

## Електронні системи

УДК 621.316.4

М.О. Дзюбецька, П.О. Яганов, канд. техн. наук

### Модулі обробки даних для автоматизованих систем управління будівлями

Для АСУ „Интеллектуальный дом” разработаны новые программные модули, которые используют для обработки данных методы регрессионного анализа, нейронных сетей, систем массового обслуживания, линейного программирования, нечеткой логики. С использованием технологий виртуальных приборов в среде графического программирования LabVIEW созданы панели управления для оператора АСУ «Интеллектуальный дом». Разработанные модули являются удобными в использовании и могут быть легко интегрированы в уже существующие АСУ.

New program modules of ACS «The Intelligent Building» which use for data processing the methods of regression procedure, neural networks, systems of mass service, linear programming, fuzzy logic were developed. The control panels were developed for the operator of the ACS «The Intelligent Building» using the technologies of virtual devices of the environment of graphic programming LabVIEW. The developed modules are convenient in use and can be easily integrated into already existing ACS.

**Ключові слова:** автоматизована система управління будівлями, алгоритми обробки даних, моделі станів технічних систем, програмні модулі, технологія LabVIEW.

#### Вступ

Сучасні автоматизовані системи управління (АСУ) будівлями є одними з розповсюджених апаратно-програмних комплексів, які використовують для створення комфортного та безпечного середовища проживання. Вони дістали назву „Интеллектуальный (або „розумний”) дім”. Їх актуальність обумовлена тим, що використання системи суттєво поліпшує ефективність експлуатації сучасного житлового приміщення. Наприклад, енергоспоживання будівлі з АСУ „Интеллектуальный дім” на 10 – 15% нижче, ніж у звичайних будинках [1].

На теперішній час ще не сформовані загально визнані критерії і визначення, які дозволяють чітко класифікувати АСУ житловою спорудою як „Интеллектуальный дім”. В той же час популярність терміна призвела до того, що компанії, які пра-

цюють на ринках локальних обчислювальних мереж, безпеки, телекомунікацій тощо, стали активно використовувати його у своїх маркетингових цілях, причому, як правило, необґрунтовано.

Аналіз можливостей більшості систем „Интеллектуальный дім” свідчить про те, що їх алгоритми функціонування часто зведені до програм подачі команд на виконавчі пристрої релейного захисту та схеми порівняння рівнів сигналів. Так, наприклад, вмикають освітлення, опалення, встановлюють температуру чи вологість у приміщенні, сигналізують про порушення доступу або безпеку, повідомляють про аварійну ситуацію. На відміну від систем, наділених штучним інтелектом і здатних приймати рішення, вони скоріше сумлінні виконавці, ніж радники особи, що приймає рішення. В той же час, потреба в системах „Интеллектуальный дім”, які можуть швидко оцінити складну і неоднозначну ситуацію, зростає [2, 3].

На шляху підвищення ефективності і розширення функціональних можливостей систем „Интеллектуальный дім” значним резервом є подолання невідповідності між апаратними можливостями, які швидко розвиваються, і алгоритмічними методами обробки даних цих систем, що складають основу програм керування виконавчими пристроями. В умовах жорсткої конкуренції на ринку комп'ютерних технологій створення універсального продукту, який би відповідав основним вимогам споживачів систем „Интеллектуальный дім”, є складною задачею, розв'язок якої потребує значних інвестицій. Одним із шляхів вирішення проблеми є інтеграція до складу базової системи „Интеллектуальный дім” нових програмних модулів, в яких для обробки даних використано методи моделювання станів складних багатофакторних технічних систем.

З метою підвищення ефективності та розширення функціональних можливостей автоматизованих систем управління „Интеллектуальный дім” розроблено нові програмні модулі в середовищі графічного програмування LabVIEW з використанням підпрограми MATLAB Script Node.

#### Основна частина

Визначення „розумний дім”, „интеллектуальный будинок” (англ. „intelligent building”) сформува-

ще в 70-і роки минулого століття у США. Вважали, що цей термін стосується дому, в якому передбачено продуктивне й ефективне використання робочого простору завдяки оптимізації структури, систем, служб і керування.

Сучасне розуміння можливостей АСУ „Інтелектуальний дім” не обмежується тільки житлом. „Інтелектуальний дім” чи його елементи можуть застосовуватися в будівлях різного призначення і масштабу, наприклад, у житлових багатоквартирних будинках і котеджах, великих адміністративних будинках і бізнесах-центрах, готельному господарстві, на промислових підприємствах, аеропортах, науково-виробничих комплексах, транспортних і складських агентствах тощо. Всі ці об’єкти є складними системами „людина-машина”, ефективність функціонування яких залежить від якості організаційного управління [4,5].

Початково сформульовані академіком В.М. Глушковим науково-методичні положення та рекомендації з проектування АСУ [6] тепер склалися як принципи, закріплені державним стандартом. До них належать принципи системності, розвитку, сумісності, стандартизації, уніфікації, ефективності. Сучасний рівень розробки і впровадження систем дає змогу широко використовувати типізацію проектних рішень, уніфікацію методів і засобів при підготовці проектних матеріалів, стандартизації підходів під час проектування окремих елементів систем і підсистем, методи автоматизації ведення проектних робіт з використанням персональних ЕОМ і організованих на їх базі автоматизованих робочих місць проєктувальника АСУ.

