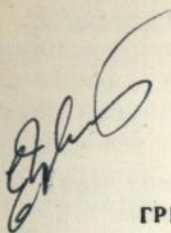


**КИЇВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ**



На правах рукопису

ГРИГОРОВСЬКИЙ ЄВГЕН ПАВЛОВИЧ

**МОДЕЛІ ТА МЕТОДИ
АВТОМАТИЗОВАНОГО УПРАВЛІННЯ
ПОТОКОРОЗПОДІЛОМ
У ТРУБОПРОВІДНИХ СИСТЕМАХ**

**05.13.07 — АВТОМАТИЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ
ПРОЦЕСІВ ТА ВИРОБНИЦТВ
(ТЕХНІЧНІ НАУКИ)**

**Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук**

КИЇВ — 1995

АВ 32.347

Дисертація є рукописом
Робота виконана на кафедрі електротехніки
і електроприводу Київського Державного
технічного університету будівництва і
архітектури

ЛНБ України ім.В.Стефаника



00754936 (Y)

Офіційні опоненти:

- доктор технічних наук,
професор Михайленко В.М.
- доктор технічних наук,
професор Романенко В.Д.
- доктор фізико-математичних
наук, професор Асельдеров З.М.

Провідна установа:

- Науково-дослідний інститут
будівельного виробництва

Захист відбудеться " 1 " *серпня* 1995 р. о *13* годині на
засіданні спеціалізованої Вченої Ради Д 01.18.03 в Київському
Державному технічному університеті будівництва і архітектури за
адресою: 252037, м.Київ, Повітрофлотський проспект, 31. *а. 406*

З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці КДТУБА

Автореферат розіслано " *28* " *квітня* 1995 р.

Вчений секретар
спеціалізованої Ради Д 01.18.03,
доктор технічних наук,
професор

Кулик

Д.В.Кулик

ЛНБ ім. В. Стефаника
АН України

АНОТАЦІЯ

Метою дисертаційної роботи є розробка методів моделювання технологічних процесів (ТП) і автоматизованого управління поточкорозподілом у трубопровідних системах (ТС) з урахуванням перехідних процесів і аварійних ситуацій в умовах невизначеності функціонування об'єкту управління (ОУ) і навколишнього середовища та рішення слабо формалізованих задач оптимізації у зв'язку з неповнотою інформації і математичного описання, які дають можливість скоротити непродуктивні витрати паливно-енергетичних ресурсів і забезпечити суттєве підвищення ефективності та якості роботи мережевих систем, що розглядаються у всіх режимах їх функціонування при забезпеченні максимальної надійності.

Для досягнення поставленої мети у роботі вирішені такі задачі:

- проведено системний аналіз науково-технічних проблем у ТС з усією сукупністю зовнішніх і внутрішніх функціональних зв'язків та взаємозв'язків між основними технологічними змінними при їх роботі з урахуванням перехідних процесів та аварійних режимів, що дозволило виявити фактори зовнішнього середовища, які впливають на ТС у кожному режимі їх роботи та визначити при цьому вхідні збурювальні діяння, технологічну постановку задач, мету і критерії оптимального управління;

- з позицій загальної теорії систем визначена структурна схема системного аналізу ТС;

- виділено підклас узагальнених мережевих систем та визначено методи їх представлення і перетворення;

- визначено математичні моделі процесів та типів задач оптимізації, розв'язання яких доцільно виконувати за алгоритмами, що враховують властивість інваріантності оптимальних рішень;

- запропоновано методи і алгоритми оптимального управління сталим детермінованим поточкорозподілом;

- проведено аналіз та синтез систем електричного моделювання перехідних процесів у ТС;

- на підставі математичного моделювання і теорії подібності розроблено комплекс технічних засобів (КТЗ), що дало можливість методом електричного моделювання виконати дослідження сумісної роботи елементів ТС;

- розроблено, створено і впроваджено аналого-цифрову елек-

тормодель ТС для дослідження сталих та динамічних режимів роботи ТС:

- розроблено методику визначення характеру перехідного процесу та його постійної часу;

- намічено методологію розв'язання задач управління перехідними процесами у ТС;

- визначено метод управління потокорозподілом у ТС та розроблено схему оптимального управління розподілом цільового продукту (ЦП) з урахуванням динамічних режимів;

- проведено синтез оптимального управління потокорозподілом ЦП у мережних системах водопостачання при аварійних режимах;

- розроблено алгоритмічне та програмне забезпечення задач оптимального управління потокорозподілом у ТС при всіх режимах її роботи;

- розроблено метод захисту ТС від гідравлічного удару;

- намічена загальна концепція рухливого управління у ТС при використанні артезіанських свердловин в умовах дефіциту ЦП.

Автор виносить на захист такі нові наукові результати:

- методологію моделювання ТП і оптимального управління режимами роботи ТС з урахуванням перехідних процесів, використання якої дало можливість сформулювати оптимізаційні алгоритми аналізу і синтезу ТС та постановку задач, що розглянуті з позицій розв'язання проблеми надійності її функціонування в умовах повної апіорної інформаційної спостережливості;

- метод перетворювання ТС з метою спрощування їх мереж;

- метод синтезу допустимої топології ТС, який задовольняє надійність постачання споживачам ЦП, що забезпечує потрібний рівень якості функціонування складних ТС;

- метод системного аналізу задач у ТС, що дозволив сформулювати вихідні положення для моделювання ТП з урахуванням перехідних процесів і, в цих умовах, визначити критерії оптимального управління режимами роботи системи та її елементів;

- методи гідравлічного і техніко-економічного розрахунків ТС, які дали можливість, на відзнаку від відомих методів, визначити характеристики технологічних параметрів з урахуванням реально існуючих мережних навантажень та провести аналіз ТС, спрямований на забезпечення пропускної спроможності трубопро-

відних мереж, а споживачів-ЦП:

- методи моделювання ТП при детермінованому потокорозподілу, які дозволили розв'язати задачу оптимального синтезу ТС по визначенню її структури з заданими характеристиками;

- постановку, алгоритм і методологію розв'язування задач синтезу систем управління (СУ) перехідними процесами, які мають місце у ТС;

- метод моделювання гідравлічного удару у ТС, який дає можливість визначити стійкість і економічність роботи активних елементів (АЕ), де йдеться про пошук оптимальних режимів роботи, що дозволяє з вимогливою імовірністю забезпечити стійкість роботи ТС та її керованість;

- метод захисту від гідравлічного удару;

- методи оцінки характеристик перехідних процесів у ТС та визначення постійних часу;

- методологію моделювання і алгоритм синтезу СУ активними регулюючими органами (АРО) у ТС з урахуванням перехідних процесів у системі;

- алгоритм і програми, які дозволяють оптимізувати процес управління режимами роботи ТС;

- постановку, алгоритми і методологію розв'язування задач прогнозування, перспективного планування розвитку ТС та стабілізації режимів подачі і розподілу ЦП, які відрізняються від відомих постановок і алгоритмів імовірнісним підходом при формулюванні цільової функції, синтезом управління обмеженої складності при регулярних та випадкових вхідних збурювальних діях.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність проблеми. Однією з проблем сучасної науки є розробка та впровадження у виробництво методів управління складними мережевими системами, що відносяться до великих кібернетичних систем. В умовах розвитку паливно-енергетичного комплексу, а також його територіальних та галузевих підсистем з урахуванням інтенсивного розширення промислового і житлового будівництва та впровадження АСУ ТП, питання раціональної експлуатації мережевих СРП набуває особливого значення. Надзвичайно актуальну задачу при цьому складає не тільки узагальнення існуючих методів аналізу і синтезу ТС, які працюють у сталому режимі, а і розробка

нових, орієнтованих на засоби обчислювальної техніки, методів, що дозволяють моделювати ТП, а також методів автоматизованого управління потокорозподілом з урахуванням динамічних режимів.

Існуючі методи управління потокорозподілом у ТС ще не є найбільш ефективними засобами раціонального ведення ТП. Традиційний методичний арсенал не пристосований до розв'язування нових задач проблеми. Він не тільки не забезпечує рух вперед, а і є зараз вже гальмом на шляху широкого впровадження автоматизованого проектування, моделювання ТП, створення АСУ водо-, тепло-, газопостачанням, а також АСУ ТП для різних агрегатів, що є складовими ТС, наприклад, АСУ електроприводами насосних станцій (АСУ ЕП), електрифікованих РО та інших робочих машин ОУ.

Специфіка великих систем, які досліджуються у роботі – наявність збурювальних діянь, що неконтролюються та неповнота інформації на різних рівнях функціонування, утворює визначні труднощі при управлінні режимами роботи ТС з урахуванням перехідних процесів та їх окремих випадків – гідравлічних ударів, які є несталим режимом руху рідини, що характеризується появою поперемінно високого та низького тисків.

В теперішній час накопичено значний досвід з проектування та експлуатації ТС. Але методи, що розроблено для моделювання ТП, проектування і управління режимами роботи усього комплексу ТС не охоплюють ще цілу низку оптимізаційних задач, вони є детермінованими, не враховують реальні умови та режими роботи ТС, коли є перехідні процеси, неконтрольовані збурювання, неповнота інформації та невизначеність як ОУ, так і навколишнього середовища.

Таким чином, актуальним є розв'язування задач моделювання ТП, створення нових моделей та розробка методів автоматизованих розрахунку і управління потокорозподілом у ТС, які працюють у динамічних режимах і в умовах, коли задачі управління слабо формалізовані.

