИТРАТНОГО ФУНКЦІОНАЛУ  
(ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНОГО ПОКАЗНИКА)



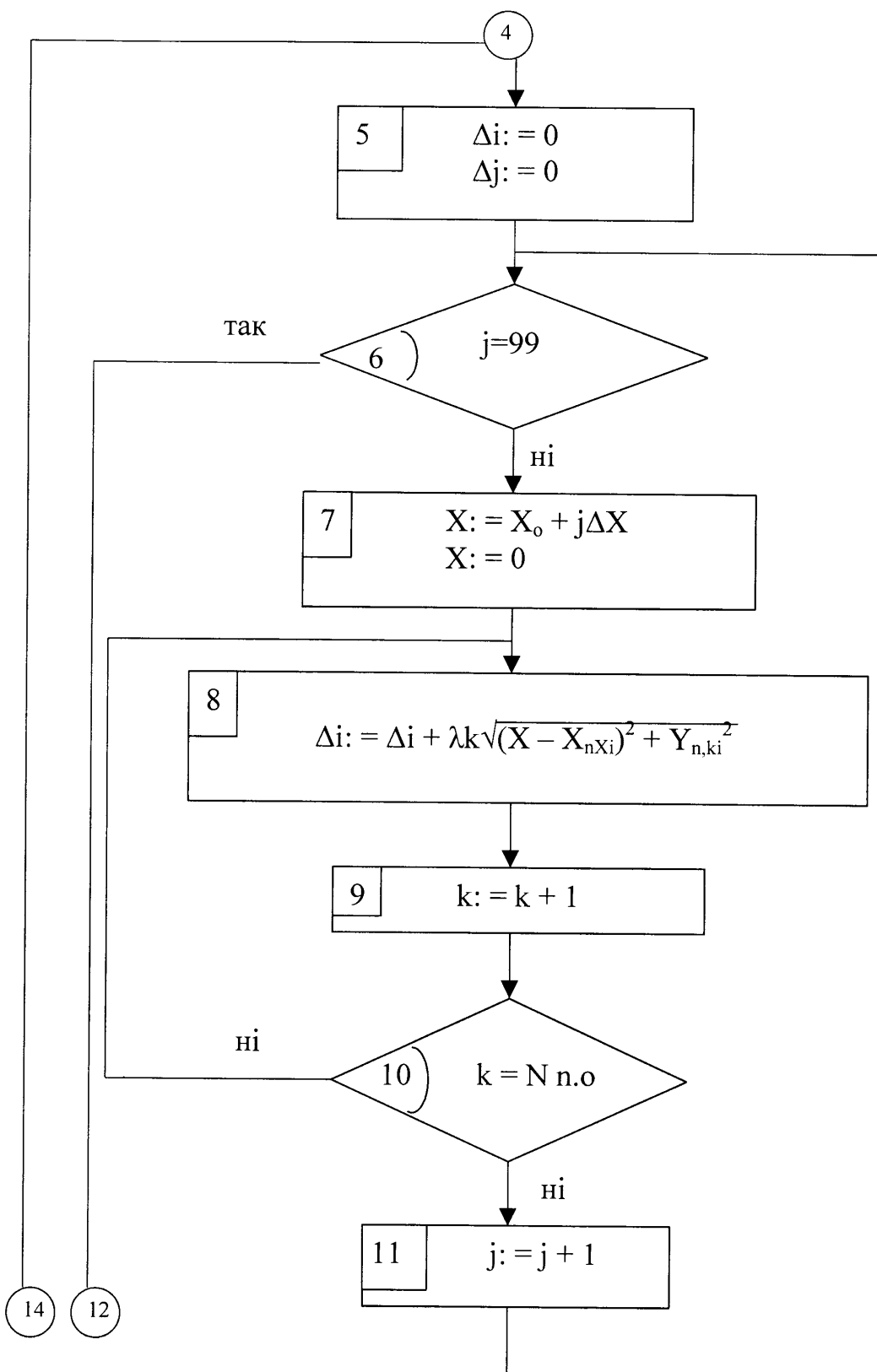
↓

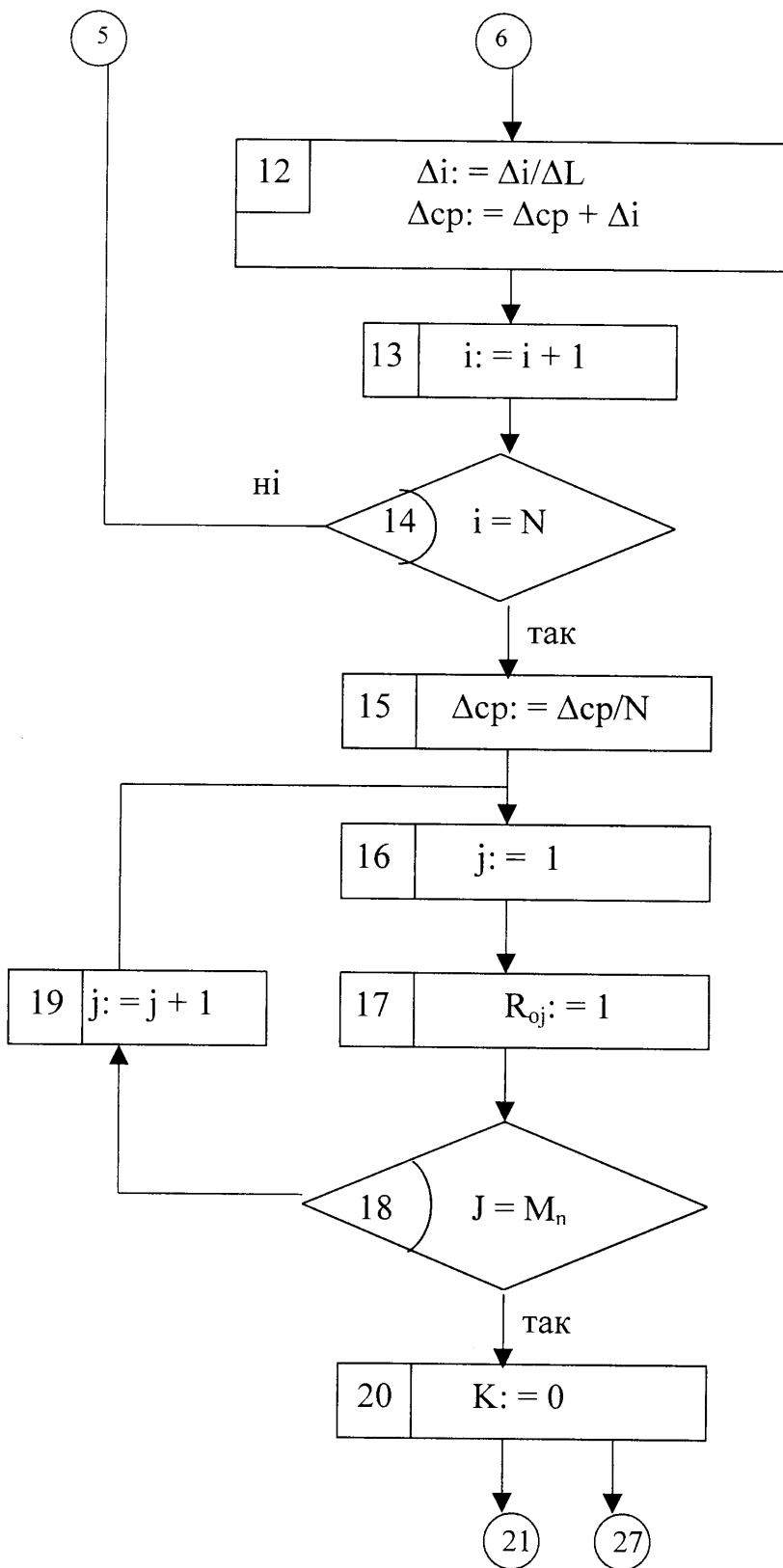