Більшість виробників та інтеграторів автоматизованих систем управління „Інтелектуальний дім” з метою збереження монопольного використання власного проекту не надають користувачу можливості зміни конфігурації та функціоналу апаратно-програмного комплексу як в апаратній, так і програмній частині. Це стримує розвиток систем і підтримує їх високу ціну.

В той же час, існують технології, які спираються на відкритість програмної архітектури та універсальність апаратних засобів підтримки проектних рішень. До їх числа належать технології компанії National Instruments (США), які реалізують концепцію „віртуального приладу”. Панель керування АСУ створюють в середовищі графічного програмування LabVIEW, а апаратна частина комплексу коректно взаємодіє з програмним продуктом за допомогою спеціальних драйверів, що доступні розробникам „віртуальних приладів”. Способи генерації команд, а також форма і склад відображуваної інформації

про стан об’єкту закладається на етапі розробки програмного забезпечення з урахуванням вимог проекту. Крім того, LabVIEW підтримує синтаксис MATLAB за допомогою підпрограми MATLAB Script Node, що надає практично необмежені можливості з моделювання, аналізу і синтезу згаданих вище алгоритмів обробки даних у поєднанні зі створенням зручного інтерфейсу користувача.

Розглянемо варіанти реалізації окремих програмних модулів, інтеграція яких до складу вже розроблених в середовищі LabVIEW систем „Інтелектуальний дім” [7, 8] дозволить підвищити їх ефективність і розширить функціональні можливості. Обробку даних здійснено з використанням математичного апарату регресійного аналізу, нейронних мереж, систем масового обслуговування, лінійного програмування, нечіткої логіки. Панель користувача модулів виконано у формі вікон, що розгортаються.

## 1. Модуль моніторингу та моделювання простору станів життєвого середовища

Як безпечно, так і комфортне життєве середовище визначають температура, вологість, атмосферний тиск, швидкість руху повітря, парціальний тиск газів, концентрація іонів тощо. Для своєчасного реагування на зміни стану середовища для АСУ „Інтелектуальний дім” важливо мати адекватну аналітичну залежність між деяким інтегральним параметром безпеки чи комфорту (параметром оптимізації) і факторами, що впливають на нього. Для оцінки взаємодії людини з оточуючим середовищем і визначення стану комфорту використовують методи, що ґрунтуються на емпіричних дослідженнях [9].

Якщо розглядати навколишнє середовище як багатофакторну систему, то її стан може описувати матриця станів  $Y$ , яка залежить від множини факторів, що утворюють матрицю умов  $X$ . Множині факторів, що формують рядок матриці  $X$ , ставиться у відповідність певний елемент матриці  $Y$ , який є інтегральним параметром стану життєвого середовища. Матриці  $X$  та  $Y$  формують за результатами експериментальних досліджень. Кожний елемент  $x_{kj}$  в матриці  $X$  фіксує значення  $k$ -го фактора у  $j$ -му досліді, а кожний елемент  $y_j$  матриці  $Y$  встановлює значення параметра оптимізації у  $j$ -му досліді.

В регресійному аналізі модель станів багатофакторної системи представляють поліномом виду:

$$y_{\text{мод}} = \sum_{i=1}^n b_i f_i(x_i) + b_0 \quad (1)$$

де  $Y_{\text{мод}}$  - параметр оптимізації згідно обраної моделі;  $b_0, b_i$  - коефіцієнти поліному;  $f_i(x_i)$  - функція  $i$ -го фактора;  $n$  - кількість факторів.

Коефіцієнти поліному визначають з матричного рівняння

$$B = (X^T \cdot X)^{-1} \cdot (X^T \cdot Y),$$

де  $(X^T \cdot X)^{-1}$  – обернена матриця  $(X^T \cdot X)$  [10].

Математичну модель простої одношарової нейронної мережі представляють системою рівнянь:

$$\begin{cases} y_i = f_1(a_i \cdot X + a_i^0), \\ Y = f_2(\sum_{i=1}^n b_i \cdot y_i + b^0), \end{cases} \quad (2)$$

де  $a_i$  – синаптичний (ваговий) коефіцієнт  $i$ -го вхідного сигналу,  $a_i^0, b^0$  – початкові зміщення нейронів внутрішнього та вихідного шару відповідно;  $f_1, f_2$  – функції активації нейронів внутрішнього та вихідного шару відповідно.

Синаптичні коефіцієнти і початкові зміщення нейронної мережі визначають в процесі проведення ітераційної процедури навчання [11, 12].

На рис. 1 зображено програмно-графічний код панелі керування системи моніторингу чистоти повітря, в якій контролюють концентрації угарного газу та ізобутану. Програмний код формує структуру нейронної мережі для визначення значення параметру чистоти повітря від значень вхідних параметрів шляхом запуску програми в MATLAB Script Node.