Методи дослідження. Дослідження базувались на використанні теорії графів, методів математичного програмування, теорії імовірностей, математичної статистики, теорії надійності, теорії випадкових процесів, теорії інформації, теорії моделювання, теорії подібності, метода рішення систем нелінійних рівнянь, методів системного аналізу та методу оптимального управління.

Наукова новизна полягає в тому, що вперше розв'язана наукова проблема утворення теоретико-методологічних основ теорії

моделювання ТП у складних мережевих ТС водо-, тепло-, газопостачання і методів автоматизованого управління поточкорозподілом з урахуванням перехідних процесів і аварійних ситуацій в умовах невизначеності функціонування ОУ і навколишнього середовища, що є новим напрямком в розв'язуванні слабоформалізованих задач оптимального управління.

При цьому розроблено:

1. Основи теорії і методи моделювання ТП у ТС з імовірнісним характером розподілу ЦП.

2. Основи теорії і методи моделювання ТП з несталим поточкорозподілом у ТС, що функціонують в динамічних режимах, які обумовлені наявністю суттєвих випадкових факторів, невизначеністю характеру та умов виникнення збурювальних діянь.

3. Основи теорії і методи управління розподілом ЦП у ТС з імовірнісним характером низки її змінних, що забезпечує реальне підвищення надійності постачання споживачів якісним ЦП за рахунок ефективності управління всіма режимами роботи ТС, скорочення непродуктивних витрат матеріальних і паливно-енергетичних ресурсів, а також більш раціонального використання енергії та внутрішніх резервів.

Практична цінність одержаних результатів полягає в тому, що основні висновки та пропозиції по моделюванню ТП і методам автоматизованого управління у ТС, які викладено у роботі, знайшли реалізацію в практиці експлуатації мережевих систем, у науково-дослідних і проектно-конструкторських організаціях при проектуванні, реконструкції та експлуатації систем водо-, тепло-, газопостачання і виявились вони ефективними при розв'язуванні задач оптимізації в умовах неповної інформації про роботу ТС з урахуванням перехідних процесів та при розробці нових АСУ, які впроваджуються у виробництво.

Теоретичні та наукові положення і пропозиції, висновки і рекомендації, що викладено у дисертації, монографіях, навчальних та методичних посібниках, авторських винаходах, статтях і інших публікаціях використовуються і у навчальному процесі при підготовці фахівців та науково-педагогічних кадрів будівельного профілю.

Реалізація результатів роботи. Розроблені методи моделювання ТП і автоматизованого управління поточкорозподілом у ТС, програмно-апаратні та технічні засоби, алгоритми та математичне забезпечення використані в Українському Державному проектному і

науково-дослідному інституті по газопостачанню, теплопостачанню та комплексному упорядковуванню міст і селищ України (УкрНДІінжпроект, м. Київ), Українському Державному Головному проектно-розвідувальному і науково-дослідному інституті (УкрДіпроводгосп), Державному проектному інституті (Укрводоканалпроект), Центральній контрольно-дослідній і проектно-розвідувальній водній лабораторії (ШКДПВЛ), тресту "Укрчерметпромводопостачання" (Донецьк), Укрпівнічдіпромкомунбуд (Одеса) та його Кримські філії у м. Симферополь, Груздіпрокомунбуді, тощо. Розроблені пакети алгоритмічних і програмних модулів та інші матеріали досліджень автора включені у склад САПР і АСУ ТП водо-, теплопостачання таких міст як Київ, Херсон, Феодосія, Симферополь, Донецьк, тощо.

Частина результатів досліджень, розроблених методів та алгоритмів по моделюванню і оптимізації є складовою монографій та навчальних посібників, які використовуються у навчальному процесі Київського Державного Технічного університету будівництва і архітектури (КДТУБА), Дніпропетровського інженерно-будівельного інституту (ДІБІ), Санкт-Петербурзького інституту інженерів залізничного транспорту та інших вузів СНД.

Апробація роботи. Основні результати досліджень, що містяться у дисертаційній роботі, доповідались автором на:

1. IV Республіканські конференції з системотехніки, Київ, 1969;
2. Науково-технічному семінарі з перетворення, обробки та контролю інформації автоматизованими засобами, Таганрог, 1974;
3. Республіканському науково-технічному семінарі "Оптимізація автоматизованих систем і технологічних процесів", Київ, 1976;
4. Науково-технічному семінарі "Оптимізація автоматизованих систем і технологічних процесів"/Шифр К80-0210/, Київ, 1980;
5. Науково-технічній конференції "Міськбудівельні та соціально-економічні задачі розвитку іноземного туризму в СРСР", Одеса, 1982;
6. Всесоюзному семінарі "Оптимізація складних систем", Вінниця, 1983;
7. Науково-технічній конференції "Регіональні проблеми формування турисько-рекреаційних систем", Київ, 1984;
8. Науково-практичному семінарі "Розвиток механізації і автоматизації у будівництві", Київ, 1988;
9. Всесоюзній школі-семінарі "Математичні моделі і методи оптимального синтезу трубопровідних та гідравлічних систем, що розвиваються", Туапсе, 1989;
10. Щорічних науково-технічних конференціях КДТУБА, Київ, 1964-1994.

Публікації. Основні положення дисертації опубліковано у 7 монографіях, 6 навчальних посібниках, 43 друкованих наукових статтях, 21 депонованих наукових звітах з НДР, довідниках та низки методичних розробок. Одержано 6 авторських свідоцтв на винахід.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається із вступу, 6 розділів, висновку, списку основних використаних джерел з 202 найменувань та додатків. Зміст роботи викладено на 470 сторінках друкованого тексту, у тому числі 147 сторінок додатку, ілюстрованого 90 малюнками і 21 таблицею.

У вступі розглядаються питання необхідності підвищення темпів та ефективності розвитку економіки в умовах подальшого зростання паливно-енергетичного потенціалу шляхом безперервного удосконалення методів моделювання і управління у ТС, які функціонують з урахуванням перехідних процесів. Обґрунтована актуальність проблеми, подаються мета і задачі дослідження, наукова новизна та впровадження, а також основні положення, що виносяться до захисту.

У першому розділі подано аналітичний огляд наукових праць з моделювання та питань управління роботою ТС, системний аналіз науково-технічних проблем, характеристика мережевих систем та їх раціональна структура з позицій управління. Виділяється підклас узагальнених систем для їх комплексного дослідження на підставі загальної теорії систем і теорії графів. Визначені задачі, мета і критерії оптимального управління в умовах функціонування АСУ.

Досліджено функціональні взаємозв'язки між основними технологічними параметрами, що дало можливість розробити моделі і методи управління поточкорозподілом у ТС.

Другий розділ присвячено проблемам моделювання сталого безперервного поточкорозподілу у ТС. У ньому подається математична модель, яка дозволила провести комплексні дослідження детермінованого режиму роботи цієї системи, імовірнісного поточкорозподілу в ній та оптимізації режимів роботи у ТС на підставі імітаційного моделювання з використанням ЕОМ. Користуючись цими дослідженнями та теорією подібності розроблено електричну модель ТС.

У третьому розділі викладено питання розробки методів і алгоритмів оптимального управління подачею та розподілом ЦП при сталому режимі роботи та імовірнісному поточкорозподілі. Розроблено програмне забезпечення гідравлічних і техніко-економічних

розрахунків у ТС та викладаються методи розв'язування оптимізаційних задач в умовах функціонування АСУ ТП.

У четвертому розділі розглядається математичне моделювання несталих потокорозподілів у ТС. Сформульовані технологічна та математична постановки задач, мета і критерії оптимального управління перехідними процесами, екстремальні умови та обмеження. Розроблено методику та програмне забезпечення управління розрахунками перехідних процесів на ЕОМ.

П'ятий розділ присвячено аналізу та розробці методу синтезу систем електричного моделювання перехідних процесів у ТС. Подається метод розв'язання рівнянь довгої електричної лінії з позицій реалізації його для моделювання перехідних процесів у ТС та рішення задач оптимального управління несталими режимами у реальних трубопровідних мережах. Викладаються метод визначення постійної часу, що вказує на характер протікання перехідного процесу та методика оцінки тривалості такого режиму при різних з'єднаннях елементів ТС.

У шостому розділі розглядається питання синтезу оптимального управління потокорозподілом у мережевих ТС водопостачання у режимі аварійних ситуацій. Подаються розроблені автором теоретичні передумови гідравлічного удару, його математична модель, що дало можливість провести алгоритмізацію і імітаційне моделювання цього процесу та розробити методи аналізу і синтезу реакції СУ на перехідні процеси у мережах при аварійних режимах.

У висновку узагальнено основні результати досліджень.

У додатках подано документи, що підтверджують впровадження результатів досліджень, приводяться характеристики розробленого алгоритмічного і програмно-математичного забезпечення задач, що розглядаються у роботі, а також низка прикладів моделювання та розв'язування оптимізаційних задач управління режимами роботи у реальних мережах ТС в умовах недостовірного математичного описання та інші матеріали з поставленої проблеми.

З М І С Т Р О Б О Т И

Існуючі методи застосовують до розв'язувань задач оптимізації сталих режимів роботи ТС з неповною інформацією без урахування реальних умов і наявності перехідних процесів.

Сучасні тенденції збільшення ефективності проектування ТС,

як ОУ і розв'язування задач моделювання ТП у системах водо-, тепло-, газопостачання, що працюють у перехідних режимах, вимагають розробки нових та удосконалення існуючих методів моделювання мережевих систем та їх споруд, розробки нових методів управління потокорозподілом ЦП, а також принципіально нового підходу до проектування і експлуатації ТС з урахуванням роботи останніх в умовах несталого руху ЦП.

