

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ УКРАЇНИ  
КИЇВСЬКИЙ МІЖНАРОДНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЦИВІЛЬНОЇ АВІАЦІЇ

На правах рукопису

ФІЛІМОНОВА ОКСАНА ЮРІВНА

АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСІВ НЕРУЙНУЮЧОГО КОНТРОЛЮ  
НА ПІДСТАВІ НОВИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Спеціальність 05.13.01 - Управління  
в технічних системах

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

КИЇВ 1994

Робота виконана в Київському державному технічному університеті будівництва та архітектури на кафедрі електротехніки та електроприводу

Науковий керівник - кандидат технічних наук, доцент  
Городжа А. Д.

Офіційні опоненти - доктор технічних наук, професор  
Блохін Л. М.  
кандидат технічних наук, старший науковий співпрацівник  
Філіпов В. Є.

Провідна організація - Спеціальне конструкторське бюро з дослідним виробництвом Інституту надтвердких матеріалів АН України

Захист відбудеться " 21 " вересня 1994 р. о 14 г. 30 хв.  
на засіданні спеціалізованої ради К 072.04.02 у Київському міжнародному університеті цивільної авіації за адресою:  
252058, Київ-58, проспект космонавта Комарова, 1.

З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці Інституту.

Автореферат розіслано " 18 " 08 1994 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої Ради К 072.04.02  
канд. техн. наук, доц.

А. Г. Василькова

ЛНБ ім. В. Стефаника  
АН України

ЛНБ України ім. В. Стефаника



00756605 (Т)

## А Н О Т А Ц І Я

Метою дисертаційної роботи є розробка методів і алгоритмів автоматизації процедур обробки та інтерпретації результатів випробувань технічних виробів та конструкцій методами неруйнуючого контролю на підставі нових інформаційних технологій, котрі дозволять врахувати вплив перешкод та збурень, недостовірність (недостовірність) інформації, підвищити об'єктивність випробувальних процедур та точність у визначенні та інтерпретації результатів непрямих вимірів, суттєво підвищити ефективність рішень, що приймаються, використовувачи для прийняття рішення необхідну множину вихідних характеристик виробу. Розроблювані методи та алгоритми являють собою компоненту випробувань автоматизованої системи технологічного процесу і можуть бути придатними для використання у широкому діапазоні галузей, зокрема будівництва та будівельному виробництві.

Повинні бути оформульовані та розв'язані такі задачі:

- аналіз існуючих методів та алгоритмів автоматизації обробки результатів непрямих вимірів - методами неруйнуючого контролю (на прикладі будівельних виробів та конструкцій в технологічному процесі їхнього виробництва) та визначення передпосилань для розробки методів, що вільні від недоліків, котрі властиві традиційним методам;
- побудова матричної моделі "ВХІД - ВИХІД", в котрій твердження "ЯКЩО  $A$ , ТО  $B$ " використано для побудови рівняння системи, параметри  $A$ ,  $B$  являють собою множини фізико-механічних характеристик виробу та результатів вимірів методами неруйнуючого контролю; елементи множин входу та виходу можуть бути задані неоднозначно;
- визначення параметрів моделі  $A = B * [R]$ , де  $[R]$  - матриця відношень між  $A$  та  $B$ ,  $*$  - операція шахмід-(або шілах)-композиції;
- розробка методів та алгоритмів розв'язання прямої та зворотної задачі: пряма задача - визначення фізико-механічних характеристик виробу за результатами непрямих вимірів методами неруйнуючого контролю, зворотня задача - прогнозування можливих значень результатів непрямих вимірів шляхом використання матричного рівняння;
- побудова банку та бази даних, бази знань та розробка алгоритмів пошуку у базі даних для запитів, які оформульовано

наближено;

- програмна реалізація розроблених методів та алгоритмів у вигляді програмної системи (вхідна мова dBASE-3+ & Clipper, Turbo-C).

Автор вносить на захист :

а) концептуальну матричну модель процесу випробувань, котра враховує неоднозначності при визначенні параметрів технологічного процесу;

б) еталонний принцип визначення параметрів об'єкту випробувань;

в) комплекс програмних засобів, котрий реалізує концептуальну модель, еталонний принцип та забезпечує автоматизовану технологію випробувань з застосуванням стандартних баз даних, унікальних баз знань, мов програмування високого рівня;

г) методи та алгоритми пошуку в базах даних за умовою, що запити сформульовано наближено.

#### ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність проблеми. Економічні реформи, що відбуваються в Україні, необхідність всебічного впровадження енерго-, ресурсозберігавчих та екологічно чистих технологій - все це ставить перед народним господарством та промисловістю нашої держави, зокрема перед її науковим комплексом на сучасному етапі розвитку незалежної України, цілу низку принципово нових проблем не тільки технологічних, але й соціально-політичних, громадських.