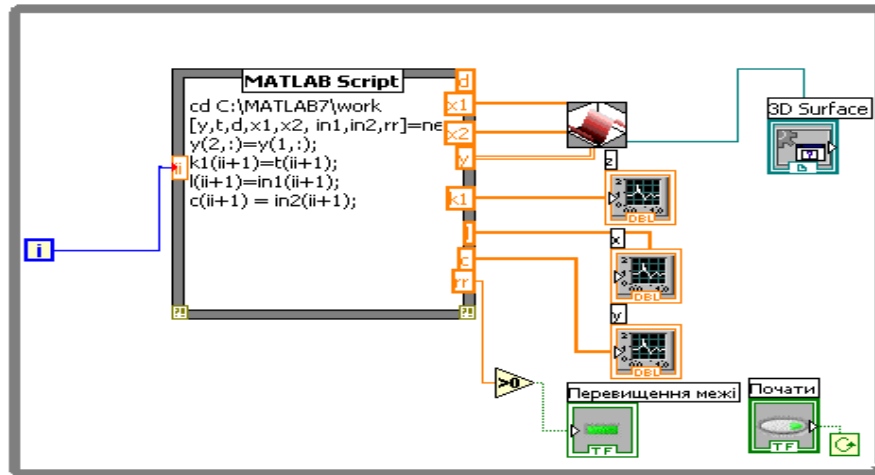


Рис. 1. Програмно-графічний код системи моніторингу чистоти повітря

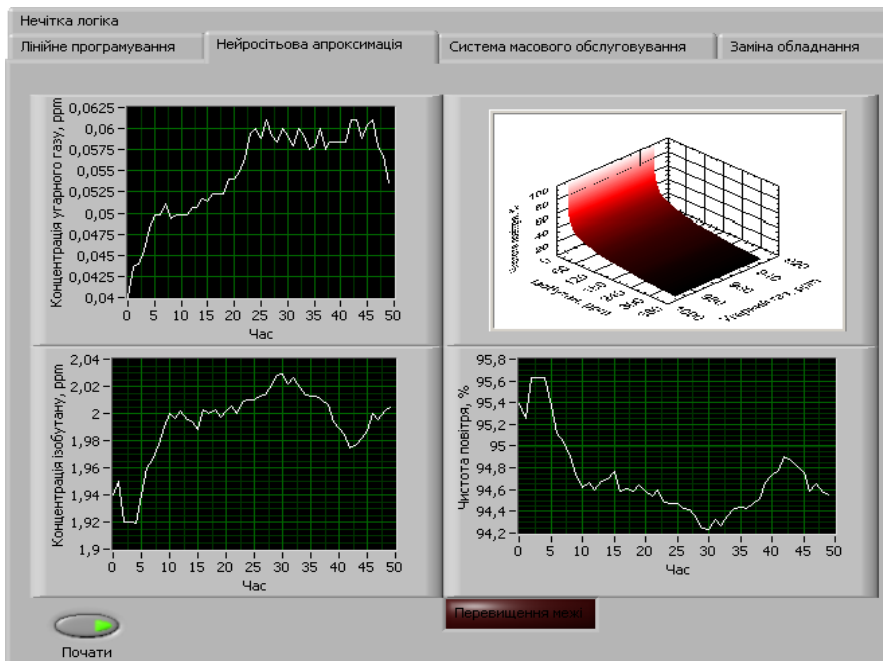


Рис. 2. Вікна панелі керування системи моніторингу чистоти повітря

На рис. 2 зображена панель керування віртуальним приладом системи моніторингу чистоти повітря. Нижнє праве вікно панелі відображає зміну інтегрального параметру оптимізації чистоти повітря від концентрації угарного газу та ізобутану (верхнє та нижнє вікно зліва) в часі. Використано числові дані, наведені в [13]. Поверхня станів чистоти повітря (верхнє вікно справа) апроксимована функцією, встановленою за допомогою нейронної мережі з прямими зв'язками і одним прихованим шаром. Попередження про небезпечний рівень забрудненості повітря супроводжується світ-ловим повідомленням: „Перевищення межі”.

## 2. Модуль оптимізації режимів функціонування системи масового обслуговування

Для АСУ „Інтелектуальний дім” актуальними є дослідження динамічних процесів, пов'язаних з обслуговуванням споживачів. В широкому розумінні споживачем послуги може бути не тільки фізична особа, але і організація, технологічна операція чи обладнання. Ці процеси є предметом дослідження систем масового обслуговування (СМО), а їх моделювання ґрунтується на математичному апараті теорії ймовірності. Подією в СМО є поява вимоги на обслуговування, початок або закінчення процесу обслуговування, виникнення черги, вивільнення каналу обслуговування. Теорія масового обслуговування найчастіше розглядає потік вимог, для якого імовірність надходжень  $n$  вимог у систему протягом часу  $t$  визначають за формулою Пуасона:

$$P_n(t) = \frac{(\lambda t)^n \cdot e^{-\lambda t}}{n!},$$

де  $\lambda$  - параметр потоку.

Структуру СМО представляють як функціонування сукупності джерел вимог, черг і каналів обслуговування. Всього у СМО знаходиться  $\bar{n}$  вимог, з них  $\bar{m}$  вимог чекає в чергах,  $\bar{k}$  вимог обслуговується в  $S$  каналах. Існує певна імовірність того, що  $\bar{p}$  каналів не буде зайнята обслуговуванням вимог. Якщо  $\bar{n} \geq S$ , то  $\bar{n} = \bar{m} + \bar{k}$  і у СМО є черги.