Загальне розв'язування проблеми моделювання і управління ТП у складних ТС включає 3 аспекта:

1. Розробка узагальнених моделей ТС і таких методів управління, що є працездатними у конкретних умовах неповноти інформації і дають можливість одержувати рішення, близьке до оптимального з контрольованою величиною достовірності.

2. Розробка моделей ТП і методів, що забезпечують ефективне управління перехідними процесами у ТС у реальному масштабі часу.

3. Синтез ТС при управлінні різними перехідними процесами, що визначається на етапах її постійного динамічного функціонування.

На базі математичної загальної теорії систем у роботі побудована модель ТС, що є при системному аналізі необхідним етапом дослідження.

ТС складається з трьох взаємодіючих підсистем:

1) Джерела тиску або витрат /насосні станції - (н.с.), компресорні станції - (к.с.), тощо зі своїми робочими машинами та електроприводами/, що забезпечують приток ЦП та енергії у систему; 2) Споживачі ЦП; 3) Трубопровідна мережа. Виділення штучним шляхом ТС з ієрархічної структури автоматизованої системи управління виробництвом (АСУВ) дало можливість виконати її декомпозицію та визначити входні та вихідні змінні, керовані змінні і змінні, що спостерігаються. Стан міської водопровідної мережі визначається вектором входних змінних $\vec{W} = (\vec{W}_1, \vec{W}_2, \dots, \vec{W}_n)$, які характеризують координати РО системи та вектором вихідних змінних $\vec{S} = (\vec{q}, \vec{h})$. Останні характеризують стан потокорозподілу у мережі. Стан ЦП при цьому характеризується вектором $\vec{Y} = (\vec{Y}_1, \vec{Y}_2, \dots, \vec{Y}_n)$.

У загальному вигляді стан ТС водопостачання визначається деяким вектором $\vec{P} = (\vec{S}, \vec{Y})$, який може змінюватись при експлуатації системи під впливом збурювальних діянь, які характеризуються векторами $\vec{Z} = (\vec{Z}_1, \dots, \vec{Z}_n)$ та $\vec{K} = (\vec{K}_1, \dots, \vec{K}_n)$.

Взаємозв'язок усіх змінних СУ символічно моделюємо матема-

$$\bar{F}(\bar{S}, \bar{Y}, \bar{W}, \bar{Z}, \bar{K}, \bar{U}) = 0 \quad (1)$$

Випадкова природа режиму подачі та споживання ШП призводить до необхідності розглядати потоки у ТС з імовірнісної точки зору, що відрізняється від попередніх досліджень.

У прийнятій СУ вектор $\bar{Z}(t)$ визначає вимоги середовища і являє собою

$$\bar{Z} = \langle \vec{q}_{\text{вух}}^{(\text{потре})}, \vec{p}_{\text{вух}}^{(\text{потре})} \rangle$$

де $\vec{q}_{\text{вух}}^{(\text{потре})}$ і $\vec{p}_{\text{вух}}^{(\text{потре})}$ – вектори потрібних поставок ШП споживачам і мінімально допустимих тисків на їх входах, відповідно. Вектор $\bar{Z}(t)$ характеризує збурювання ОУ, що викликається відмовами елементів ТС. Вектор $\bar{K}(t)$ являє собою сигнал збурювання, що викликається відмовами, які не залежать від ТС.

Якщо вектор $\bar{Y}(t)$ не відповідає потрібному вектору $\bar{Y}^*(t)$, то СУ повинна виконати у повній мірі свої функції, тобто проявити управляючу дію $\bar{U}^*(t)$ на ОУ, щоб вектор $\bar{Y}(t)$ максимально наблизився до вектору $\bar{Y}^*(t)$, виконавши в умовах функціонування АСУ ТП водопостачання мету управління – забезпечення надійного постачання ШП населення і підприємств з мінімальними експлуатаційними витратами.

Модель структури ТС задається моделюючим графом, що складається з множини вузлів. Параметри вузла графа: Q_j – витрата ШП у вузлі j ; P_j – значення тиску у вузлі j ; H_i – діючий напір; $H_{\text{напр}}$ насоса, що є різниця напорів у вузлах після насоса, наприклад H_k і перед ним H_j визначається як $H_{jk} = H_k - H_j$.

Параметри трубопровідної мережі: q_i – витрата ШП на i -й вітці; $h_i^{(6)}$ – втрата напору на вітці, що пов'язана з подоланням тертя; d_i – внутрішній діаметр труби; L – довжина вітки графа; κ_i^6 – опір i -тої вітки, де відсутні пасивні регулюючі органи (ПРО); $P_{\text{in}}, P_{\text{ik}}$ – тиск ШП, відповідно, на початку та в кінці i -тої вітки (іноді у роботі ці параметри будуть позначатися через P_1 та P_2); $\kappa_i = \kappa_i^{(6)} + \kappa_i^{(n)}$ – гідравлічний опір вітки; $h_i^{(n)}$ – втрата тиску на вітці, що має ПРО; h_i – перепад тиску на вітці ТС.

Втрата напору в лініях водопровідних мереж визначається формулою

$$h_{\omega} = \text{sgn} \cdot q \cdot S |q|^m - \text{sgn} \cdot q \cdot S_0 |q|^m \quad (2)$$

Тут $S = S_0 L$ – гідравлічний опір лінії; S_0 – питомий опір лінії; m – показник степеня (в практиці розрахунків $m = 2$).

Перепад напорів на вітках ТС визначається за формулою:

$$h_i = h_i^{(b)} + h_i^{(n)} - H_i, \quad (3)$$

а складові цього перепаду мають вигляд

$$h_i^{(b)} = \operatorname{sgn} q_i r_i^{(b)} q_i^2; h_i^{(n)} = \operatorname{sgn} q_i r_i^{(n)} q_i^2; H_i = a_i + b_i q_i + c_i q_i^2, \quad (4)$$

де a_i, b_i, c_i – коефіцієнти, що залежать від типу АЕ.

При моделюванні перехідних процесів у ТС газопостачання високого та середнього тиску доцільно користуватися виразом перепаду тиску:

$$P_1^2 - P_2^2 = \alpha M^2 L, \quad (5)$$

де P_i – абсолютний тиск газу; α – фіктивний питомий опір; M – масова витрата.

При визначенні методів моделювання ТП і автоматизованого управління потокорозподілом у ТС виникає потреба розв'язування низки задач, характерними з яких є такі:

Задачи першого типу – найбільш прості і розповсюджені. Вони формулюються так: "Відомо $N-1$ вузлових витрат та опори усіх ділянок. Знайти ділянкові витрати".

Задача цього типу зводиться до розв'язування системи рівнянь з $T = (N-1) + M$. Тут $N-1$ є кількість рівнянь, що задовольняють першій властивості ТС (рівнянню балансу витрат по вузлам) і дорівнює вона кількості контурів (кілець) мережи.

Ці рівняння мають вигляд

$$\left. \begin{aligned} \sum_{d_j \in D_i} q_{d_j} - Q_i &= 0, N-1 \text{ рівнянь;} \\ \sum_{r \in R} (\operatorname{sgn} q_r) S_r |q_r|^m &= 0, M \text{ рівнянь.} \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Якщо за невідомі прийняти втрати напору, то задача першого типу зведеться також до розв'язання системи з рівнянь:

$$\left. \begin{aligned} \sum_{d_j \in D_i} (\operatorname{sgn} h_{d_j}) P_{d_j} |h_{d_j}|^{1/m} - Q_i &= 0, N-1 \text{ рівнянь;} \\ \sum_{r \in R} h_r &= 0, M \text{ рівнянь.} \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

У задачах другого типу заданими є напори в одних вузлах, невідомими тут є витрати. При розв'язуванні цих задач користуємося першим варіаційним принципом, згідно якому функція вузлових напорів $T(H)$ має мінімум.

Задачі третього типу – задачі про мережи, що мають нетипові ділянки (насоси) та специфічні вузли. При розв'язанні таких задач краще користуватися такими функціями та рівняннями, де вузлові напори даються у явному вигляді. Цей вимозі задовольняє система з $N - 1$ рівнянь виду

$$\sum_{d_j \in D_j} q_{dj} (H_d - H_j) - Q_j (H_j) = 0. \quad (8)$$

Техніко – економічні задачі – це задачі, характерним показником, при розв'язанні яких є приведена вартість, що являє собою суму будівельної вартості K та річних експлуатаційних витрат E , помножених на нормативний термін окупності T_0 (звичайно $T_0 = 8$ років):

$$\Pi = K + ET_0. \quad (9)$$

Математична модель сталого детермінованого потокорозподілу, має вигляд:

$$\left. \begin{aligned} \sum_{i=1}^n a_{ji} q_i &= Q_j, \quad j=1, \dots, V-1; \quad \sum_{j=1}^V Q_j = 0 \\ \sum_{i=1}^n b_{ji} (\operatorname{sgn} q_i r_i q_i^{\epsilon} - H_i) &= 0, \quad j=V, V+1, \dots, n \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

При плануванні режимів технологічні обмеження на змінні параметри визначаються так:

- 1) обмеження на продуктивність АЕ

$$\left. \begin{aligned} Q_{j\min} &\leq Q_j \leq Q_{j\max}, \quad j \in P_{\Delta}; \\ q_{i\min} &\leq q_i \leq q_{i\max}, \quad q \in V_n; \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

- 2) обмеження на гідравлічні опори віток з ПРО

$$r_{i\min} \leq r_i \leq r_{i\max}, \quad j \in P_{\text{про}} \quad (12)$$

де $P_{\text{про}}$ – підмножина віток, що мають ПРО

- 3) обмеження на допустимі тиски у вузлах мережи

$$P_{j\min} \leq P_j \leq P_{j\max}, j \in V. \quad (13)$$

тут $V = V_n \cup V_p \cup V_n$ - множина вузлів графу, що розбита на підмножини: V_n - підмножина вузлів, де розміщені джерела; V_p - підмножина вузлів розгалуження; V_n - підмножина вузлів, де розміщені споживачи.