5

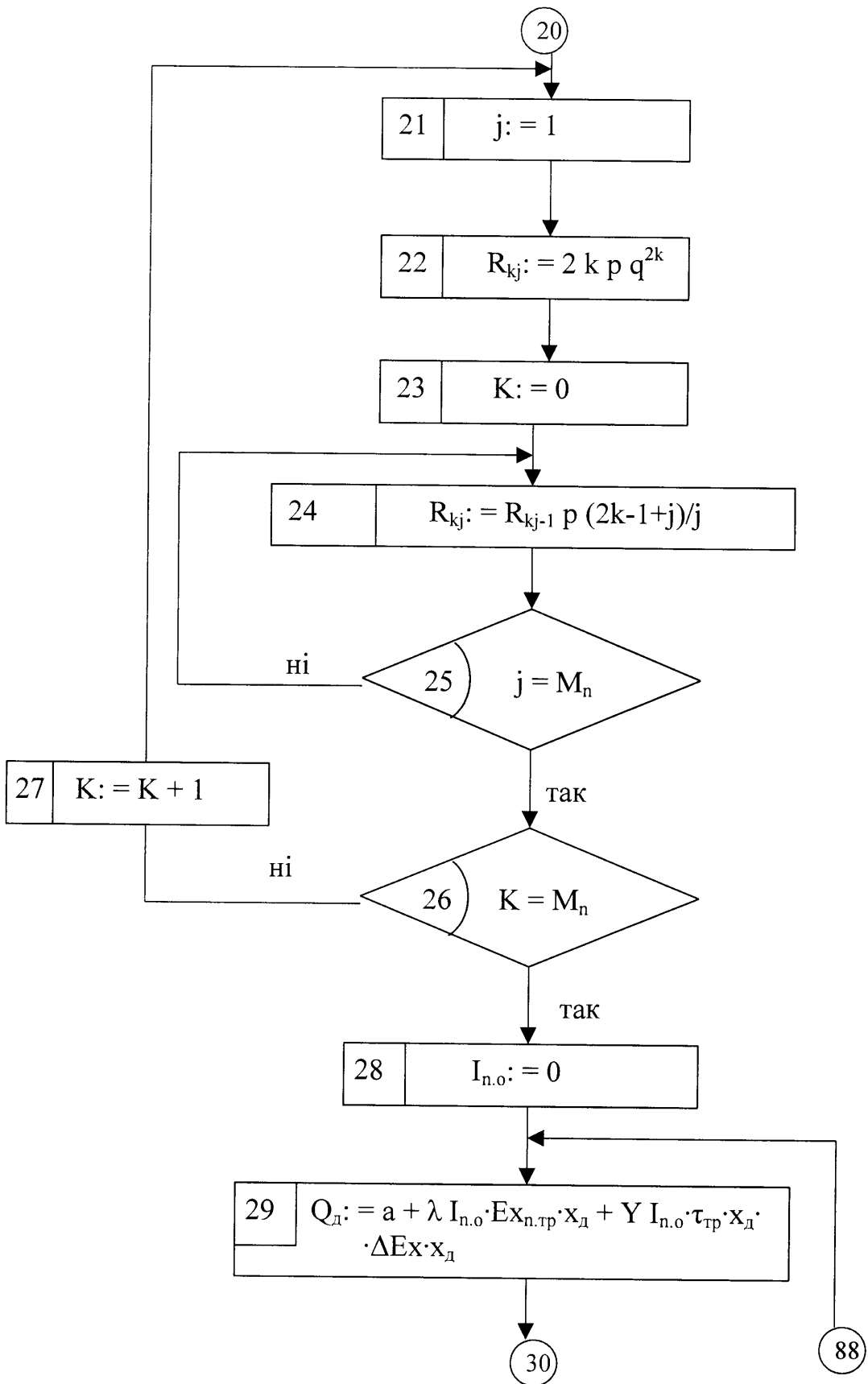
↓

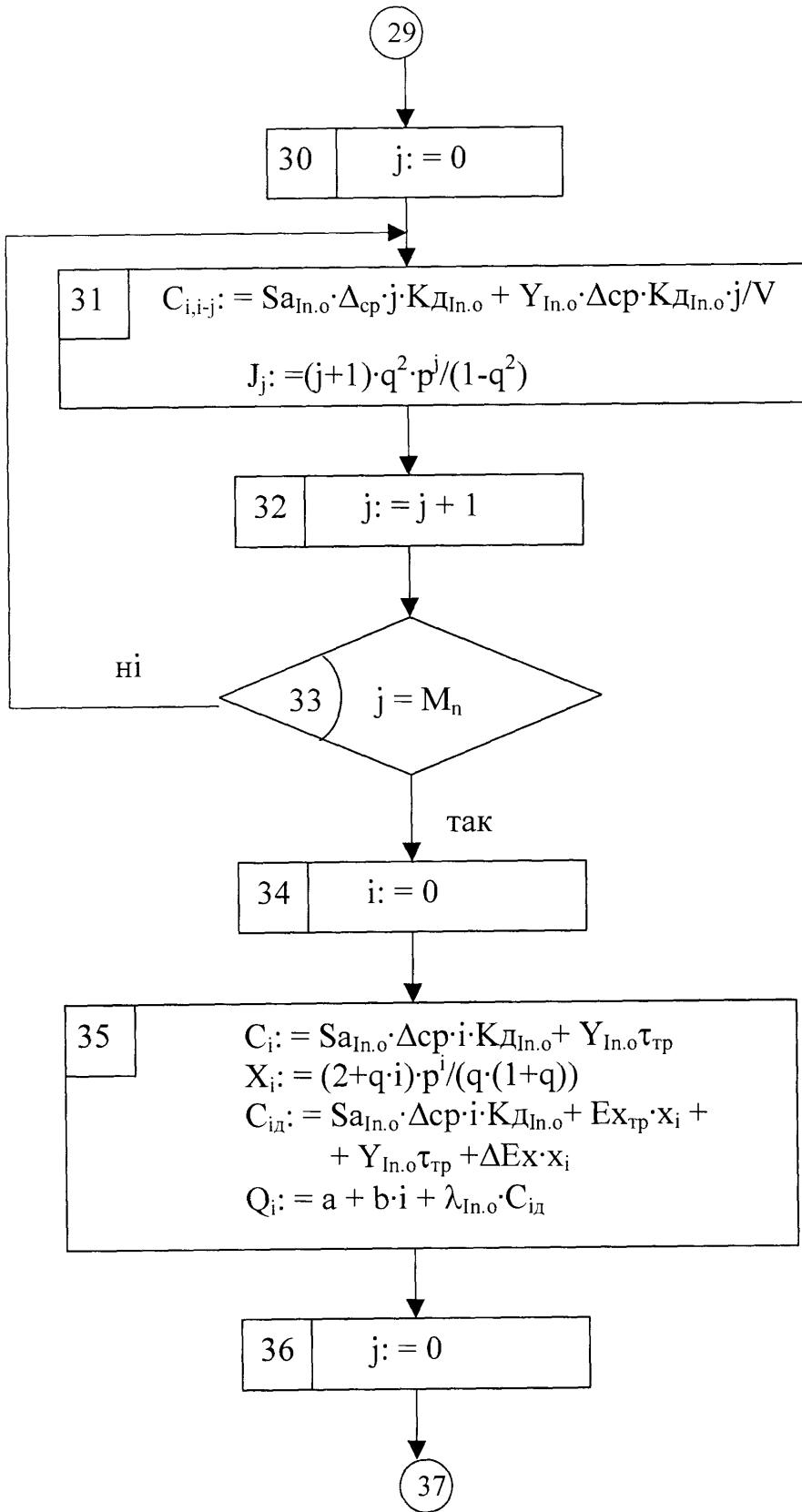