В більшості реально існуючих СМО, що тривалий час стабільно функціонують, можна визначити статистичні числові оцінки для опису як потоку вимог, так і інтенсивності обслуговування. Середню кількість вимог в системі  $\bar{n}$  і в черзі  $\bar{m}$ , середню кількість не завантажених обслуговуванням каналів  $\bar{p}$  із загальної кількості

$S$ , середній час чекання вимог в черзі  $\bar{t}$  визначають за формулами:

$$\bar{n} = \sum_{n=0}^{\infty} n \cdot P_n, \quad \bar{m} = \frac{\Psi^{S+1}}{S \cdot S! \left(1 - \frac{\Psi}{S}\right)^2} P_0,$$

$$\bar{t} = \frac{\Psi^S}{S! \cdot S \cdot \mu \cdot \left(1 - \frac{\Psi}{S}\right)^2} P_0, \quad \bar{p} = S - \Psi,$$

де  $P_0 = \frac{1}{\frac{\Psi^S}{S! \left(1 - \frac{\Psi}{S}\right)} + \sum_{n=0}^{S-1} \frac{\Psi^n}{n!}}$  - імовірність відсут-

ності вимог в системі,  $\Psi = \frac{\lambda}{\mu}$  - коефіцієнт використання системи,  $\mu$  - середня кількість вимог, які знаходяться на обслуговуванні за одиницю часу (параметр обслуговування);  $\lambda$  - середня кількість вимог, що надходить в СМО за одиницю часу (параметр потоку) [14].

Параметри обслуговування вимог  $\mu$  і потоку вимог  $\lambda$  встановлюють емпірично за результатами дослідження функціонування СМО.

Актуальною задачею є визначення оптимальної кількості каналів обслуговування. Зайвий ресурс, спрямований на розширення зони обслуговування, потребуватиме економічно невиправданих додаткових витрат, а дефіцит ресурсу створить небажані черги. Загальні витрати  $V$  багатоканальної СМО складаються з витрат, пов'язаних з простоюванням каналів обслуговування  $v_1$  та з витрат, пов'язаних з існуванням черги  $v_2$ :  $V = v_1 \bar{p} + v_2 \bar{t}$ .

У СМО потрібно знаходити розумний компроміс між довжиною черги як „неминучого лиха” і кількістю каналів обслуговування. Розв'язок оптимізаційної задачі і аналіз моделі конкретної технічної системи дозволяє прогнозувати її стан, оптимізувати роботу, здійснювати ефективне управління.

На рис. 3 зображена панель керування віртуальним приладом для системи масового обслуговування. Верхнє вікно зліва відображає гістограму потоку вимог, а верхнє праве - гістограму процесу обслуговування. Нижнє праве вікно ілюструє розв'язок задачі з визначення оптимальної кількості каналів обслуговування. Інформація щодо головних параметрів СМО подано на панелі у нижній частині зліва.

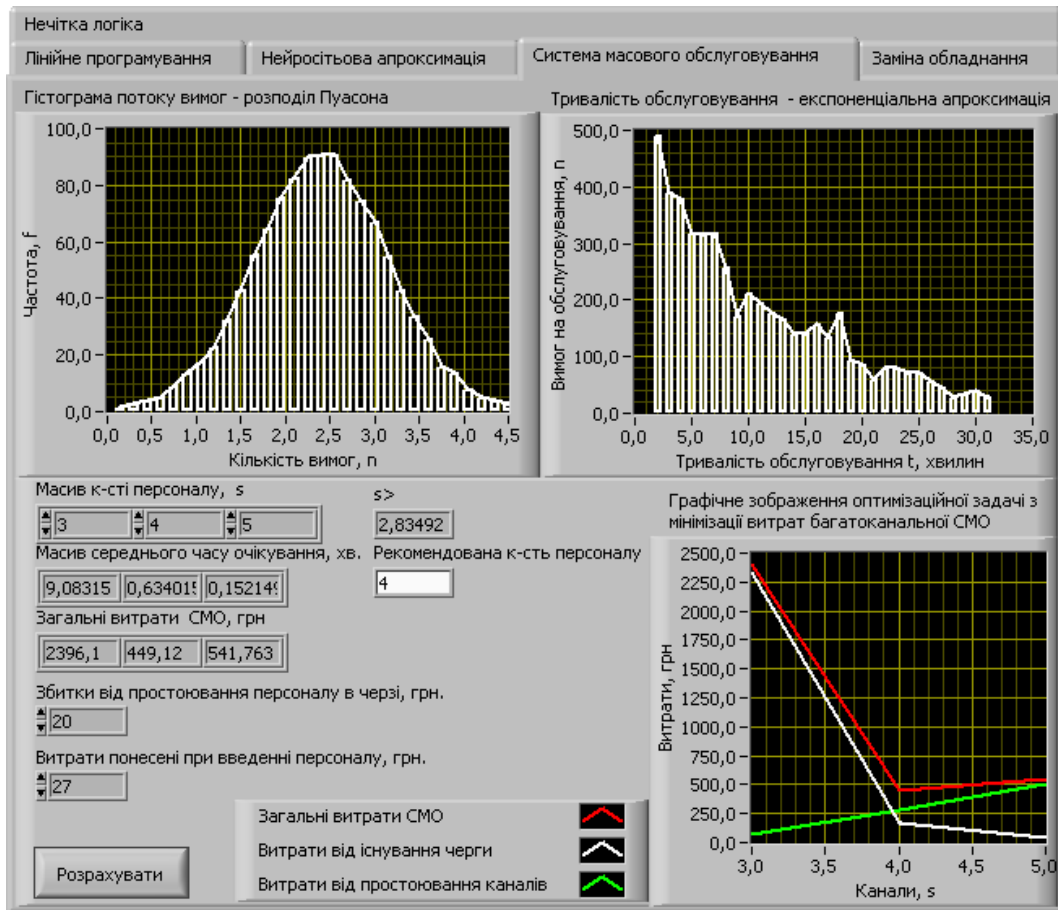


Рис. 3. Панель керування для системи масового обслуговування

### 3. Модуль задачі заміни обладнання

Актуальною задачею для управління житловою чи промисловою спорудою є визначення періоду для оновлення обладнання, зумовлене його старінням. Залишкова вартість обладнання, що знаходиться в експлуатації, знижується, а витрати на його обслуговування зростають. Виникає оптимізаційна задача, зміст якої полягає у визначенні моменту виведення обладнання з експлуатації з метою мінімізації витрат.