Зокрема, серйозною проблемою стає проблема національної стандартизації в галузі методів обробки результатів контролю, термінів та визначень. Великий інтерес викликає можливість застосування нових методів обробки результатів контролю стану технічних виробів та конструкцій за допомогою методів неруйнівного контролю на підставі моделей штучного інтелекту. Ці методи повинні враховувати неоднозначності, котрі теоретично та практично існують як у технологічному процесі, так і в процедурах обробки інформації, зокрема у методі найменших квадратів.

Для експериментальних досліджень запропонованих методів та алгоритмів було обрано технологічний процес виробництва конструкцій та окремих виробів з бетону та залізобетону. Цей вибір впливає з таких міркувань:

- проблема якості виробів та конструкцій з бетону та залізобе-

тону та здефевлення їхньої вартості залишається проблемою N 1 для будівництва; крім того, ця проблема має самостійний теоретичний та прикладний інтерес; для її розв'язання повинні бути забезпечені такі умови:

- а) обґрунтування доцільності нового підходу до аналізу та інтерпретації результатів непрямих вимірів, як це має місце при реалізації методів неруйнуючого контролю;
  - б) запропоновані методи повинні давати результат, не гірший за традиційні, і бути працездатними за тих умов, коли ці методи не дозволяють отримати конструктивний результат;
  - в) повинен бути врахованим той факт, що процедури вимірів, що виконуються за методами НКр, мають провадитися безпосередньо на робочих місцях, отримувана інформація може бути неповною, отриманою в умовах впливу перешкод і т. ін., але за цієї інформацією має прийматися рішення;
- технологічний процес виробництва виробів та конструкцій з бетону та залізобетону має всі риси, притамані складній організаційно-технічній системі (складна структура управління, високий рівень невизначеності, висока розмірність вхідних та вихідних множин і т. ін.);
  - в деяких випадках прийняття рішення проходить за досить суб'єктивними критеріями, що не може не позначатися на якості рішення;
  - потрібна розробка методів та алгоритмів розв'язання прямої та зворотної задач: пряма задача - визначення фізико-механічних характеристик виробу за результатами непрямих вимірів методами НКр; зворотня задача - прогнозування можливих значень результатів непрямих вимірів;
  - при побудові бази та бази даних, бази знань та розробці алгоритмів пошуку у базі даних потрібно враховувати, що запити можуть бути сформульовано наближено;

Отримані в роботі результати теоретичного та експериментального дослідження методів, алгоритмів розв'язання задач, пов'язаних з "інтелектуалізацією" неруйнуючого контролю, мають досить загальне значення і можуть бути застосовані в інших галузях народного господарства. В подальшому планується розширення як теоретичних досліджень (створення спеціальної машини бази даних, що працює з наближеними даними), так і розширення сфери застосування запропонованих методів.

Методи досліджень. В дисертаційній роботі використані: математичний апарат теорії прийняття рішень, теорії нечітких множин, теорії вимірів, методів обробки та структурування даних.

Наукова новина роботи складає:

- запронована і досліджена на конкретній предметній області концептуальна модель обробки результатів методів неруйнувочого контролю на підставі нових інформаційних технологій;
- для уявлення процесу вимірів методами НКр запроновано метричну модель, котра дозволяє для заданих пар "вхід - вихід"  $\{A_j, B_j\}, j=1, 2, \dots, J$  визначити матрицю відношень  $[R]$  та системне рівняння  $A = B * [R]$ , на підставі котрого, в свою чергу, можливо для заданого набору  $B^* = \{b_k^*\}, k=1, 2, \dots, I$  визначення  $A^* = \{a_k^*\}, k=1, 2, \dots, K$  та навпаки за умовою, що  $A, B$  - множини, елементи котрих задані (або визначені) неоднозначно;
- розроблено алгоритм реалізації еталонного принципу, котрий дозволяє шляхом переносу властивостей об'єкту, що приймається за еталон, на реальний об'єкт контролю або випробувань, отримати об'єктивну характеристику, яка не залежить від методики випробувань.

Практична цінність роботи полягає в тому, що розроблені в дисертації методи та алгоритми визначення фізико-механічних характеристик виробів (конструкцій) за даними результатів вимірів методами НКр і навпаки - прогнозування можливих значень результатів вимірів методами НКр за умов статистичної невизначеності процесу, впливу неконтрольованих збурень та переход, класифікація виробів відповідно до їхньої якості на підставі еталонних принципів, можливість пошуку у створеній базі даних за наближено сформульованими запитами (включаючи програмну реалізацію алгоритмів) можуть бути ефективно використаними для автоматизації випробовувальних процедур у процесі виробництва будівельних конструкцій, для підвищення ефективності управління технологічним процесом.