14

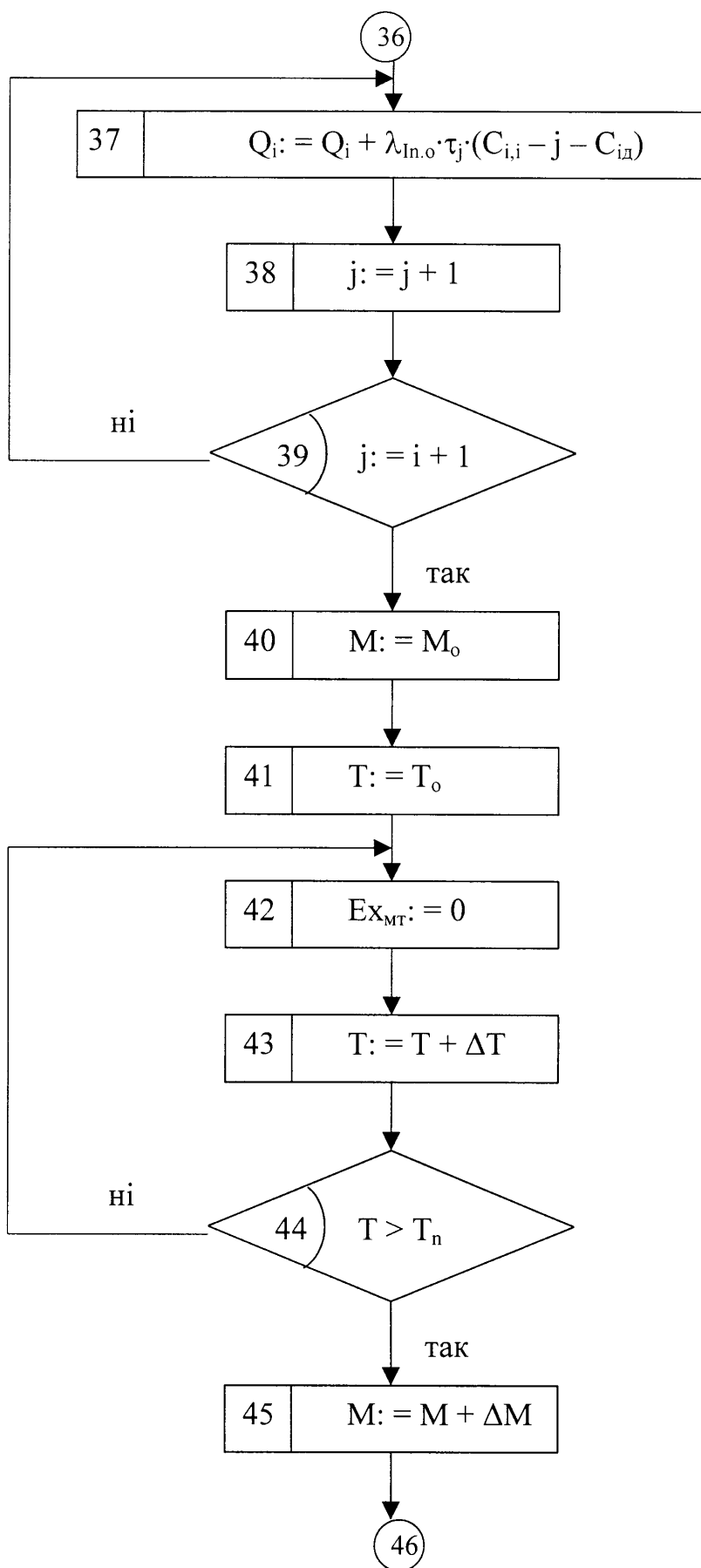