Виконуючи системи обмежень, що викладені у п.1.2,3 мінімізуємо цільову функцію

$$N = \sum_{j \in V_n} (\alpha Q_j + \beta Q_j^2 + \gamma Q_j^3) + \sum_{i \in P_{n3}} (\alpha q_i + \beta q_i^2 + \gamma q_i^3) \rightarrow \min \quad (14)$$

при імовірнісному поточкорозподілі ЦП, маючи на увазі, що існуючі випадкові величини пов'язанні з величинами, що прогножуються, співвідношеннями

$$P_j \div \delta_j P_j^*, q_i \div \alpha_i q_i, Q_j \div \beta_j Q_j^*, \quad (15)$$

у яких детерміновані параметри $\alpha_i, \beta_i, \delta_i$ відображають зміну режиму роботи ТС у зв'язку з призначенням споживачам нових величин середнього споживання. Беручи математичне очікування при імовірній постановці задачі моделювання ТП, показано, що коефіцієнти зміни дисперсії випадкових величин пропорційні квадратам зміни середніх значень.

Скориставшись математичною моделлю та теорією подібності, коли існує математична аналогія між рівняннями, що описують рух ЦП у гідравлічній мережі та розподіл струму в електричному колі

$$\left. \begin{aligned} \sum q_{j\delta} - \sum q_{j\delta} - Q_j &= 0; \\ \sum (\operatorname{sgn} q) S q^2 &= 0; \end{aligned} \right\} \left. \begin{aligned} \sum I_{j\delta} - \sum I_{j\delta} - I_j &= 0; \\ \sum (\operatorname{sgn} I) \alpha I^2 &= 0; \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

автором розроблено та створено: а) пристрій для електричного моделювання водо-, тепло-, газопровідних ТС; б) пристрій для моделювання нелінійних мережевих систем; в) пристрій для моделювання за змінним струмом витрат у ТС; г) пристрій для моделювання по постійному струму витрат; д) аналог турбомашини; е) інтегруючий пристрій для моделювання напірно-регулюючих споруд, що дало можливість моделювати окремі елементи ТС та імітувати вцілому ТП у ТС при різних режимах її роботи.

На підставі проведеного аналізу ОУ і його режимів роботи та у зв'язку з впровадженням автоматизованого управління, як поточкорозподілом ЦП так і іншими ТП у ТС виявився додатковий комплекс таких задач моделювання та управління як: а) задачі

централізованого оперативного контролю: б) задачі оперативного обліку; в) задачі розрахунків і аналізу основних техніко-економічних показників; г) задачі управління підземними джерелами ШП; д) задачі координованого управління декількома джерелами ШП групової системи водопостачання; е) задачі оперативного управління системами подачі та розподілу ШП.

Результати аналізу дали можливість розробити методи і алгоритми моделювання ТП, автоматизації розрахунків та оптимального управління потокорозподілом у ТС, що базуються на використанні моделі (10). Задачі оптимізації і управління потокорозподілом у ТС подаються у вигляді математичної моделі

$$\begin{aligned} \sum_{i \in I} q_{ij} - Q_i &= 0 \\ \sum Q_i &= 0 & i = 1, 2, \dots, N \\ Q_i &\leq Q_i \leq Q_i^{\beta} & q_{ij} = f(r_{ij}, H_i, H_j) \\ H_i^{\alpha} &\leq H_i \leq H_i^{\beta} & (17) \\ q_{ij}^{\alpha} &\leq q_{ij} \leq q_{ij}^{\beta} & C(H_i, Q_i, I_{i=1,2,\dots,mon} q_i) \rightarrow \min \end{aligned}$$

У такій постановці ця задача є задачею нелінійного програмування з обмеженнями. При розв'язанні цієї задачі методом штрафних функцій, вона теж зведена до задач нелінійного програмування без обмежень.

У цьому випадку цільова функція має вигляд:

$$\begin{aligned} C(H_i, Q_i, I_{i=1,2,\dots,mon} q_{ij}, I_{j=1,2,\dots,n}) = & C + \sum_{i=1}^n (\sum_{j=1}^n q_{ij} - Q_i)^2 + (\sum_{i=1}^n Q_i)^2 \\ & + r_0 \left(\sum_{i=1}^n \frac{1}{H_i - H_i^{\alpha}} + \frac{1}{H_i^{\beta} - H_i} \right) + \sum \frac{1}{q_{ij} - q_{ij}^{\alpha}} + \frac{1}{q_{ij}^{\beta} - q_{ij}} + \\ & \sum \left(\frac{1}{Q_i - Q_i^{\alpha}} + \frac{1}{Q_i^{\beta} - Q_i} \right) \text{ при умові } \lim \bar{C} \rightarrow \min \end{aligned} \quad (18)$$

Оцінка результатів оптимального управління за розробленим алгоритмом визначається аналізом "нев'язок" з умови

$$\delta = \sum (Q_i - \sum_{i \in I} q_{ij})^2 \rightarrow 0. \quad (19)$$

Розв'язання вважається одержаним, при значенні $\delta \leq 0.01$, що відповідає вимогам "Будівельних норм та правил".

При експлуатації ТС, враховуючи випадковий характер споживання ШП, постійно виникають збурювальні діяння $\bar{Z}(t)$ що залежать від самої ТС, а іноді і діяння, які не залежать від неї.

У останньому випадку виникає суттєвий перехідний процес, що характеризується несталим рухом ЦП. При цьому задачу формулюємо так: нехай на деякому відрізку часу від t до T відомі всі вхідні величини, тобто відома векторна функція

$$\bar{X}(t) = [\bar{X}_1(t), \bar{X}_2(t), \dots, \bar{X}_m(t)]$$

Треба знайти: в одному випадку - вектор вихідних величин

$$\bar{Y}(t) = [\bar{Y}_1(t), \dots, \bar{Y}_n(t)]$$

як функцію часу у часовому інтервалі (t_0, T) : у другому випадку - $\bar{X}(t)$ і вектор показників внутрішнього стану системи $\bar{Z}(t)$, а коли виникає гідравлічний удар, - визначити вектор

$$\bar{S}_i(t) = \bar{Z}_i(t) + \bar{K}_i(t)$$

Основні рівняння, що пов'язують вхідні і вихідні величини, складаються для кожної ситуації за допомогою математичної моделі у вигляді

$$\left. \begin{aligned} -\frac{\partial p}{\partial x} - \rho \left(\frac{\partial V}{\partial t} + \frac{\lambda}{8\delta} V|V| \right); \\ -\frac{\partial p}{\partial t} - \rho c^2 \frac{\partial V}{\partial x} = K \frac{\partial V}{\partial x} \end{aligned} \right\} \quad (20)$$

де ρ - середня по перерізу потоку щільність рідини, V - середня швидкість течії у перерізі, C - швидкість звуку, що враховує стислість рідини і пружність стінок труб для капельної рідини та газу, що течуть по жорсткій трубі, K - приведений модуль об'ємного стиснення, δ - гідравлічний радіус перерізу, λ - коефіцієнт опору у формулі Дарсі-Вейсбаха.

Позначивши $\lambda/8\delta V = 2\alpha$, де α - деякий безрозмірний коефіцієнт, що залежить від форми перерізу та товщини стінок, одержимо, при умові дозвукових швидкостей, коли можна знехтувати зміною швидкісних напорів, лінійаризовану систему рівнянь для функцій p, V , p - масової швидкості і тиску, що і являє собою математичну модель у вигляді

$$\left. \begin{aligned} -\frac{\partial p}{\partial x} - \frac{\partial}{\partial t} (\rho V) + 2\alpha (\rho V); \\ -\frac{\partial p}{\partial t} = c^2 \frac{\partial (\rho V)}{\partial x} \end{aligned} \right\} \quad (21)$$

Ці рівняння називають телеграфними, так як вони зус-

трічаються у задачах розповсюдження електричного струму у кабельних мережах і вони покладені в основу електромоделювання.