Розроблена база даних може бути використаною самостійно для накопичення статистичної інформації з метою теоретичного та прикладного аналізу ходу технологічного процесу, розв'язання теоретичних та прикладних завдань.

Результати роботи (програмний комплекс, методики випробувань, базу даних) впроваджено у Спеціальному конструкторсько-технологічному бюро з дослідним виробництвом Інституту надтвердих мете-

риальні, Інституті матеріалознавства АН України шляхом використання бази даних та моделюючих алгоритмів.

Реалізація. Дисертаційна робота виконана на кафедрі Електротехніки та електроприводу Київського державного технічного університету будівництва та архітектури, результати роботи впроваджено у у науково-дослідних установах та дослідних бюро, які за специфікою виробничої діяльності мають справу з невизначеністю та неповнотою інформації при виконанні випробовувальних процедур.

Апробація роботи. Основні положення дисертаційної роботи доповідались та обговорювались на:

- Всесоюзній конференції "Методи неруйнуючого контролю у ЦНП", Львів, 1990 р.;
- 49, 50, 51, 52-й науково-практичних конференціях професорсько-викладацького складу Київського інженерно-будівельного інституту в 1989, 1991, 1992, 1993 рр.;
- наукових семінарах Інституту кібернетики АН України.

Публікації. За результатами виконаних досліджень опубліковано сім наукових праць.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота написана російською мовою і складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел, котрий вміщує 107 найменувань, двох додатків.

Робота має 116 сторінок друкованого тексту, 48 сторінок додатків, 17 малюнків та 3 табл.

У вступі до роботи обґрунтовано актуальність теми дисертації, викладено мету роботи, викладено основні наукові результати і положення, що виносяться на захист. Наведено результати впровадження та апробації, які підтверджують практичну цінність виконаних досліджень.

У першому розділі на підставі виконаного аналізу сучасного стану застосування методів неруйнуючого контролю (МНКр) на прикладі виробництва будівельних конструкцій з бетону та залізобетону обґрунтовано постановки головних задач, що стосуються розробки методів та алгоритмів автоматизації випробовувальних процедур. Проаналізовано застосування різних підходів до розв'язання головних задач і показано доцільність застосування методів та моделей, побудованих на підставі моделей штучного інтелекту.

У другому розділі розглянуто питання побудови математичної моделі випробовувань будівельних виробів та конструкцій в умовах

впливу перешкод, неконтрольованих збурень, неповноти інформації. Запропоновано розглядати бетон як структурно-неоднорідний матеріал, враховуючи при застосуванні методів НКр багатовалютний характер прийняття рішення; твердження < якщо (Р), то (К) >, де Р та К - множини непрямих вимірів МНКр та ФМХ конструкції не є однозначними, тобто чіткими.

В третьому розділі розглянуто питання побудови алгоритмів та програм для автоматизації випробувальних процедур МНКр на підставі узагальненої схеми автоматизації випробувань, наведені конкретні алгоритми.

В четвертому розділі наведені результати експериментальної перевірки програмного комплексу. Перевірка функціональної працездатності виконувалась на підставі запропонованої моделі "вхід-вихід," в котрій параметри входу та виходу (результати непрямих вимірів - ФМХ конструкції) уявлялися у відносному вигляді. Це дозволило уявити величини "по відношенню до еталону", котрий у кожному конкретному випадку може призначатися окремо.

У додатку представлено документи, які підтверджують впровадження результатів дисертації, програмний комплекс та необхідна експлуатаційна програмна документація.

У висновку узагальнено головні результати, що отримані в роботі.

#### ГОЛОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

Об'єктом дослідження та управління в даній роботі є технологічний процес виробництва залізобетонних виробів, зокрема визначення фізико-механічних характеристик виробу за результатами методів неруйнівного контролю. Виконано огляд та аналіз існуючих методів неруйнівного контролю, що аналізи застосування у практиці будівництва і на прикладі найбільш поширеного методу НКр - акустичного - розглянуто особливості методів, визначені недоліки, притаманні таким методам і показано, що результати випробувань у ряді випадків досить погано інтерпретуються, а можливість застосування отриманих результатів до других ситуацій, навіть тих, що незначно відрізняються від досліджуваних, дуже обмежена і потребує застосування різного роду поправкових коефіцієнтів.

Головні недоліки традиційних методів обробки результатів НКр такі:

- обов'язкова побудова кривих градування, котрі пов'язують результати непрямих вимірів та фізико-механічних властивостей

конструкцій: при досить великій кількості факторів, які важко врахувати і які приймаються як параметри, це досить складна задача і, крім того, користування такими кривими значно утруднено;

- необхідність побудови досить великої кількості поправкових коефіцієнтів до кривих градування;

- велика доля суб'єктивізму при виконанні різного роду вимірів, наприклад, визначення координат відбитку при віддаленні не може бути виконано однозначно;

- труднощі побудови еталонів і труднощі співставлення (порівняння) еталонів з реальними зразками, коли можлива тільки наближена оцінка, наприклад, «співпадіння відбитку та еталону високе, середнє, мале і т.ін.», що не дозволяє застосувати числові шкали.