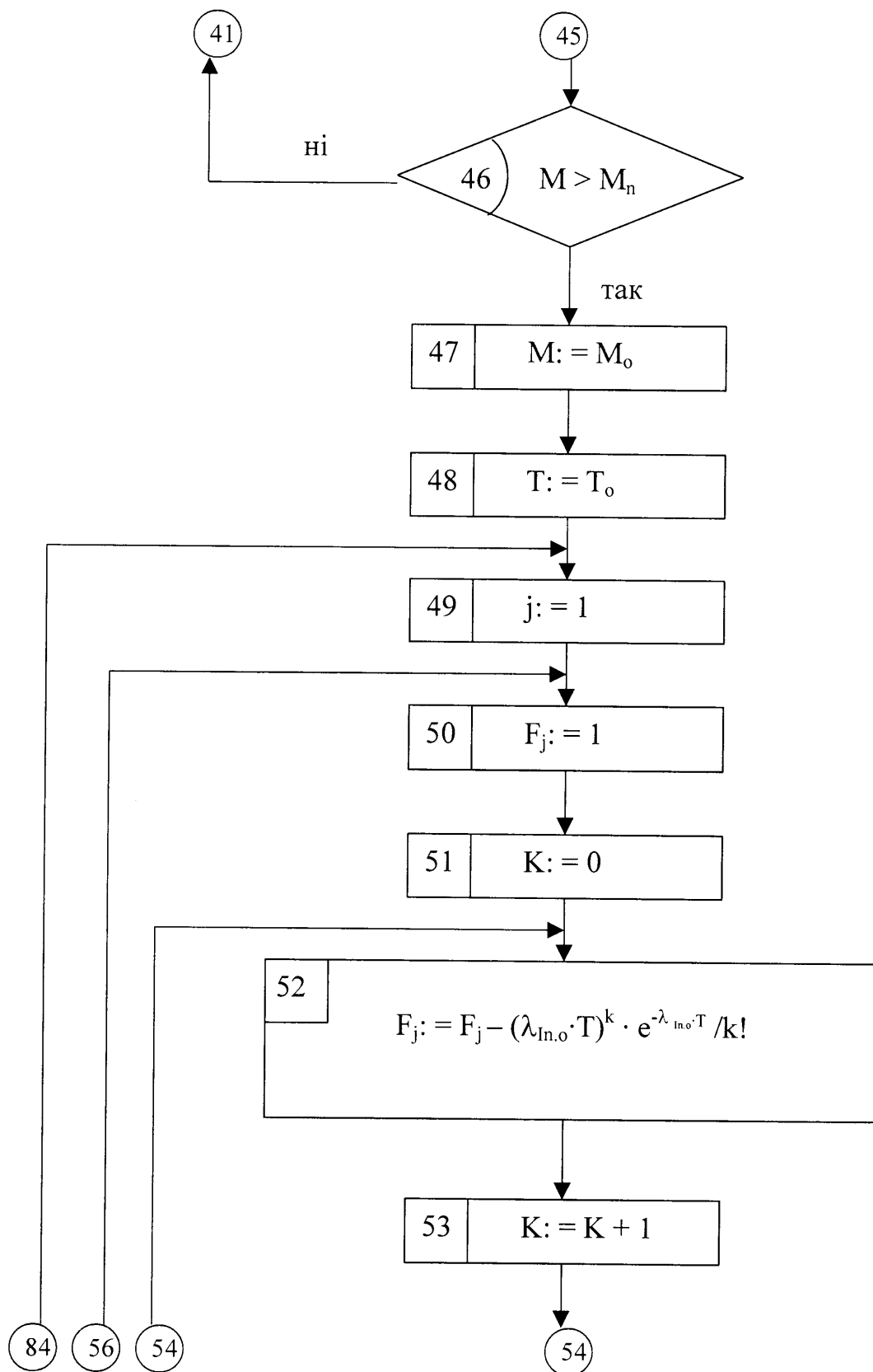


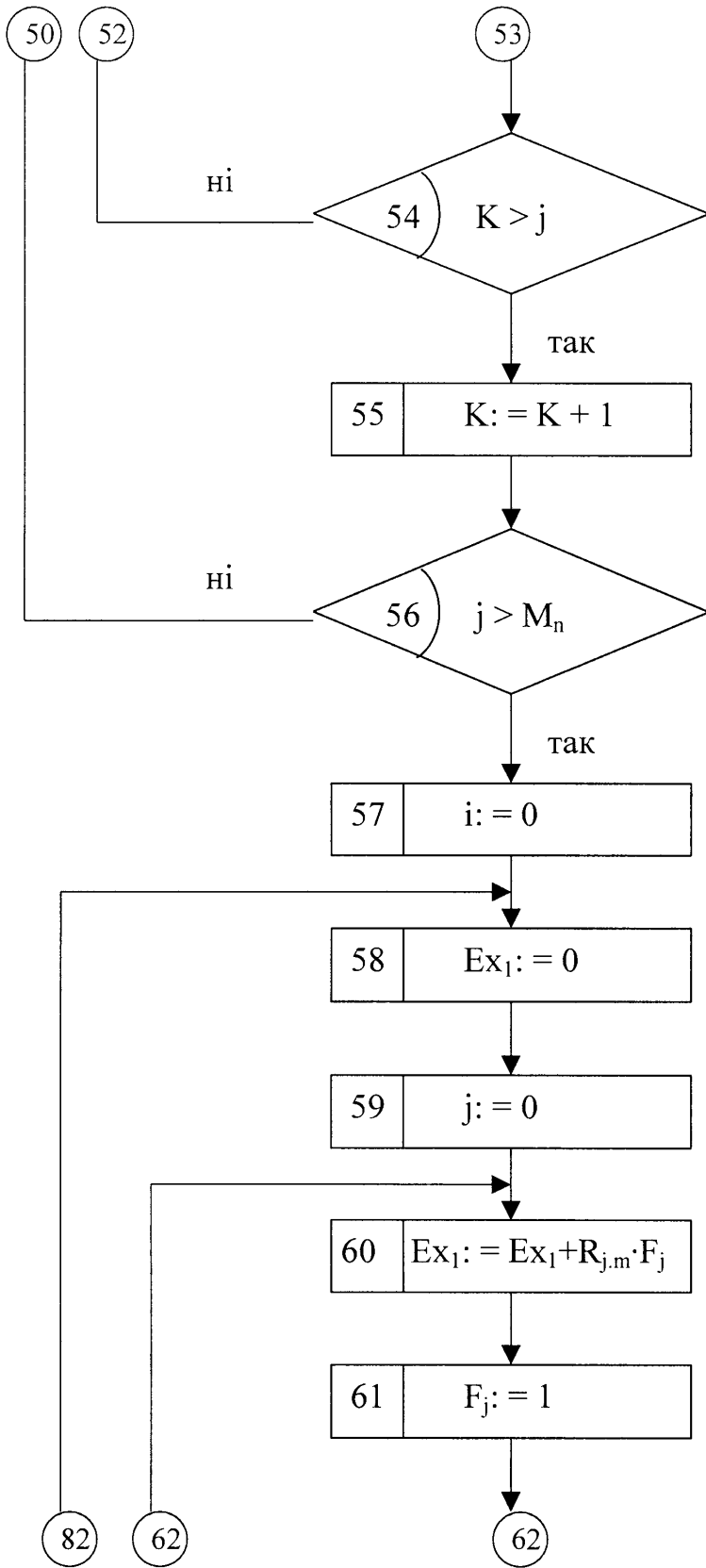