Ціну обладнання через час  $t$  розраховують за формулою:

$$V(t) = V_0 - V_0\phi(t) + \Psi(t) = V_0(1 - \phi(t)) + \Psi(t),$$

де  $V_0$  – початкова вартість обладнання;  $\phi(t)$  – функція зміни ціни обладнання з часом  $t$ ;  $\Psi(t)$  – сумарні витрати на ремонт та догляд за обладнанням.

Функція  $\phi(t)$  зазвичай є монотонно спадною, а  $\Psi(t)$  монотонно зростаючою. Як правило, це емпіричні лінійні або нелінійні функції. Якщо  $\phi(t)$  і  $\Psi(t)$  лінійні функції:  $\phi(t) = 1 - \frac{t}{T}$ ,  $\Psi(t) = kt$ , то середня вартість експлуатації

обладнання за час  $t$  протягом періоду  $0 < t < T$  є постійною величиною:

$$g = \frac{1}{t} \left[ V_0 - V_0 \left( 1 - \frac{t}{T} \right) + kt \right] = \frac{1}{t} \left[ V_0 \frac{t}{T} + kt \right] = \frac{V_0}{T} + k.$$

Отже, якщо прагнуть виконувати заміну обладнання в будь-який час, досить забезпечити лінійність характеристик  $\phi(t)$  і  $\Psi(t)$ .

У повсякденній господарській діяльності частіше має місце інша ситуація, коли  $\phi(t)$  і  $\Psi(t)$  нелінійні, найчастіше степеневі функції:

$\phi(t) = e^{-at}$ ,  $\Psi(t) = k_0(e^{bt} - 1)$ , де  $a$ ,  $b$ ,  $k_0$  – емпіричні коефіцієнти. Тоді функція вартості обладнання має вид:

$$g = \frac{1}{t} \left[ V_0(1 - e^{-at}) + k_0(e^{bt} - 1) \right].$$

Задачу заміни обладнання, обумовлена його старінням, зводять до знаходження мінімуму функції  $g(t)$  на часовому інтервалі від 0 до  $t$  [14].

На рис. 4 зображена панель користувача віртуального приладу, що розв'язує задачу визначення оптимального терміну експлуатації обладнання. Інтерфейс інтуїтивно зрозумілий і простий у використанні.