Крім зазначеного, суттєвим також є таке. Незалежно від обсягу вибірки приймається виключно нормальний закон розподілу ймовірностей дефектових виробів, а кількість числа дефектів на партію приймається пуассонівською. Це призводить до того, що реальна та ідеальна приймальні характеристики, на підставі яких виконується вибір та відбракування будівельних конструкцій при допозі МНКр не співпадають, виникає значна зона невизначеності і, таким чином, рішення, що приймається, не може вважатися об'єктивним.

Широковживаний метод найменших квадратів дозволяє отримати однозначну залежність між одним з параметрів. Крім того, у цілomu раді випадків результати випробовувань за допомогою МНКр не використовуються самостійно, а є основою для прийняття рішень експертами, тобто оцінка в загальному випадку не є числовою, наприклад, у логарифмічній шкалі у вигляді тверджень «сеїсмічна стійкість висока, низька, задовільна і т.ін.». Наявність такої інтелектуальної оцінки, що оперує з нечисловими величинами, найбільш притаманними людському розуму, дає підстави для пошуку розв'язання задачі інтерпретації результатів непрямих вимірів МНКр за допомогою інтелектуальних моделей.

Однією з форм систем III, котра застосована у даній роботі, є раціонально-логічні системи, котрі дозволяють у режимі діалогу з ЕОМ розв'язувати задачі з застосуванням математичних методів та відповідних прикладних програм. Особливості систем III стосовно оформлюваних у роботі задач такі. База даних (БД) вміщує факти про предметну область, наприклад, один запис БД включає:

- фізико-механічні властивості бетону та конструкції з нього -  
FMS;

- тип конструкції та її технологічні та конструктивні особливості - ТК;

- результати випробовувань конкретним методом НКр - РЕЗ;

- умови проведення випробовувань (відповідність ГОСТ та ін.) USL;

- особливості технологічного процесу - TP та ін.

Кожний запис БД характеризується короткем

$$ZAP(I) = (FMS, TK, REZ, USL, TP),$$

причому кожна компонента може бути множиною, елементи якої задані наближено. Визначено комплекс задач, що пов'язаний з побудовою БД, зокрема виділено як окрему задачу пошуку у БД в урахуванням неповноти інформації, наприклад, пошук в умовах наближено сформульованого запиту.

База знань (БЗ), що розроблена в роботі, являє собою сукупність правил перетворення записів в БД, методів пошуку для наближено сформульованих запитів, коли запис включає "повні" та "неповні" дані, інтерпретацію результатів.

При побудові математичної моделі випробувань потрібно врахувати багатальтернативний характер прийняття рішення при застосуванні МНКр, зокрема можливість ситуацій такого типу <якщо {F1}, то {K}> або <якщо {F1}, то {K1}>, або <якщо {F1}, то {K1}> та ін., де F, F1 - множини вхідних, а K, K1 - вихідних параметрів для однієї процедури вимірів.

В роботах Х. Танаки, Т. Цукіяма, Пospelova Д. О. показано, що нечітке твердження <якщо А, то В> може розглядатися як загальний вираз системи, котра припускає альтернативне уявлення, тобто неоднозначність. На підставі цього, якщо відношення "вхід"- "вихід" задані, то модель системи можна визначити за допомогою правил композиційного висновку (при цьому відношення "вхід"- "вихід" можуть бути неоднозначними). Система описується матрицею відношення [R], котра зветься уявленням системи. Системні рівняння визначаються виразом  $A_j = B_j * [R]$ , де  $A_j, B_j$  - вхідна та вихідна множини відповідно, \* - оператор махіп- або міліваж-композиції (його вигляд залежить від характеру задачі); [R] - матриця відношень, її елементи визначаються та залежать від параметрів технологічного процесу (враховується, що параметри можуть бути визначені наближено)

В дисертації розглядається випадок, коли  $A_j$  - результати непрямих вимірів,  $B_j$  - СМХ виробу або конструкції, j - номер виробу (конструкції), або номер випробовування і т. ін. Задача полягає в тому,

доб за результатами непрямих вимірів  $A_{j+1}, A_{j+2}, \dots, A_{j+k}$  визначити можливі значення  $B_{j+1}, B_{j+2}, \dots, B_{j+k}$ , мавчи матриці відношень, визначену за результатами попередніх випробувань.