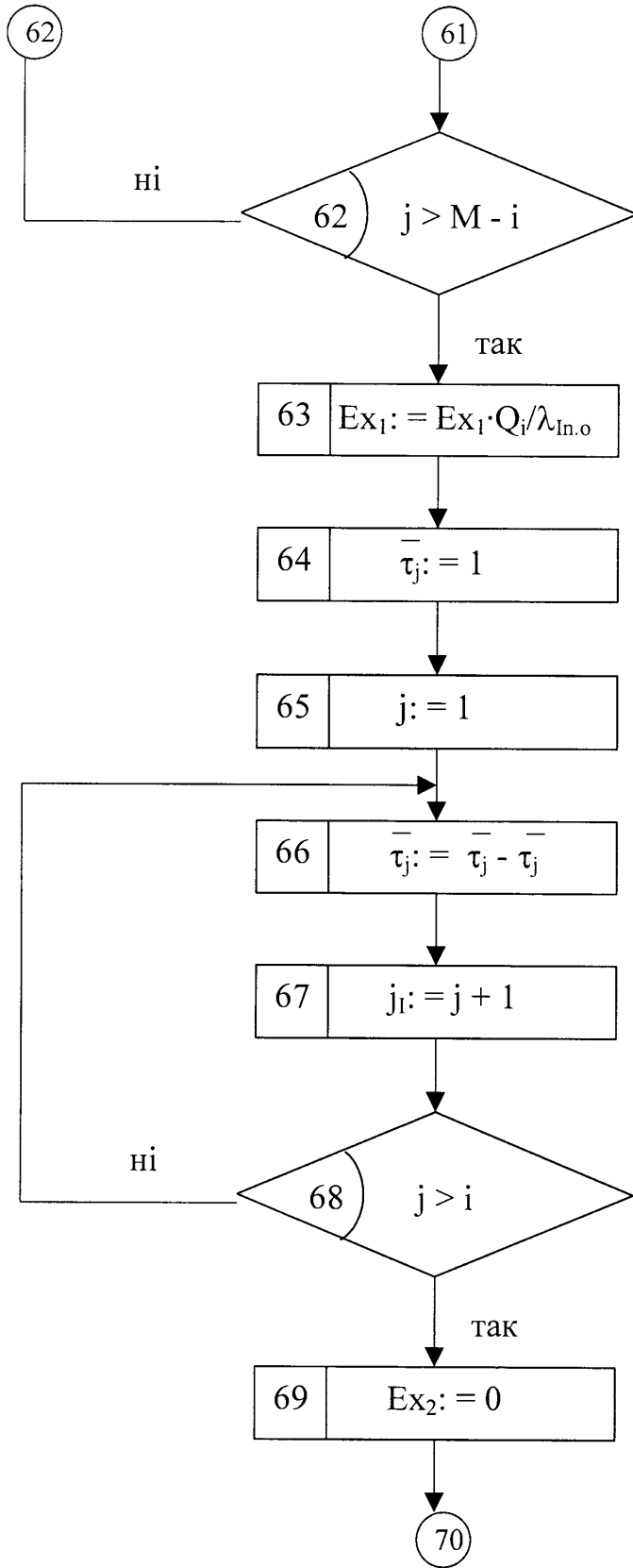




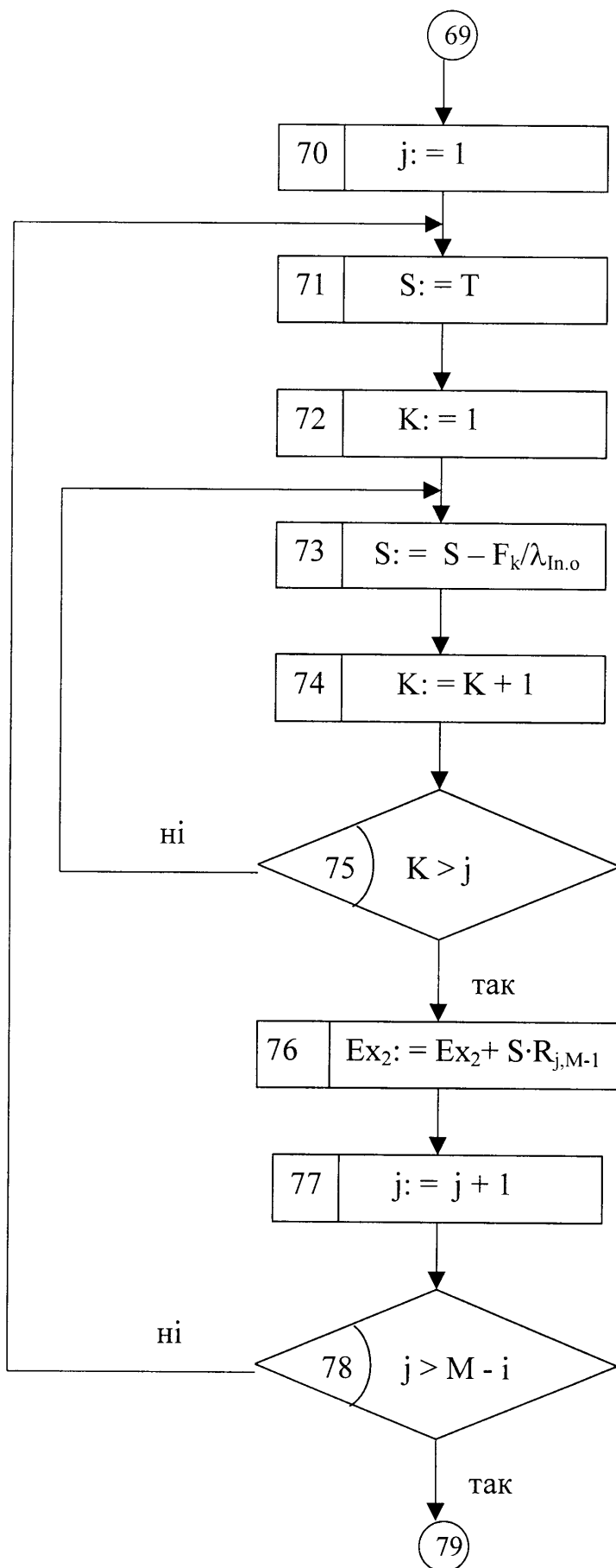