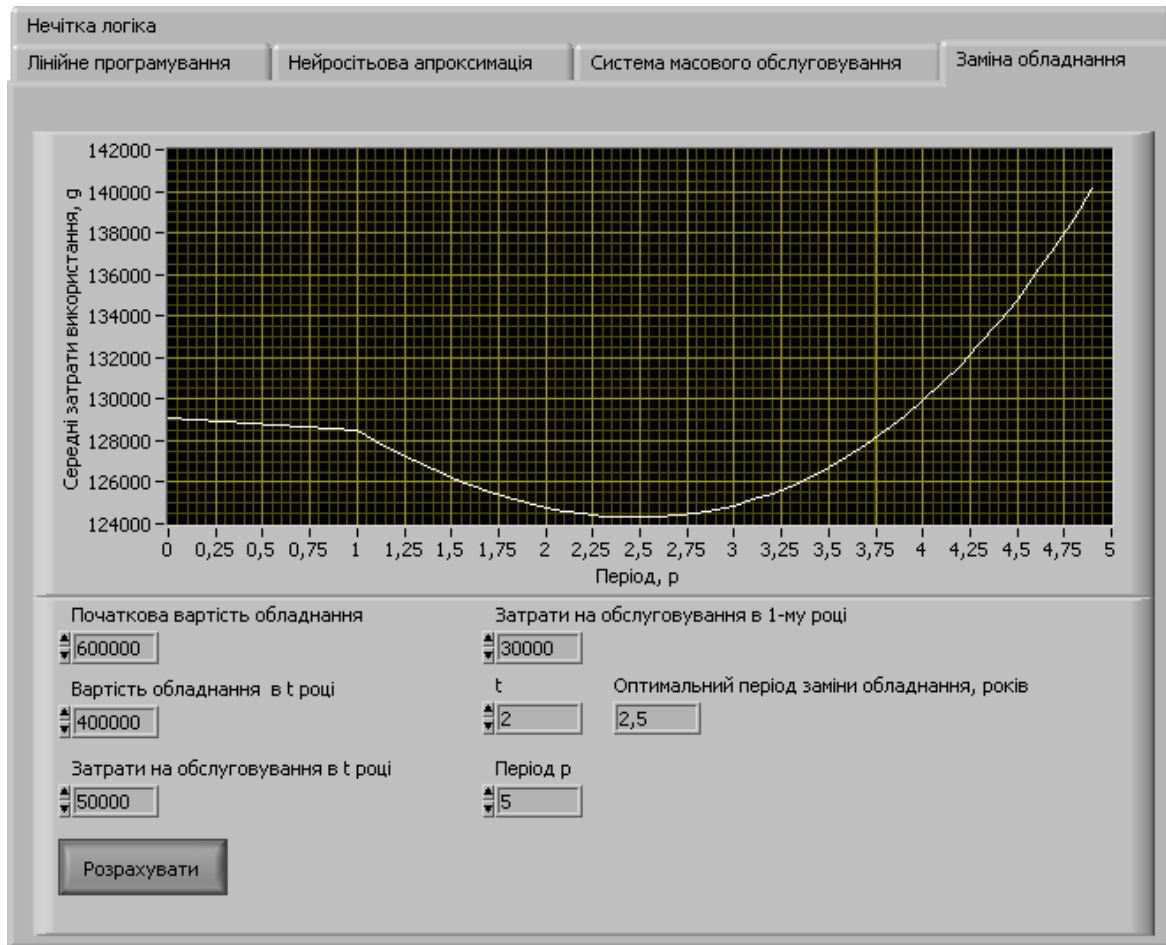


Рис. 4. Панель модуля заміни обладнання

#### 4. Модуль задачі організаційного управління

Функціонування „Інтелектуального дому” невіддільне від раціонального використання ресурсів, які, як правило, обмежені. Для прийняття рішень планового стратегічного характеру формулюють задачу організаційного управління. За своїм змістом така задача передбачає пошук значень керованих змінних, за яких досягають найбільшого або найменшого значення цільової функції, при певних обмеженнях, обумовлених наявними ресурсами. Найчастіше за допомоги цільової функції встановлюють витрати чи прибуток від господарської діяльності, а обмеження формують область допустимих значень керованих змінних. Визначена через керовані змінні цільова функція й обмеження складають модель організаційного управління.

Існує декілька способів рішення задач організаційного управління, але найбільш поширеним є симплекс-метод. В дослідженнях операцій цей метод використовують для розв'язку основної задачі лінійного програмування, формулювання якої співпадає з формулюванням вищезазначеної задачі. Завдяки основній теоремі симплекс-методу завжди можна встановити, чи досягнуто оптимального плану, чи ні.

До задачі лінійного програмування зводять ряд інших задач, найпоширенішою з яких є транспортна. Вона виникає при плануванні найбільш раціонального переміщення ресурсів маршрутами, що мають різну вартість. В залежності від обмежень чи заборон на певні переміщення транспортна задача може мати особливості в алгоритмах розв'язку. Серед інших відомих задач знаходяться задачі на „оптимальний розкрій”, „оптимальний раціон”, „оптимальне завантаження”, „оптимальне призначення” та інші [15, 16].

Очевидно, що коло задач, які виникають на етапах стратегічного планування та управління житловою будівлею достатньо широке. Не всі з них можуть бути формалізовані для розв'язку методом лінійного програмування. Якщо цільова функція і/або системи обмежень задані нелінійними рівняннями, для розв'язку задачі використовують методи нелінійного програмування.

На рис. 5 зображена панель керування задачі визначення оптимальної роботи технологічного обладнання в умовах обмежених запасів сировини як різновид задачі організаційного управління.

## 5. Модуль системи нечіткого висновку

Розробка алгоритмів, які формалізують міркування людини, для систем управління технічними приладами та процесами представляє сьогодні одну з найбільш актуальних задач. Такі нові системи обробки інформації і керування дістали назву систем нечіткого висновку. Їх функціонування відбувається на основі правил нечіткого висновку, а процедура отримання нечітких висновків здійснюють на підставі нечітких передумов з використанням основних операцій нечіткої логіки [17].

В якості прикладу реалізації системи нечіткого висновку розглянуто роботу побутових кондиціонерів, досвід використання яких вказує на те, що процес охолодження чи нагрівання повітря в приміщенні є інерційним. Після включення режиму „холод” відбувається нагнітання холодного повітря, і температура повітря в приміщенні поступово зменшується. При цьому в момент відключення цього режиму температура продовжує знижуватись протягом деякого проміжку часу. Аналогічні процеси спостерігаються при включенні і відключенні режиму „тепло”. Щоб врахувати цю особливість процесу керування кондиціонером і виключити додаткові витрати, пов'язані з частим вмикан-

ням і вимиканням режимів „холод” і „тепло”, необхідно розглядати в якості змінних не тільки температуру повітря в приміщенні, а і швидкість її зміни. У цьому випадку емпіричні знання можуть бути представлені у формі евристичних правил, що застосовуються у випадку ручного регулювання температури повітря в приміщенні з кондиціонером.

Для рішення цієї задачі була побудована база з 15 правил, а в якості алгоритму нечіткого висновку використано алгоритм Мамдані [18, 19]. Розробку нечіткої моделі, яка дістала назву „conditioner”, виконано з використанням графічних засобів пакету MATLAB [20].

На рис. 6 зображено програмно-графічний код панелі керування для задачі управління кондиціонером повітря в приміщенні, який формує команду виконання для MATLAB Script Node.

Слід відмітити, що не існує строго визначеного алгоритму побудови нечітких систем і їх розроблювач може використовувати власні методи реалізації нечітких операцій.

На рис. 7 зображена панель модуля керування кондиціонером для задачі стабілізації температури повітря в приміщенні.