Матрицю  $[R]$  визначено як реалізацію процедури

$$R = (A_1 *_{\text{м}} B_1) \cap (A_2 *_{\text{м}} B_2) \cap \dots \cap (A_n *_{\text{м}} B_n),$$

Для побудови алгоритму визначення  $[R]$  використовують співвідношення

$$\begin{cases} A_1 *_{\text{м}} [R] = B_1 & , \\ (A_1 \cap A_j) *_{\text{м}} [R] \subset B_1 \cap B_j & . \end{cases}$$

де  $*_{\text{м}}$  - оператор максіп-композиції, а  $R$  обчислено на всіх парах  $(A_j, B_j), j=1, 2, \dots, n$  та виконуються умови непротиворіччя

$$A_1 *_{\text{м}} (A_2 *_{\text{м}} B_2) = A_2 *_{\text{м}} (A_1 *_{\text{м}} B_1),$$

де  $*_{\text{м}}$  - оператор мініп-композиції.

Розглянуто застосування еталонних принципів до організації випробувальних процедур. В будівництві еталонний принцип вперше було запропоновано К. С. Су, М. Ісідзуков та Т. П. Яо до аналізу випробувань сейсмічної стійкості споруд. Цю методологію застосовано у автоматизованій системі випробувань будівельних виробів та конструкцій, оформлено матриці відношень  $R$  в такою семантикою:

$$\begin{aligned} X &= (x) : & x_1 &= \langle \text{виріб високої якості} \rangle, \\ & & x_2 &= \langle \text{виріб задовольняє вимогам стандартів} \rangle, \\ & & x_3 &= \langle \text{виріб низької якості} \rangle; \\ U &= (u) : & u_1 &= \langle \text{співність виробу дорівнює } u_1^* \rangle, \\ & & u_2 &= \langle \text{співність становить } u_2^* \rangle, \\ & & u_3 &= \langle \text{величина параметру непрямого виміру } u_3^* \rangle, \\ & & u_4 &= \langle \text{експертний параметр } u_4^* \rangle. \end{aligned}$$

Правило  $\langle \text{якщо } A, \text{ то } B \rangle$  для характеристик виробу високої якості має вигляд:

$$\langle \text{якщо } u_1 - u_1^* \& u_2 - u_2^* \& u_3 - u_3^* \& u_4 - u_4^*, \text{ то } x_1 \rangle.$$

Еталонний принцип побудовано на використанні закону взаємодії відношень. При наявності множин еталонних  $Y$  та реальних об'єктів  $X$

можливе попарне порівняння об'єктів  $(x_i, y_j), x_i \in X, y_j \in Y$ . Функціонування такої системи визначається трьома відношеннями: відомим відношенням  $S$  на множині еталонних об'єктів  $Y$ , відшуканим відношенням  $R$  на множині реальних об'єктів  $X$ , та відношенням  $F$  «проміж» множинами  $Y$  та  $X$ . Якщо  $F$  - відношення «проміж»  $X$  та  $Y$ ,  $S$  - відношення «проміж»  $Y$  та  $Z$ , то композиція відношень  $F \circ S$  являє собою відношення  $T$  з функцією належності

$$f_T(x, z) = \max(\min\{f_S(x, y), f_S(y, z)\}), x \in X, y \in Y, z \in Z$$

(визначимо, що відношення  $F, S, T$  зважались нечіткими).

В дисертації закон взаємодії відношень сформульований у вигляді кортежу - узгодженої схеми

$$\langle X, R; Y, S; F \rangle \rightarrow R = F^{-1} *^m S *^m F,$$

де  $F^{-1}$  - відношення, зворотнє щодо  $F$ ;  $*^m$  - знак операції maxmin-композиції;

$$R: f_R(x, y) = \min\{\max\{f_F(x, u), f_S(u, v)\}, \max\{f_S(x, y), f_F(y, v)\}\}, \\ u, v \in Y$$

На підставі  $f_R$  можуть бути обчисленими відношення сувороті переваги  $P: f_P(x, y)$  та байдужості  $I: f_I(x, y)$ . Прийняття рішення про віднесення виробу (конструкції) до однієї з груп якості полягає у обчисленні підмножини  $B$  найкращих відносно переваги  $R$  альтернатив в множині  $X$ , котра має функцію належності

$$f_B(x) = \min f_R(x, y), x, y \in X.$$

Наводяться приклади, що ілюструють ефективність застосування запропонованих моделей, котрі дозволили побудувати алгоритми (а на їхній підставі програми) автоматизації випробувальних процедур. Алгоритм узагальненої схеми автоматизації випробувань виключає такі етапи:

- 1<sup>o</sup> Побудова бази даних.
- 2<sup>o</sup> Подання розрахункового запису (режим ЗАПРОС), для якого відомі, наприклад, результати непрямих вимірів методами НКР.
- 3<sup>o</sup> Вибір записів, котрі «найбільш близькі» до поданої.
- 4<sup>o</sup> Побудова матриці  $[R]$  на підставі записів п.3<sup>o</sup>.
- 5<sup>o</sup> Обчислення фізико-механічних характеристик конструкції на підставі непрямих вимірів та параметрів матриці  $[R]$ .