Розв'язання задач динаміки велось при початкових умовах коли

$$t=0, V=0, P=0 \quad (22)$$

Граничні умови при цьому сформульовані у вигляді

$$\left. \begin{aligned} x=0, P &= \varphi(t) \\ x=l, V+h \frac{dV}{dx} &= f(t) \end{aligned} \right\} \quad (23)$$

де $\varphi(t)$, $f(t)$ - відомі функції, h - позитивна постійна, що характеризує тип камери при її наявності. При відсутності камери $h=0$. При умові, якщо підрозумівати під P і V їх надмірні значення над сталим, що існувало при $t < 0$,

$$\varphi(t)=0, f(t)=0 \text{ для } t \leq 0.$$

У цьому випадку задача формулюється так: нехай $Q(t)$ - змінне навантаження (сумарне на протязі періоду часу $[0, T]$) на ТЧ або її вузол з n трубопроводів, що живлять розподільну мережу та споживачів. Позначемо через $q_i(t)$ відому змінну за часом продуктивність i -го трубопроводу. На функцію $q_i(t)$ накладемо такі обмеження:

$$\sum_{i=1}^n q_i(t) = Q(t) \quad 0 \leq t \leq T, \quad (24)$$

$$0 \leq q_i(t) \leq \tilde{q}_i \quad (i=1, 2, \dots, n), \quad (25)$$

$\tilde{q}_i$ - максимально допустима пропускна спроможність трубопроводу. При розділенні сумарного навантаження між базовим і допоміжним трубопроводами цільова функція виглядає як

$$F = \sum_{i=1}^n S_i[q_i(t)] dt \rightarrow \min., \quad (26)$$

де S_i - функція залежності зведених витрат, i -го трубопроводу від його продуктивності $q_i(t)$. Маючи на увазі (24), цільову функцію (26) перепишемо так:

$$F = \sum_{i=1}^n \int_0^T S_i[q_i(t)] dt + \int_0^T S_n[Q(t) - \sum_{i=1}^{n-1} q_i(t)] dt.$$

а з урахуванням низки припущень ця цільова функція і комплекс обмежень (24,25) будуть мати вигляд

$$F = \sum_{j=1}^m \Delta t_j \sum_{i=1}^n S_i(q_{ij}); \quad (27)$$

$$\sum_{i=1}^n q_{ij} = Q_j \quad (j=1,2,\dots,m); \quad (28)$$

$$Q \leq q_{ij} \leq q_i \quad (j=1,2,\dots,m). \quad (29)$$

В обмеженні (28) Q_j – середнє значення сумарного навантаження на ТС постачання у j -му інтервалі часу.

З урахуванням (27) цільову функцію (26) запишемо так:

$$F = \sum_{j=1}^m \Delta t_j \left\{ \sum_{i=1}^n S_i(q_{ij}) + S_n \left(Q_j - \sum_{i=1}^n q_{ij} \right) \right\} \quad (30)$$

Міра несталості процесів передачі ЦП по ділянці трубопроводу визначається так:

$$M = \max \begin{cases} \max_{i,j} (P_{n_i} - P_{n_j}) \\ \max_{R,i} (P_{h_R} - P_{k_i}) \end{cases} \quad (31)$$

Якщо виконується умова $M \leq \varepsilon$ (де ε – погрішність у вимірах тиску), то режим передачі ЦП вважається квазістаціонарним в інтервалі часу $[0, T]$. При невиконанні цієї умови режим передачі ЦП вважається суттєво несталим у цьому інтервалі.

Одним із раціональних методів дослідження і аналізу перехідних процесів у ТС є використання електромоделювання.

Позначивши через X відстань від початку електричної лінії до вибраної точки, а миттєві значення напруг і струмів на початку елементу цієї лінії dx – через u та i , після деяких математичних перетворень система диференціальних рівнянь для миттєвих значень напруг і струмів має вигляд:

$$\left. \begin{aligned} -\frac{du}{dx} &= ri + L \frac{di}{dt} \\ -\frac{di}{dx} &= gu + C \frac{du}{dt} \end{aligned} \right\} \quad (32)$$

де L, r, C, q - відповідно самоіндукція, опір, ємність та провідність одиниці довжини лінії.

Порівнюючи (32) з математичною моделлю (20), що є рівнянням для капельної рідини при $\rho = \text{const}$ та рівнянням (21), а також з системою рівнянь, що описує несталий рух газу у ТС

$$\left. \begin{aligned} \frac{d}{dt}(\rho V) + \beta \frac{d}{dx}(\rho V) + \frac{d\rho}{dx} + \rho g \sin \varphi + \frac{\lambda}{2D} \rho V &= 0; \\ \frac{d}{dx}(\rho V) - \frac{d\rho}{dt} &= 0; \\ \frac{p}{\rho} &= ZRT. \end{aligned} \right\} \quad (33)$$

помічаємо повну аналогію між гідравлічними та електричними параметрами. При електричному моделюванні вираз (33) може бути лінійаризований і записаний у вигляді, подібно (21)

$$\begin{aligned} - \frac{d \ln p}{dx} &= \frac{e}{ZRT} \left(\frac{dV}{dt} + \frac{\lambda V}{8\delta} \right); \\ - \frac{d \ln p}{dt} &= \frac{dV}{dx}, \end{aligned} \quad (34)$$

де Z - коефіцієнт стисливості, R - газова постійна, що дорівнює роботі розширення одиниці маси газу (1 кг) при нагріванні її на 1°C при постійному тиску; T - абсолютна температура. При електричному моделюванні замість тиску p приймаємо $\ln p$, замість щільності ρ - величину $\frac{1}{ZRT}$, замість K - одиницю.

На подібності динамічних процесів у гідравлічних мережах та електричних колах створено електричні моделі з неленієвих і інших елементів при моделюванні сталих режимів, а при моделюванні перехідних режимів - з фільтрів, інтегруючих пристроїв та декількох кілець rC - чотириполюсників, що дозволили моделювати падаючу і відображену хвилі, їх сумування, а також перехідний процес у трубопроводах та обладнанні ТС. При заданій точності моделювання, що визначається коефіцієнтом $m_{\text{слож}}$ визначаємо необхідну кількість кілець моделі n , користуючись умовою

$$m_{[(n-1)-n]} < m_{\text{слож}} < m_{[(n)-(n+1)]} \quad (35)$$

Тривалість протікання перехідних процесів характеризується постійною часу $\tau = rC$, яка для ТС має такий загальний вигляд

$$\tau = rC = \sqrt{\frac{1}{ZRT} \cdot \frac{\lambda \ell^2}{D} \ln \left[\left(\frac{p_n}{p_c} \right)^2 - 1 \right]} \quad (36)$$

Характер протікання перехідного процесу залежить не тільки від параметрів моделі трубопроводу r, C, ℓ, D та λ , а і від

місця під'єднання зосередженого об'єму ϱ_c і початкового тиску P_c при цьому об'ємі. При моделюванні перехідних процесів і різних схем мережевих ТС визначені еквівалентні постійні часу $\tau_{екв}$ для кожного конкретного випадку.

При раптових зупинках насосів, закритті засувки та інших РО, що призводять до раптового припинення подачі ЦП виникає аварійна ситуація, викликана гідравлічним ударом. Модель гідравлічного удару являє собою підвищення напору у будь-якій фазі, що визначається за формулою

$$\Delta H_k = 2H_0 \left\{ \left[j - \frac{1}{H_0} \sum_{i=1}^{k-1} \Delta H_i + \left(\frac{j \varphi_k}{\varphi_0} \right)^2 \right] - \frac{j \varphi_k}{\varphi_0} \sqrt{1 + 2 \left(j - \frac{1}{H_0} \sum_{i=1}^{k-1} \Delta H_i \right) + \left(\frac{j \varphi_k}{\varphi_0} \right)^2} \right\} \quad (37)$$

де j – ударний параметр трубопроводу; ΔH_i – підвищення напору у кожній з фаз; φ_0 і φ_k – коефіцієнти швидкості руху ЦП у ТС з затвором до початку закриття і при даному закритті, які визначаються за формулою

$$\varphi_{ок} = \frac{1}{\sqrt{\xi_{тр} + \xi_3}},$$

де $\xi_{тр}$, ξ_3 – коефіцієнти опорів, що приймаються з таблиць.

Якщо у рівнянні (21) прийняти $\rho = \text{const}$, то ця математична модель має вигляд

$$\left. \begin{aligned} -\frac{\partial p}{\partial x} - \rho \left(\frac{\partial v}{\partial t} + 2av \right); \\ -\frac{\partial p}{\partial t} - \rho c^2 \frac{\partial v}{\partial x} - K \frac{\partial v}{\partial x} \end{aligned} \right\} \quad (38)$$

При $\alpha = 0$ рівняння (38) співпадає з класичними рівняннями Н.Є. Жуковського для задачі про гідравлічний удар. Час розповсюдження удару хвилі від джерела збурювання і навпаки по трубопроводу визначається за формулою

$$T = \frac{2l}{C_v} \quad (39)$$

Швидкість ударної хвилі визначається формулою, яка має вигляд

$$C_v = \frac{C_*}{\sqrt{1 + \frac{E_*}{E_{тр}} \Psi}} \quad (40)$$

де $C_* = \frac{E_*}{\rho}$ – швидкість розповсюдження звуку у рідині; E_* – модуль об'ємної пружності; Ψ – коефіцієнт, що враховує деформативність стінок трубопроводу. Згідно до методу, розробленому автором, суттєве спрощення моделювання гідравлічного удару на ПЕОМ дає введення напору удару, що у програмі для ділянки ТС, наприклад r – b і вузла r , записується у вигляді моделі удару

$$T_r^b = H_r + [\alpha^b] \operatorname{sgn}(q_r^b, \alpha^b) |q_r^b|, \quad (41)$$

де H_r і q_r^b – відповідно напір і витрата у вузлі r .

Коефіцієнт α , пропорційний швидкості розповсюдження ударної хвилі C_v і обернено пропорційний площині перерізу труби ω , тобто $\alpha = C_v / q_\omega$. На підставі нових теоретичних передумов розроблено алгоритм та складено програму розрахунку гідравлічного удару та управління ним у мережі ТС.