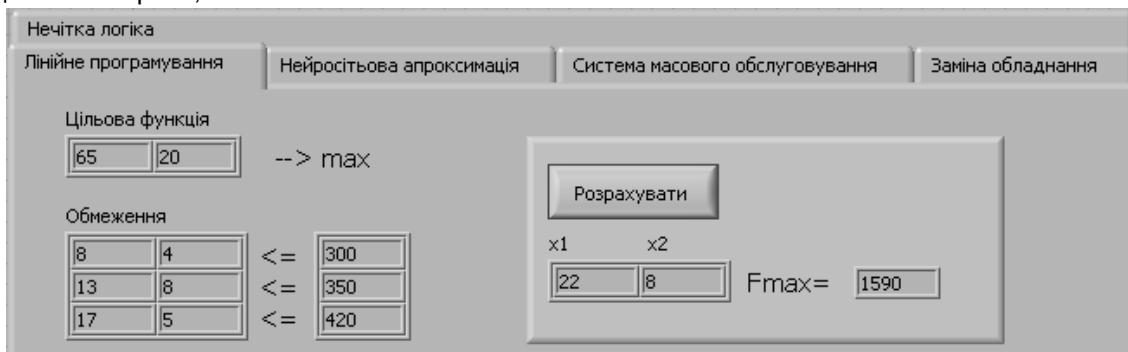


Рис. 5. Панель керування задачі організаційного управління

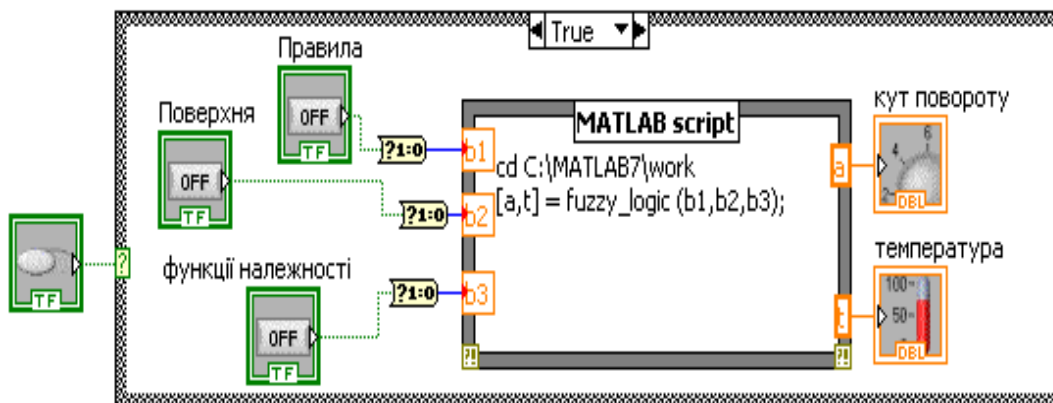


Рис. 6. Програмно-графічний код панелі керування кондиціонером



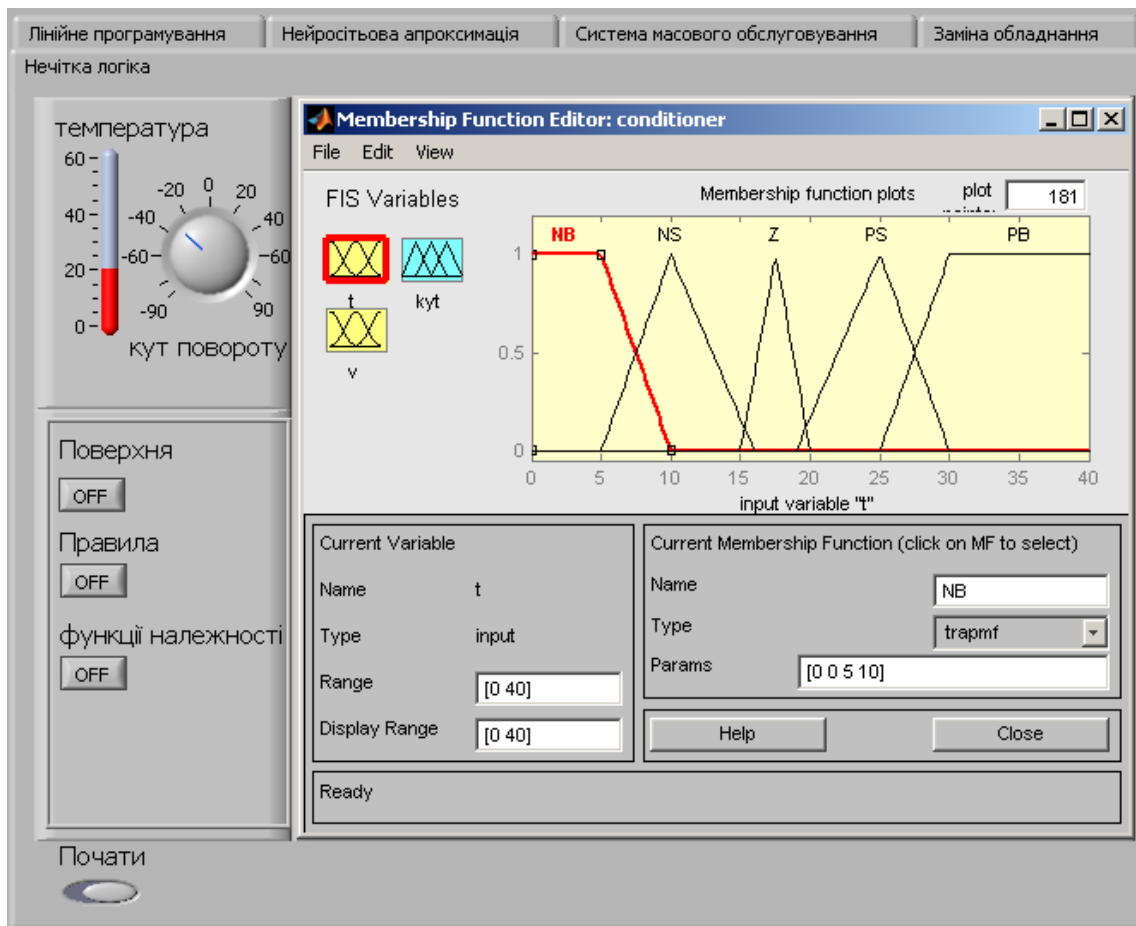


Рис. 7. Панель керування кондиціонером

## Висновки

В роботі досліджено резерви розширення функціональних можливостей сучасних АСУ „Інтелектуальний дім”. Обґрунтовано, що рівень автоматизації діяльності людини-оператора АСУ житловою спорудою, з якою традиційно пов'язують можливості штучного інтелекту, доцільно підвищувати шляхом удосконалення математичного інструментарію систем збору та обробки даних.