6. Визначення у БД записів, котрі <найбільш близькі> за значеннями ФМХ.

7. Визначення діапазону можливих значень ФМХ конструкції.

Враховуючи необхідність моделювання технологічного процесу для вирішення прямої та зворотної задач, визначення параметрів будівельної конструкції на підставі матричної моделі та еталонного принципу, побудову БД виконано у двох варіантах: за допомогою засобів СУБД dBASE-3 + та за допомогою засобів мови програмування С. БД реалізує таку структуру:

Ім'я поля	Тип поля	Довжина поля
d	data	
место	character	16
g	character	25
фіо	character	25
no	numeric	3
рno	numeric	9
марка	character	3
konstruko	character	50
plotnost	numeric	5 3
prochn1	numeric	3
prochn2	numeric	3
tip	character	12
rez1	numeric	10 3
rez2	numeric	10 3
rez3	numeric	10 3
gost	character	10
sootvets1	character	1
sootvets2	character	1
rashiren	character	50

Позначення мають такий зміст: d - дата випробувань; место - місце, де були проведені випробування; g - організація, що проводила випробування; фіо - прізвище та ініціали особи, що проводила випробування; no - номер випробування; рno - підномер випробування; марка - марка залізобетону; konstruko - найменування конструкції; plotnost - щільність конструкції ( $\text{кг/м}^3$ ); prochn1 - 3-х денна міцність конструкції (Мпа); prochn2 - 28-ми денна міцність конструкції (Мпа); tip - тип випробувань; rez1, rez2, rez3 - результати напрямних вимірів (для акустичних методів rez2 - середня ана-

чення, м/сек); govт-державний стандарт, згідно з яким виконувались випробування; sootvets1 - відповідність випробувань стандарту або нормативній документації; sootvets2 - відповідність технологічного процесу еталону; raschiren - розширення для можливих доповнень БД.

Програмний комплекс реалізує дві групи задач. Перша група включає задачі, пов'язані з можливостями СВБД. Виконання цих задач виконується у вигляді реалізації багатовіконного меню, загальний вигляд екранної форми показано на мал. 1

Для розв'язання прямої та зворотної задач шляхом реалізації моделі "вхід-вихід" (результати непрямих вимірів-ФМХ конструкції)

$$B = A * [R] ,$$

де A, B - функції належності множин входу та виходу відповідно, [R] - нечітке відношення A та B, \* - операція maxmin- або minmax - композиції призначене вікно МОДЕЛИРОВАНИЕ

Екранна форма СВБД, коли активовані вікна ПРОСМОТР та ЗАПРОС:

Просмотр	Коррек- ція	Внеск ние	Удале- ние	Печать	оиск	Запрос	Моделирование
----------	----------------	--------------	---------------	--------	------	--------	---------------

  

всей базы базы по ва- пциям выиска	Режимы возможных запросов
	1. Определение результатов косвенных измерений (REZ1, REZ2, REZ3) при известных физических характеристиках (PLOTNOST, PROCHN1, PROCHN2) конструкции и марки бетона.
	2. Определение физических характеристик (PLOTNOST, PROCHN1, PROCHN2) при известных результатах косвенных измерений.
	3. Определение физических характеристик и результатов косвенных измерений для заданной конструкции и марки бетона.
	4. Конец работы комплекса.

Мал. 1

Для реалізації запитів, що сформульовані наближено, запропоновано алгоритм, в основу якого покладено такий зміст. Наближено сформульований запит приймається у вигляді нечіткого твердження <визначити ФМХ конструкції \_\_\_\_\_, якщо результати непрямих вимірів, наприклад, REZ1 <sup>det</sup> ПРИБЛИЗНО 50 >. Термін ПРИБЛИЗНО 50 може с-

вчити, що число 50 представлено у вигляді множини типу (48/0.1, 50/0.8, 52/0.1), у якій друга цифра з наведеної пари означає ймовірність того, що дане число у дійсності дорівнює 50; зокрема 48 та 52 можуть прийматися різними ПРИБЛИЖНО 50 з ймовірностями 0.1 а число 50 приймається рівним ПРИБЛИЖНО 50 з ймовірністю 0.8. Могуть бути більш складні форми записів «визначити ФМХ конструкції \_\_\_\_\_, якщо результати непрямих вимірів створять систему тверджень: REZ1  $\stackrel{deg}{\approx}$  близька до еталону; REZ2  $\stackrel{deg}{\approx}$  еталон; REZ3  $\stackrel{deg}{\approx}$  приблизно R\*».