Потрібний закон зміни потоків у мережі суттєво залежить від динамічних її властивостей та умов складання синхронного моделюючого графа G мережи. У загальному випадку стан мережи при аварійній ситуації характеризується виразом, математична модель якого є функціонал у вигляді

$$F(\bar{S}^*; \bar{Y}^*; \bar{W}) = 0 \quad (42)$$

Стан потекорозподілу у ТС та параметрів віток її мережи в аварійній ситуації при відомому стані координат РО визначається вектором $\bar{S}^*(\bar{q}^*, \bar{h}^*)$. Функціональні співвідношення при цьому

$$h_i^{(e)} - h_i^{(e)}(q_i, r_i, n_i); i \in M \quad h_i^{(n)} - h_i^{(n)}(q_i, \Delta Z_i, r_i); i \in M \quad (43)$$

дали можливість при відомих векторах $\bar{W}$ і $\bar{S}$ уточнити стан гідравлічних опорів r_i , коефіцієнт турбулентності n_i , витрат q_i . Зміна вектора $\bar{q}$ обмежується деякою областю $\Lambda^*(\bar{q})$, тобто $q_i \in \Lambda(\bar{q})$. Область $\Lambda^*(\bar{q})$ може при деяких умовах утримуватись у $\Lambda(\bar{q})$, тобто $\Lambda(\bar{q}) \subseteq \Lambda^*(\bar{q})$. З другого боку, імовірні зміни складових q_i^* , $i \in S$ вектора $\bar{q}^*$ утворюють в S -мірному просторі область управління $\Omega(\bar{q}^*)$, тобто для будь-якого q_i^* справедливі співвідношення

$$\left. \begin{aligned} q_i &\in \Omega(\bar{q}^*); i \in S \\ \Lambda^*(\bar{q}^*) &\subseteq \Omega(\bar{q}^*) \subseteq \Lambda(\bar{q}^*) \end{aligned} \right\} \quad (44)$$

Крім того, існують у просторі S області керованості $\Omega^*(\bar{q})$ і $\Omega(\bar{q}) : q_i \in \Omega(\bar{q}) \subseteq \Omega^*(\bar{q})$, що характеризують можливість управління вектором $\bar{q}$ при додержанні обмежуючих умов. Стійкість ТС буде забезпечена, якщо виконується умова

$$i[q_i^{(a)}; h_i^{(a)}] \in M(\bar{q}, \bar{h}); i \in S, \quad (45)$$

де $q_i^{(a)}$ і $h_i^{(a)}$ – визначаючі координати точки i в області $M(\bar{q}, \bar{h})$

і області $\Omega^*(W)$ зміни вектора ПРО, тобто зміна складових $W_i, i \in S$ вектора $\vec{W}$ обмежені нерівностями:

$$W_{i,\min} \leq W_i \leq W_{i,\max} \quad (46)$$

Одержання потрібного режиму роботи ТС визначається вектором $\vec{U}$ управління, станом РО у мережі, що виробляється СУ.

Маючи на увазі критерій оптимальності

$$Z = \min Z(\vec{h}, \vec{q}) \quad (47)$$

з метою забезпечення стійкості ТС при роботі у несталому режимі, її треба перевести з аварійного стану у нормальний, тобто провести стабілізацію режиму, коли критерієм оптимальності є функція

$$\sum_{j \in J} [P_{j,\min}(s) - P_j(s)]^2 \rightarrow \min_{\substack{\vec{u}(s) \in \Omega \\ \vec{y}(s) \in \omega}} \quad (48)$$

де J – множина диктуючих точок; $P_j(s)$ – величина фактичного тиску у вузлі на інтервалі часу (t_s, t_{s+1}) ; $P_{j,\min}(s)$ – детермінована величина мінімально допустимого тиску у вузлі, який планується на інтервалі часу (t_s, t_{s+1}) . Одержання потрібного режиму може бути виконано пасивним, активним та комбінованим способами управління. При впровадженні АСУ ТП доцільніше використовувати останній спосіб, коли виникає задача одержання потрібного режиму при обмеженнях, що накладаються на систему при виконанні (47).

При комбінованому методі управління потокорозподілом у мережах ТС, що працює в аварійній ситуації будемо вважати, що синхронний моделюючий граф G^0 задається:

1. $[A^*(A_1^*, A_2^*); B^*(B_1^*, B_2^*)]$ – математичним описанням топології перетвореної мережі; 2. Операторами віток моделюючого графа G^0 ; 3. $q_i \rightarrow q_i^{(a)}, i \in S$ – потрібним потокорозподілом; 4. $\mu(v)l_i, i \in K$ – критичним шляхом; 5. $V_i \rightarrow h_i^{(a)}, i \in S$ – місцерозташуванням АРО; 6. $\Omega^*(\vec{W})$ – допустимою областю зміни координат РО; 7. $V_i \rightarrow h_i, i \in S; \beta_i$ – відповідно місцерозташуванням і знаками $\text{sign } h_i^{(a)}$ – напорів. При цьому треба визначити:

8. $V_i \rightarrow h_i^{(a)}, i \in M$ – місцерозташування РО; 9. Невід'ємні значення напорів $h_i^{(a)}, i \in M$, координати ω_i та $h_i^{(a)}$, РО, що задовольняють (45), (46) при виконанні (47) для мережесистем водопостачання і забезпечують стійкість ТС.

$$Z = \min \left[\sum_{i=1}^m h_i^{(a)} q_i + \beta \sum_{i=1}^m h_i^{(n)} q_i \right] \quad (49)$$

Розв'язання цієї задачі дало можливість при вибраному базисі РО виконати синтез оптимального управління потоками при аварійних ситуаціях, що визначаються вектором $\vec{U}^*$ та провести дослідження умов стійкості і практичної реалізації вектора $\vec{h}_{\max}^{(n)}$ для умов будь-якої можливої аварійної ситуації, що характеризується вектором $\vec{h}_k^{(n)}$, який змінюється на інтервалі

$$\vec{h}_{\min}^{(n)} < \vec{h}_k^{(n)} < \vec{h}_{\max}^{(n)} \quad (50)$$

За рахунок насосних агрегатів з регулюючим електричним приводом (АРО), забезпечується економія електроенергії на подачу води, скорочення втрат і непродуктивних її витрат. Вибір цільової функції (показників якості) для АСУ ЕП визначається основними вимогами до системи, і оскільки ці вимоги різні для агрегатів, то рішення цієї задачі не може бути однозначною. Тому при проектуванні АСУ ЕП використовуємо інтегральні критерії оцінки оптимальних базисів АРО.

При цьому прийняті до уваги такі показники як статична похибка регулювання, максимальна динамічна похибка, час перехідного процесу, чутливість до варіацій параметрів та інші характеристики.

На підставі використання інтегральних критеріїв проведено синтез, як детермінованих, так і ймовірнісних СУ. Метод синтезу оптимального потокорозподілу у мережевих ТС водопостачання при аварійних ситуаціях забезпечив визначення місць розташування і координат АРО у ТС, обумовлюючи при цьому виконання закону управління для будь-яких аварійних ситуацій.

Вибір базисів систем координат і розташування АРО визначає практичну реалізацію вектора оперативного оптимального управління, який повинен бути оптимальним за критерієм

$$G = [Z, T, \max D_i, E], \quad (51)$$

де T – критерій відповідності технічним вимогам до системи і умовам побудови критичного шляху руху хвилі, що викликана перехідним процесом; D – критерій, що визначає керованість ТС;

E – критерій, що відповідає умові стійкості роботи АРО.

Критерій імовірності виникнення дефіциту ЦП у вузлі можна визначити, користуючись співвідношенням:

$$P_{\text{роб}}\{P_i < P_{i\text{min}}\} = \Phi_n \left(\frac{P_{i\text{min}} - M[P_i]}{\sigma_{P_i}} \right), \quad (52)$$

де Φ_n – нормована функція розподілу; $P_i, M[\cdot]$ – математичне очікування тиску у вузлі; σ_{P_i} – середньквдратичне відхилення випадкової величини.

Режими роботи ТС плануються при виконанні критерія ефективності, що характеризує сумарні витрати потужності на транспорт і розподіл ЦП на АЕ та має вигляд:

$$N = \sum_{j \in V_A} H_j Q_j + \sum_{i \in P_E} H_i q_i \rightarrow \min \quad (53)$$

У відповідності до теорії інформації, якість функціонування ТС в умовах дії АСУ транспортуванням та розподілом ЦП з позицій ентропійного підходу при безперервному розподілі імовірностей змінних $Q_1, \dots, Q_L$ визначається щільністю розподілу імовірностей

$$H = - \int \dots \int P(Q_1, \dots, Q_L) \log P(Q_1, \dots, Q_L) dQ_1 \dots dQ_L, \quad (54)$$

де область D – багатомірний паралелепіпед, що визначається нерівностями

$$D: \begin{cases} Q_j > 0, j \in V_n; \\ Q_j < Q_j, j \in V_n. \end{cases} \quad (55)$$

Для насосних станцій, які працюють при всіх режимах роботи ТС, з урахуванням аварійних ситуацій критеріями приймалися:

1. Мінімум витрат електроенергії на транспортування і розподіл ЦП та мінімум його витрат;

2. Мінімум часу виявлення і локалізації аварії, мінімум часу рестабілізації ТС, як об'єкту управління.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ.

1. На базі теоретичних перебіумов і математичної теорії загальних систем з позицій теоретико-множинного уявлення моделю-

чих графів проведено комплексне дослідження основних системних властивостей багатомірних ТС у динамічних режимах їх функціонування у випадковому середовищі при умові, коли математична модель задач проблеми управління слабо формалізована, а система, яка розглядається, властиві наявність неконтрольованих збурювань та неповнота інформації на всіх рівнях управління режимами.

2. Розроблено методологію моделювання ТП і оптимального управління режимами роботи ТС з урахуванням перехідних процесів.

3. Проведені дослідження показали, що у ТС можливо виділити підклас узагальнених мережових систем, для яких можна сформулювати великий клас оптимізаційних задач управління, де параметри задані нечітко (недостовірно) і ця нечіткість обумовлена як наявністю неконтрольованих діянь так і неповнотою інформації.