Поширено на моделювання функцій АСУ „Інтелектуальний дім” методи регресійного аналізу, нейронних мереж, систем масового обслуговування, лінійного програмування, нечіткої логіки, які поки що реалізовані досить обмежено в існуючих системах.

Для АСУ „Інтелектуальний дім” розроблено нові програмні модулі, які використовують для обробки даних математичний апарат дослідження операцій, оптимізації і прийняття рішень. Модулі зручні у використанні, не вимагають тривалого адаптаційного періоду для оператора-користувача та мають інтуїтивно зрозумілий інтерфейс.

Коло задач, які стосуються проблеми інтелектуалізації АСУ „Інтелектуальний дім”, не

обмежується проблемами, представленими в даній роботі. Тому подальші дослідження будуть спрямовані на розробку нових модулів для систем збору та обробки даних.

## Література

1. Петергеря Ю.С. Інтелектуальні системи забезпечення енергозбереження житлових будинків. Навчальний посібник / Жуйков В.Я., Терещенко Т.О. – К.: Медіа-ПРЕС, 2008. – 256 с.
2. Ильин С. «Интеллектуальные здания – вымысел маркетологов?». [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.cnews.ru/reviews/free/smarthouse2008/articles/intellectual.shtml?print>.
3. Ветринский М.Ю., Подгородецкая О.А. Рынок Интеллектуальных зданий // Сети и бизнес. – 2004. – №2. – С.1-12.
4. Дзманашвили Т.Г. Концепция интеллектуального здания // Сб. докладов III международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Образование, наука, инновации – вклад



- молодых исследователей 2008», г. Москва, Россия. – 2007. – С. 216-218.
5. *Реснянский М.* Интеллектуальное здание. Современные тенденции // Инновационные технологии видеонаблюдения. – 2007. – №3. – С. 34-36.
  6. *Глушков В.М.* Введение в АСУ. – К.: Техніка, 1972. – 254 с.
  7. *Яганов П.О., Ярмак Ю.А.* Розробка системи моніторингу “Розумний дім” в середовищі проектування LabVIEW // В сб. тез доповідей VI науково-технічної конференції „Приладобудування: стан і перспективи”. 24-25 квітня 2007 р., м. Київ, ПБФ, НТУУ “КПІ”. – 2007. – С. 316-317.
  8. *Дзюбецька М.О., Ярмак Ю.А.* Інтелектуальна автоматизована система управління життєзабезпеченням в будівлях // I студентська науково-технічна конференція „Приладобудування: стан і перспективи”, 23 квітня 2008 року, НТУУ „КПІ”, м. Київ, Україна. – 2007. – С. 95.
  9. *Ермакова И.И., Богатёнова А.И.* Динамическая модель оценки температурного комфорта человека. Электроника и связь. Тематический выпуск «Проблемы электроники», Ч. 2, – Киев, НТУУ «КПИ», 2008. – С. 81–85.
  10. *Яганов П.О.* Регресійний аналіз багатфакторних технічних систем. – К.: НТУУ «КПІ», 2006. – 36 с.
  11. *Круглов В.В., Борисов В.В.* Искусственные нейронные сети. Теория и практика. – М.: Горячая линия – Телеком, 2001. – 382 с.
  12. *Назаров А.В., Лоскутов А.И.* Нейросетевые алгоритмы прогнозирования и оптимизации систем. – СПб: Наука и техника, 2003. – 384 с.
  13. «*СпецЛаб*». *Контроллер климата*. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://www.goal.ru/components/climate\\_controller.html](http://www.goal.ru/components/climate_controller.html).
  14. *Кофман А.* Методы и модели исследования операций. М.: Мир, 1966. – 523 с.
  15. *Дослідження операцій в економіці: Підручник /* За ред. І.К. Федоренко, О.І. Черняка. – К.: Знання, 2007. – 558 с.
  16. *Карагодова О.О., Кігель В.Р., Рожок В.Д.* Дослідження операцій: Навч. посібник. – К.: Центр учбової літератури, 2007 – 256 с.
  17. *Зайченко Ю.П.* Нечеткие модели и методы в интеллектуальных системах: Учеб. для вузов. – К.: Издательский Дом «Слово», 2008. – 344с.
  18. *Mamdani E.H.* Application of fuzzy algorithms for control of simple dynamic plants // Proc. Inst. Elect. Eng. – 1974. – Vol.121, № 12. – P. 1585-1588.
  19. *Mamdani E.H., Assilian S.* An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller // Int. J. Man-Mach. – 1975. – Vol. 7, №1. – P.1-13.
  20. *Леоненков А.В.* Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. – С-Пб.: БХВ – Санкт-Петербург, 2005. – 716 с.