Для розв'язання задач такого класу доцільне використання підходу, запропонованого в роботах Поспелова Д.А., Меліхова А.М., Беренштейна Л.Д., сутність якого полягає у реалізації нечіткого висновку типу «ситуація-дія», котрий в свою чергу полягає у нечіткому розпізнанні входної нечіткої (неоднозначної) ситуації, що являє собою поточний стан об'єкту контролю. Узагальнений алгоритм включає такі етапи:

1<sup>o</sup> Введення двох значень результатів непрямих вимірів REZ1\*, REZ2\*, REZ3\* та відповідних функцій приналежності  $f_{R1}(x)$ ,  $f_{R2}(x)$ ,  $f_{R3}(x)$ .

2<sup>o</sup> Пошук в БД всіх записів за сукупністю ключів (REZ1 & REZ2 & REZ3), значення відповідних полів яких не відрізняються більше ніж на 20 %.

3<sup>o</sup> Формування масиву записів, що задовольняють п.2<sup>o</sup>.

4<sup>o</sup> Вибір з масиву записів п.3<sup>o</sup> значень полів PLOTNOST, PROCHN1, PROCHN2.

5<sup>o</sup> Визначення (або обчислення) функцій належності  $f_{P1}(y)$ ,  $f_{P2}(y)$ ,  $f_{P3}(y)$ .

6<sup>o</sup> Формування відношення «проміж» з урахуванням кортежів записів п.3 та 1.

7<sup>o</sup> Вибір з кортежу записів п.4 пари записів, для котрих значення полів REZ1\*, REZ2\*, REZ3\* та відповідних функцій значимості є такими, що  $(V_j)_{REZ_j}$ ,  $j=1,2,3$  «найбільш близькі» до них.

8<sup>o</sup> ПЕРЕВІРКА: чи є записи, що вибрані у п.7, «верхні» та «нижні» записами, тобто чи знаходяться параметри  $REZ_j^*$  «між»  $REZ_j^{\max}$  та  $REZ_j^{\min}$  відповідно,  $j=1,2,\dots$

9<sup>o</sup> Призначення (або обчислення) функцій приналежності для кортежу <PLOTNOST, PROCHN1, PROCHN2> (п.8 виконується).

- 10.<sup>o</sup> Формування критерія переваги.
- 11.<sup>o</sup> Вибір із верхнього або нижнього записів альтернативного; поля PLOTNOST, PROCHN1, PROCHN2 альтернативного запису приймаються як розрахункові значення ФМХ конструкції, що відповідають введенням значенням результатів непрямих вимірів.
- 12.<sup>o</sup> Перехід до п. 17.
- 13.<sup>o</sup> Знайдені записи (п. 2) попарно упорядковуються відповідно до критерія п. 10 (якщо п. 8 не виконується).
- 14.<sup>o</sup> Альтернативний запис приймається як розрахунковий.
- 15.<sup>o</sup> Друкування повідомлення: вхідна множина не є проміжков.
- 16.<sup>o</sup> Значення полів приймаються як <можливі> значення.
- 17.<sup>o</sup> Кінець алгоритму.

В дисертації наведені приклади, що підтверджують ефективність запропонованого алгоритму.

Екранна форма програмного комплексу для режиму МОДЕЛИРОВАНИЕ

ВВЕДИТЕ:	
КОНСТРУКЦИИ	СТЕНОВЫЕ ПАНЕЛИ
REZ1	51600 (м/сек)
REZ2	51700 (м/сек)
REZ3	23600 (м/сек)
ВОЗМОЖНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК	
ПЛОТНОСТЬ	2360 кг/м.куб    2470 кг/м.куб
3-х дневн.прочность	145 к./см.кв    192 кг/см.кв
28-ми дневн.прочность	-                    -
Значения получены путем решения основного системного уравнения $\Delta = B * [R]$	
<i>Для продолжения работы нажмите любую клавишу</i>	
<i>Для выхода из режима нажмите ESC</i>	

Мал. 2

Перевірка функціональної працездатності програмного комплексу виконувалась на реальному об'єкті. По-перше, на підставі запропонованої моделі "вхід-вихід" параметри входу та виходу (результати непрямих вимірів-ФМХ конструкції) уявлялись у відносному вигляді "за відношенням до еталону", за який у конкретному випадку призначався об'єкт, котрий має найбільші значення відповідних характеристик.

По-друге, при обчисленні ФМХ за виразом  $\Delta = B * [R]$  передбачались "граничні режими", тобто такі режими за якими без сумніву

мають бути отримані правильні результати або результат принципово не може бути отриманим. Наприклад, якщо для заданого набору пар  $(A_j, B_j), j=1, 2, \dots, n$  отримано матрицю  $[R]$  і необхідно визначити значення  $A_{n+1}$  для  $B_{n+1}$ , причому  $(\forall i) (b_{n+1}^i) \in [b_{\max}^i, b_{\min}^i], i=1, 2, \dots, I$ , то гарантовано правильний результат отримати неможливо, хоча реалізація виразу  $A = B * [R]$  не викликає труднощів.