4. С позицій загальної теорії систем розроблено метод оптимізації режимів функціонування ТС, який дозволив на відзнаку від відомих методів урахувати реальний імовірний характер процесу подачі та розподілу ЦП, що сприяє підвищенню ефективності рішень по автоматизованому управлінню за рахунок вірного вибору АЕ і РО і оптимального їх розміщення.

5. Розроблено метод моделювання сталих детермінованих потокорозподілів у ТС, який дозволив на відзнаку від відомих, алгоритмізувати гідравлічні і техніко-економічні розрахунки на підставі ППП, та провести більш повний і точний аналіз ТС.

6. Розроблено методи і алгоритми управління сталим потоком розподілом з різним характером навантажень, що дало можливість, на відзнаку від існуючих методів, розв'язати задачу оптимального синтезу ТС з більш повним визначенням її структури.

7. Розроблено математичну модель перехідного процесу, що дозволив аналізувати несталий рух ЦП в мережах, визначити метод оцінки характеру перехідного процесу у ТС, моделювати та прогнозувати такий режим роботи системи, провести синтез методів розрахунків перехідних процесів в елементах комплексу ТС, що забезпечує їх стійку і економічну роботу.

8. Розроблено модель гідравлічного удару у ТС, яка дозволила на підставі аналізу результатів її дослідження визначити шляхи, метод та пристрій для локалізації його і захист ТС від такого явища, що відрізняється від існуючих простістю та надійністю своєї роботи, забезпечуючи стійкість та працездатність ТС.

9. Розроблено алгоритм і методи електричного моделювання перехідних процесів та гідравлічних ударів, що дало можливість створити спеціалізовані електромоделі для проведення досліджень ТС і її елементів з метою аналізу всіх режимів роботи з урахуванням реального масштабу часу.

10. Сформульована постановка задач прогнозування і стабілізації режимів потокорозподілів у ТС, яка відрізняється від відомих постановок імовірним підходом при формулюванні цільових функцій з урахуванням перехідних процесів у мережах, що дозволила одержати рішення, які забезпечують суттєве підвищення якості функціонування ТС за рахунок економії, ефективного і раціонального використання їх внутрішніх резервів та скорочення витрат паливно-енергетичних ресурсів.

11. Сформульовано постановку, розроблено алгоритми і методологію розв'язання задач синтезу СУ режимами роботи ТС з урахуванням перехідних процесів.

12. Намічено загальну концепцію рухливого управління у ТС, що дасть можливість аналізувати режими їх роботи при використанні артезіанських свердловин, як джерел ЦП, яка забезпечить надійне функціонування ТС при усіх режимах подачі та розподілу ЦП в умовах його дефіциту.

13. Виконані на реальних об'єктах і математичних моделях ТС дослідження, підтвердили високу ефективність розроблених методів моделювання ТП і автоматизованого управління потокорозподілом у ТС, показали доцільність їх використання для розв'язування широкого класу оптимізаційних задач, що виникають у ТС.

Результати дисертаційної роботи знайшли практичне використання при проектуванні, реконструкції та експлуатації ТС.

Розроблені методи моделювання ТП і алгоритми оптимального управління режимами роботи ТС з урахуванням перехідних процесів використовуються у проектних, проектно-розвідувальних та науково-дослідних інститутах, на підприємствах та організаціях Києва, Херсону, Симферополя, Феодосії, Донецька тощо, де матеріали досліджень автора включено у склад САПР та АСУ ТП водопостачання.

Значна частина результатів досліджень увійшла в монографії та навчальні посібники, які використовуються у навчальному процесі низки Вузів України та країн СНД.

Впровадження результатів дисертації дозволило заощадити у

ТС міст А,Б та Х за 1994 рік 15% електроенергії за рахунок підвищення коефіцієнта потужності, 25% ЦП від кількості, що подається у мережу за рахунок оптимального потокорозподілу та зниження непродуктивних його витрат, 15% металу за рахунок установа більш економічних опалювальних приладів та раціонального вибору діаметрів і довжин труб при проектуванні, будівництві та реконструкції мереж ТС, що склало економічний ефект 40 млрд. крб.

Зміст дисертації повністю відображено в наступних основних роботах:

1. Григоровский Е.П. Исследование динамики сетевых систем современными методами. (монография). – Киев.: Главное изд-во издательского объединения, ВШ. 1979. – 200с.

2. Григоровский Е.П., Койда Н.У. Автоматизация расчета многоконтурных сетевых систем. (монография). – Киев.: Главное издательство издательского объединения, ВШ. 1977. – 190с.

3. Григоровський Є.П. Електричне моделювання гідравлічних мереж (монографія). – Київ.: Вид-во "Будівельник", – 1969. – 133с.

4. Григоровский Е.П. Моделирование технологических процессов и автоматизированное управление потокораспределением в инженерных сетях. (монография, 1-я часть). КГТУСА. – Киев, 1994. – Деп. в ГНТБ Украины 4.08.94, – N1453.УК94. – 255с.

5. Григоровский Е.П. Моделирование технологических процессов и автоматизированное управление потокораспределением в инженерных сетях (Монография, 2-я часть). КГТУСА. – Киев, 1994. – Деп. в ГНТБ Украины 4.08.94, – N1453.УК94. – 255с.

6. Григоровский Е.П., Цилюрик Л.И. Технические средства и алгоритмы управления технологическими процессами в строительстве (монография). КГТУСА. – Киев: – 1994. Деп. в ГНТБ Украины 1.08.94, – N1454.УК94. – 190с.

7. Григоровський Є.П. Методи та системи керування електричними приводами в будівництві (навчальний посібник з грифом Минвузу УРСР). – Київ.: УМКВО. – 1990. – 255с.

8. Григоровський Є.П. Електротехніка, електроніка і електропривід машин (навчальний посібник з грифом Минвузу УРСР). – Київ.: УМКВО. – 1981. – 258с.

9. Григоровский Е.П. Электротехнические средства и методы управления в системах теплогазоснабжения и вентиляции (Учеб-

ное пособие). - Киев.: ООП ИПК Минжил комхоза УССР, -1989. -134с.

10. Григоровский Е.П., Койда Н.У. Вычислительная техника в расчетах сетей водоснабжения (учебное пособие). - Киев.: -МВ и ССО УССР, МП. -1978. -82 с.

11. Григоровский Е.П. Задачи оптимального управления динамическими режимами подачи целевых продуктов с учетом характерных критериев (Технические средства и системы управления технологическими процессами. Сб. науч. тр.). - Киев: Ин-т автоматики, 1991. - С. 47-52.

12. Григоровский Е.П. Задачи потокораспределения в системах водоснабжения и решение вопросов динамики с использованием вычислительной техники. Новосибирск.: -ж. Известия Вузов., Строительство и архитектура. N12, 1967. - С. 14-16.

13. Григоровский Е.П. Синтез автоматизированного управления процессами в инженерных сетях. -КИСИ. -Киев.: - Деп. в ВНИИИСА, N8011, 1988. - 8с.

14. Григоровский Е.П. Алгоритмизация и программирование переходных процессов в сетевых системах при решении задач оптимального управления. - КИСИ. -Киев.: - Деп. в ВНИИИСА, N8009, 1988. - 10 с.

15. Григоровский Е.П. Системный подход к анализу переходных режимов работы инженерных сетей городов.: Сб. материалов республиканской научно-технической конференции. МВ и ССО УССР. 1982. - С. 128 - 130.

16. Григоровский Е.П. Исследование и разработка методов по автоматизированному расчету и оптимальному управлению сетевыми системами. КИСИ. -Киев.: -Деп. в УкрНИИНТИ, N004192. УДК628.15. 1982. - 105 с.

17. Григоровский Е.П., Тугай А.М., Кривда Н.Ф. Оптимальное управление потокораспределением в сетевых системах городов в условиях максимальной надежности. - Одесса.: Сб. Материалов республиканской научно-технической конференции. МВ и ССО УССР, 1982. С. 65 -70.

18. Григоровский Е.П. Надежность систем оперативного управления потокораспределением в инженерных сетях. КИСИ. Киев.: - Деп. во ВНИИИСА, N6482, 1982. - 10 с.

19. Григоровский Е.П. Оценки погрешности при расчете гидравлических сетей методом электро моделирования. - Новочеркасск. -ж. Известия Вузов "Электромеханика" N5, 1970. -С. 13 - 15.

20. Григоровский Е.П. Об электрическом моделировании центробежных насосов и воспроизведении их характеристик. -Новосибирск.: - Ж. Известия Вузов " Строительство и архитектура", N 3, 1970. - С. 8 - 11.

21. Григоровский Е.П. Исследование и расчет на электрических моделях квазистационарных процессов в гидравлических сетях. - Киев.: Ж. Энергетика и электрификация, N 6, 1969.С. 11 - 12.

22. Григоровський Є.П. Електричні моделі з природними нелінійностями. -Київ.: - Будівельник. Зб. Наука і техніка у міському господарстві. Вип. XV. 1970. - С. 8 - 11.

23. Григоровский Е.П. Реализация принципа сложности и подвижного управления переходными процессами в сетевых системах с распределенными параметрами. - М.: - Ж. Водоснабжение и санитарная техника. 1986. - С. 29 - 30.

24. Григоровский Е.П. Исследование методов и разработка электромеханических средств оперативного управления динамическими режимами в сетевых системах. КИСИ. - Киев.: - Деп. в УкрНИИПТИ, N 01840, 1984. - 82 с.