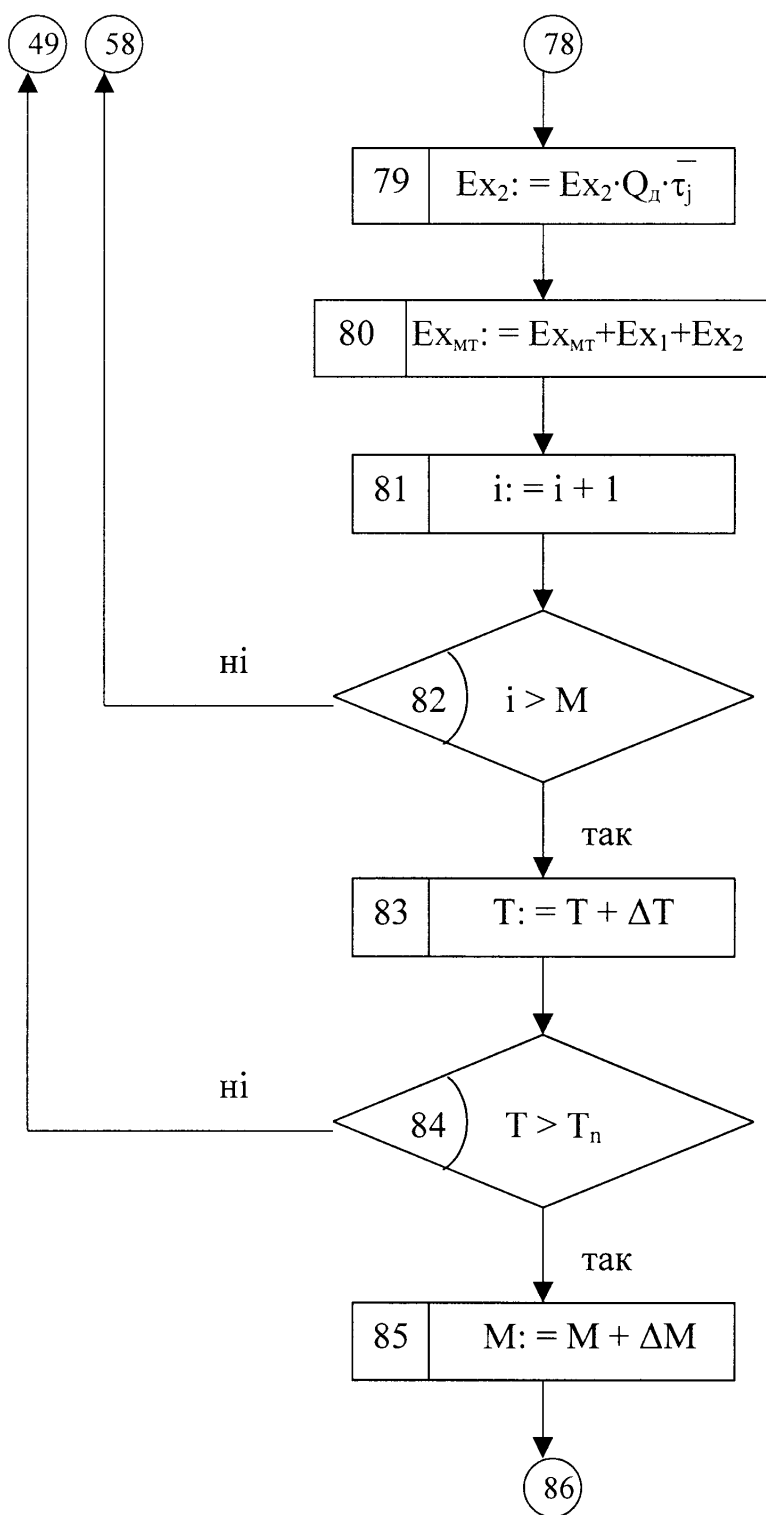


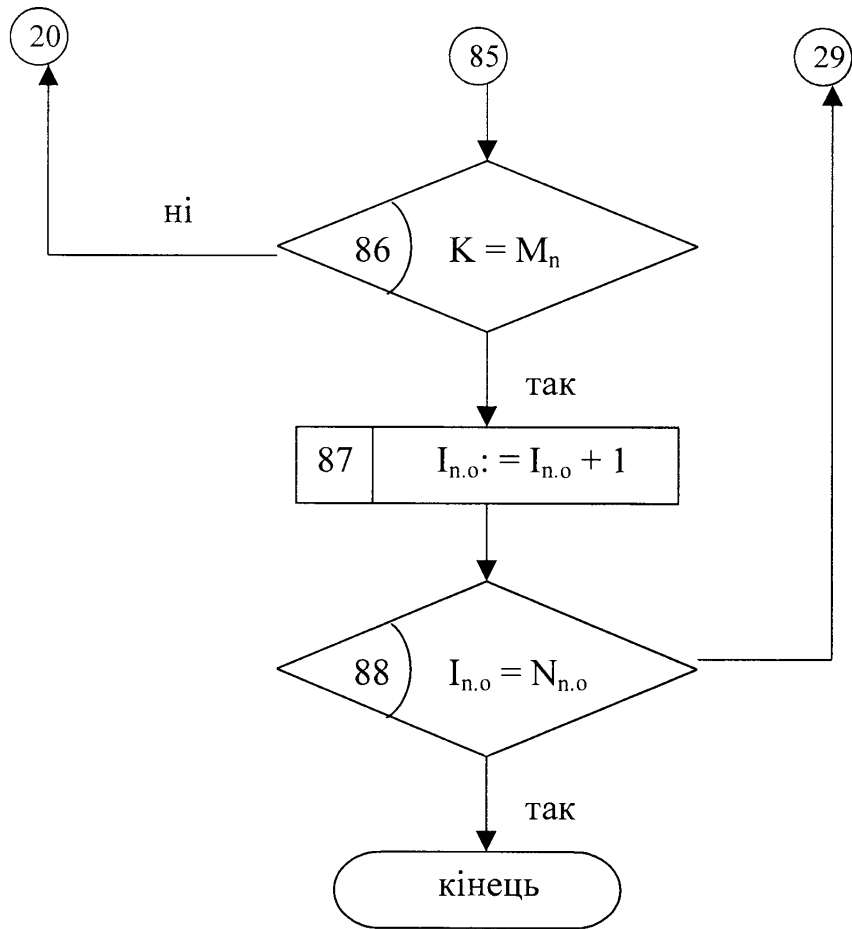












ДОДАТОК Б

БЛОК – СХЕМА РОЗРАХУНКУ ІМОВІРНІСНОГО ФУНКЦІОНАЛУ  
(ТЕХНІЧНОГО ПОКАЗНИКА)