По-третє, точність отриманих результатів у великій мірі залежить від вибору функцій приналежності.

Визнано доцільним робити перевірку моделі (корегування параметрів) кожного разу, коли у БД заносять додаткові записи, або БД корегувалась, або змінені правила, за якими приймається рішення, або змінено еталон чи режими технологічного процесу.

На мал. 2 показано екранну форму, яка відтворює режим діалогу, за яким виконувалась перевірка ефективності функціонування ПК.

Таким чином маємо можливість в будь-який час перевірити правильність функціонування моделі та при необхідності внести потрібні корективи.

### Основні результати роботи

1. Побудовано та досліджено узагальнену модель "вхід - вихід", котра дозволяє врахувати причинно-наслідкові зв'язки, що існують в технологічному процесі випробувань (чи виробництва) будівельних конструкцій, вплив зовнішніх перешкод чи збурень, котрі впливають на точність результатів непрямих вимірів при застосуванні МНКр (вхід - результати непрямих вимірів, вихід - ФМХ конструкції).

2. Створено базу даних, записи якої включають результати непрямих вимірів, ФМХ; на підставі БД побудоване матричне рівняння системи виду  $A = B * [R]$ . В свою чергу системне рівняння дозволяє для отриманого результату непрямого виміру (за допомогою МНКр) визначити ФМХ конструкції шляхом розв'язання системного рівняння.

3. Розроблено методику та алгоритм реалізації основного системного рівняння та запропоновано як головну модель автоматизації випробувальних процедур застосовувати еталонний принцип, за допомогою якого можливо перенесення властивостей об'єкту, що приймається за еталон, на реальний випробовуваний об'єкт і таким чином отримати об'єктивну характеристику якості як об'єкту так і якості процедури випробувань.

4. Розроблено, проведено дослідження та виконано програму реалізації алгоритмів побудови бази даних та програмного комплексу, що реалізує моделювання системного рівняння; пошуку в БД для надійно сформульованих запитів.

5. Методологічно обґрунтовано раціональні межі використання запропонованих алгоритмів, показано доцільність їхнього застосування, зокрема для тих випадків, коли необхідно враховувати вплив перехід та збурень, неможливість додержання стандартів або технічних умов, за яких повинні виконуватись випробування або неможливе використання кривих градування і т.і.

Основний зміст дисертації опубліковано в роботах :

1. Миньєва О. Ю. Автоматизация испытаний строительных изделий и конструкций на основе эталонных принципов. // Экспертные системы для анализа и реконструкции программного обеспечения ЭО РБ. - К.: КИИГА, 1992. - с. 71-84.

2. Миньєва О. Ю., Городжа А. Д. Применение методов и моделей искусственного интеллекта для автоматизации процессов испытаний строительных изделий и конструкций. // Прикладные системы искусственного интеллекта для автоматизации и тестирования программ и управления в технических системах. - К.: КИИГА, 1991. - с. 76-83.

3. Миньєва О. Ю. Интеллектуализация методов неразрушающего контроля строительных изделий и конструкций. // Методы неразрушающего контроля в ЦБН: Тезисы докладов, Львов, Каменяр, 1990. - с. 11.

4. Миньєва О. Ю., Городжа А. Д. Использование методов и моделей искусственного интеллекта при оценке качества строительных изделий. // Тезисы докл. 53-ей научно-практической конференции профессорско-преподавательского состава, аспирантов и студентов, К.: КИИ, 1992. - с. 153.

5. Миньєва О. Ю., Городжа А. Д., Яров В. И. Измерение индуктивности и активного сопротивления электродинамического излучателя электромагнитных импульсов давления. // Современное состояние проблемы и перспективы энергетики и технологии в энергостроении: Тезисы докладов, Иваново, 1989. - с. 19.

6. Миньєва О. Ю. Алгоритмы поиска в базах данных при приближенно сформулированных запросах. // Ситуационные модели в тренижных и управляющих системах. - К.: КИИГА, 1993. - с. 85 - 91.

---

Нідписано до друку 15.06.94. Формат 60x84/16. Папір друкарський.  
Офсетний друк. Ум. фарбовідб. 5. Ум. друк. арк. 0,93. Обл.-вид. арк. 1,25.  
Тираж 180 прим. Замовлення № 125-1. Ціна Вид. № 219/III.

---

Видавництво КМУЦА.  
252058. Київ-58, проспект Космонавта Комарова, 1.

458584

AB 30.692