25. Григоровский Е.П. Исследование методов расчета режимов работы инженерных сетевых систем и разработка аналого-цифровой вычислительной машины. КИСИ. -Киев. -Деп. в УкрНИИПТИ, N 01842, 1973. - 102 с.

26. Григоровский Е.П. Исследование и разработка методов по автоматизации расчета и оптимальному управлению сетевыми системами. КИСИ. -Киев.: -Деп. в УкрНИИПТИ УДК 621.175, 1982. - 80 с.

27. Григоровский Е.П., Соколов В.А. Автоматизация проектирования и выбор оптимальных режимов работы системы водоснабжения. КИСИ. -Киев.: -Деп. в УкрНИИПТИ N 78023532, УДК 628.175, 1981. - 140 с.

28. Григоровский Е.П., Тугай А.М. Функционирование сетевых систем в условиях автоматизированного управления. КИСИ. -Киев.: Деп. во ВНИИС N 6494, УДК 624.04, 1986. - 14с.

29. Григоровский Е.П., Вязун С.К. Электропривод современных насосных станций. -М.: Ж. Водоснабжение и санитарная техника, N 12, 1985. - С. 26 - 27.

30. Григоровский Е.П. Проблемы решения задач надежности управления работой водопроводной сети с учетом динамических процессов. КИСИ. - Киев.: - Деп. в УкрНИИПТИ, N 024938 УДК 02640. - 12 с.

31. Григоровский Е.П., Вязун С.К. Проблемы автоматизированного проектирования систем водоснабжения как объектов автоматического управления. -М.: -Ж. Водоснабжение и санитарная техника N 9, 1983. - 29 - 30 с.

32. Григоровский Е.П., Кривда В.А. Автоматизированные системы прикладных программ для решения на ЭВМ задач сетевых систем. -М.: -Ж. Водоснабжение и санитарная техника, N 9, 1986 г. -С. 29-30.

33. Григоровский Е.П., Лемешко В.А. Оптимизация и моделирование динамических режимов в сетевых системах. КИСИ. -Киев.: деп. в УкрНИИПТИ N 2031 УК, 1985. - 8 с.

34. Григоровский Е.П., Холетский И.И. Реконструкция инженерной сети. -М.: Ж. Водоснабжение и санитарная техника, N 12, 1985. -С. 29-30.

35. Григоровский Е.П., Вязун С.К. Экономическая эффективность реконструкции инженерных сетей. -М.: Ж. Водоснабжение и санитарная техника N 8, 1986. -С. 29-30.

36. Григоровский Е.П., Куш П.М. Автоматизированное проектирование электрического привода систем водоснабжения. -М.: Ж. Водоснабжение и санитарная техника, N 9, 1986. -С. 30-31.

37. Григоровский Е.П., Минаев Ю.Н. Разработка математических и информационных моделей АСУ. КИСИ. -Киев.: -Деп. в УкрНИИПТИ, Б 939569, 1980. -70 с.

38. Григоровский Е.П., Минаев Ю.Н. Разработка математических и информационных моделей АСУ. КИСИ. -Киев.: -Деп. в УкрНИИПТИ, Б 841979, 1981. -90 с.

39. Григоровский Е.П., Куш П.М. Микропроцессорная система управления электроприводом насосных станций. -М.: Ж. Водоснабжение и санитарная техника, N 11, 1980. -С. 29-30.

40. Григоровский Е.П., Лемешко В.А. Управление строительством и эксплуатация сетевых систем. -М.: Ж. Водоснабжение и санитарная техника N 13, 1981. -С. 28-29.

41. Григоровский Е.П., Иносов В.Л. Устройство для электрического моделирования водопроводных отопительных и вентиляционных систем. 1966. А. С. N 136773.

42. Григоровский Е.П. Термисторы как элементы электрической модели. -Киев.: Ж. Энергетика и электрификация N 3, 1966. -С. 7-9.

43. Григоровский Е.П. К вопросу о применении электромоде-

лирования к расчету кольцевых водопроводных сетей. -Киев.: Межвод. респ. научный сб. Санитарная техника. Вып. 5, 1967. -С. 12-14.

44. Григоровский Е.П. Система для моделирования регулируемых емкостей гидравлических сетей. -Киев. Сб. тезисов докладов. Укр. респ. НПО. стройиндустрии. 1967. -2С.

45. Григоровский Е.П. Элемент модели для гидравлических расчетов. -Киев.: Ж. Механизация и автоматизация управления N 4, 1967. -3С.

46. Григоровский Е.П. Использование нелинейных элементов при электрическом моделировании гидравлической сети. -К.: Сб. наука и техника в городском хозяйстве. Вып. 9, 1967. -С. -13-18.

47. Григоровский Е.П. Методика расчета городского водопровода и емкости резервуаров на динамических электромоделях. Вып. XI, 1968. -С. 8-9.

48. Григоровский Е.П. Блок интегрирования на переменном токе для аналоговых машин. -Киев.: Ж. Энергетика и электрификация N 3, 1969, С. 11-13.

49. Григоровский Е.П. Автоматическое устройство для моделирования напорно-регулирующих сооружений -Киев.: -Сб. наука и техника в городском хозяйстве. Вып. XIV, 1969. -С. 9-11.

50. Григоровский Е.П. Из опыта расчета водопроводных сетей методом электрического моделирования. Киев.: -Сб. наука и техника в городском хозяйстве. Вып. X, 1969. -С. 104-114

51. Григоровский Е.П., Тимошенко В.В., Лемешко В.А. Устройство и моделирование волновых процессов в трубопроводных системах, 1980. А.С. N 773648.

52. Григоровский Е.П., Петрик Н.В. Устройство для моделирования расходов в трубопроводных системах. 1972. А.С. N 354432.

53. Григоровский Е.П., Петрик Н.В. Разработка математических информационных моделей АСУ и автоматизация расчета элементов систем. -Киев.: -ДСП. в УкрНИИПТИ, N 6255458. 1973. -15С.

54. Григоровский Е.П., Петрик Н.В. Исследование переходных процессов в сложных сетевых системах методом электромоделирования. -Киев.: -Деп. в УкрНИИПТИ, N 7135561. 1975. -14С

55. Григоровский Е.П., Беньковский В.И. Устройство для моделирования нелинейных систем. 1977. А.С. N 601712.

56. Григоровский Е.П., Осипец А.Е. Технические средства и системы управления технологическими процессами. -Киев.: -Сб.

АННОТАЦИЯ

ФИО соискателя: Григоровский Евгений Павлович

Тема диссертационной работы: "Модели и методы автоматизированного управления потокораспределением в трубопроводных системах".

Вид работы: рукопись.

Работа на соискание ученой степени доктора технических наук.

Специальность: 05.13.07 - автоматизация технологических процессов и производств (технические науки).

Защита состоится в Киевском Государственном техническом университете строительства и архитектуры 1995 г. в ауд.

Основная цель работы заключается в разработке более совершенных моделей ТП и методов автоматизированного управления потокораспределением в ТС с учетом переходных процессов и аварийных ситуаций в условиях неопределенности функционирования ОУ и окружающей среды. В результате - разработаны модели, методы и алгоритмы моделирования ТП и оптимального управления режимами работы ТС с учетом переходных процессов и аварийных ситуаций. Для подкласса обобщенных сетевых систем сформулирован класс оптимизационных задач управления с нечетко заданными параметрами в связи с неполнотой информации на всех уровнях управления. С позиций общей теории систем разработаны метод оптимизации режимов функционирования ТС, учитывающий реальный вероятностный характер подачи и распределения ЦП, методы и алгоритмы управления установившимся потокораспределением в ТС, работающих с различным характером нагрузки. Разработаны математические модели переходного процесса и гидравлического удара, проведена алгоритмизация и составлены программы расчета переходных процессов, решена задача управления переходными процессами и определена длительность таких режимов работы. Разработана электромодель ТС, позволяющая исследовать ее работу в реальном масштабе времени. Разработан метод синтеза системы АРО, оптимального управления функционированием ТС и намечена общая концепция подвижного управления. Использование полученных результатов позволило усовершенствовать и внедрить новые технологии и методы моделирования и управления режимами ТС в реальном масштабе времени в практику САПР и АСУ ТП.

Annotation

Author's name: Eugene P. Grigorovsky .

The theme of thesis: "Models and methods automatic control in supply pipe-line systems".

The type of work: manuscript.

The work is put forward for obtaining doctor's degree of technical science.

Speciality: 05.13.07 - automatic control systems for technological processes.

Defence of thesis will take place at Kiev State Technical University of Construction and Architecture room .

The main task of this work is to create more perfect technology process models and methods of automatic control in supply pipe-line systems with taking into consideration transient processes and accident conditions under action of uncertainty and surroundings.

In consequence were created models, methods and algorithms for modeling and optimum control of distributed pipe-line systems with consideration transient process and accident conditions.

The subclass of optimum control task with uncertainly defined parameters on all levels of control. With positions are given for common network pipe systems under action of real random disturbance and flow load clistribution. The mathematics models of ransient process and water hammer were created, the algorithms and programs for control such systems and culculating transient time are given. In consequence were created electro-model sypply pipe-line systems that allow process research in real time as well as synthesis method for optimal control and common conception move control.

Using of the received results allowed to improve and inculcate new technologiis and methodes of modelling and mode control in automatic and design control supply pipe-line real time systems.

Ключові слова: моделі, технологічні процеси, оптимальність, трубопровідні системи, мережи, потокорозподіл, цільовий продукт, електропривід, автоматизовані системи управління.

AB 32.347

AB 32.347