

**1 ПИТАННЯ ТЕОРІЇ, МЕТОДИ ТА АЛГОРИТМИ ЕФЕКТИВНОГО АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ ОБ'ЄКТАМИ ХІМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНОГО ТИПУ**

4. Павлов А. И. Виртуальный стенд для определения оптимального по быстродействию исполнительного устройства [Текст] / А. И. Павлов // Автоматизация технологических и бизнес-процессов. – Одесса : ОНАПТ, 2014. – № 4. – Т. 6. – С. 130–137;
5. Павлов А. И. Технология проектирования нейронных регуляторов [Текст] / А. И. Павлов // Автоматизация технологических и бизнес-процессов. – Одесса : ОНАПТ, 2010. – № 4. – С. 15–20;
6. Павлов А. И. Повышение эффективности управляющих воздействий автоматических регуляторов [Текст] / А. И. Павлов // Автоматизация технологических и бизнес-процессов. – Одесса : ОНАПТ, 2011. – № 5, 6. – С. 31–37.

**References**

1. Pavlov A. I. Dinamicheskaya korrektsiya koeffitsienta peredachi proporsional'no-integral'nogo regul'yatora [Tekst] / A. I. Pavlov // Avtomatizatsiya tekhnologicheskikh i biznes-protseessov. – Odessa : ONAPT, 2015. – № 1. – Т. 7. – S. 31–34.;
2. Vodichev V. A. Doslidzhennya dynamichnykh kharakterystyk parametrychnykh system keruvannya tekhnologichnymy protsessamy [Tekst] / V. A. Vodichev, P. M. Montik, Ali Aldayiri // Avtomatizatsiya tekhnologicheskikh i biznes-protseessov. – Odessa: ONAPT, 2014. – № 3 (19). – S. 4–7.;
3. Pavlov A. I. Povysheniye adekvatnosti imitatsionnykh modeley nelineynykh dissipativnykh ob'ektov [Tekst] / A. I. Pavlov // Avtomatizatsiya tekhnologicheskikh i biznes-protseessov. – Odessa: ONAPT, 2014. – № 17. – S. 4–7.;
4. Pavlov A. I. Virtual'nyy stend dlya opredeleniya optimal'nogo po bystrodeystviyu ispolnitel'nogo ustroystva [Tekst] / A. I. Pavlov // Avtomatizatsiya tekhnologicheskikh i biznes-protseessov. – Odessa: ONAPT, 2014. – № 4. – Т. 6. – S. 130–137.;
5. Pavlov A. I. Tekhnologiya proektirovaniya neyronnykh regul'yatorov [Tekst] / A. I. Pavlov // Avtomatizatsiya tekhnologicheskikh i biznes-protseessov. – Odessa: ONAPT, 2010. – № 4. – S. 15–20.;
6. Pavlov A. I. Povysheniye effektivnosti upravlyayuschikh vozdeystviy avtomaticheskikh regul'yatorov [Tekst] / A. I. Pavlov // Avtomatizatsiya tekhnologicheskikh i biznes-protseessov. – Odessa: ONAPT, 2011. – № 5, 6. – S. 31–37.

УДК 004.942

## МОДЕЛЬ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ СТАНУ ҐРУНТІВ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ПІДПРИЄМСТВА

Молодецька К. В., Нетребко Р. В.

Житомирський національний агроекологічний університет  
Житомирський військовий інститут ім. С. П. Корольова

Copyright © 2014 by author and the journal “Automation technological and business - processes”.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>DOI: [10.15673/2312-3125. 21/](https://doi.org/10.15673/2312-3125.21/)**Анотація**

Відсутність ефективних систем автоматизації процесів оперативного моніторингу стану ґрунтів є основною причиною зниження якості прогнозу і врожайності, ускладнення процесів розробки агротехнічних планів



## **1 ПИТАННЯ ТЕОРІЇ, МЕТОДИ ТА АЛГОРИТМИ ЕФЕКТИВНОГО АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ ОБ'ЄКТАМИ ХІМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНОГО ТИПУ**

для конкретного поля або ділянки та зростання витрат й зниження загальної ефективності роботи сільськогосподарського підприємства. У статті проведено функціональний аналіз предметної області досліджень і побудовано структурну схему автоматизованої системи моніторингу стану ґрунтів, яка включає модуль прийняття технологічних рішень щодо зрошення. Встановлено, що задача прийняття рішення щодо зрошення ґрунту є слабоформалізованою задачею в умовах невизначеності або ризику. Розроблено модель прийняття рішень на базі апарату нечіткої логіки, що підвищить обґрунтованість і оперативність функціонування зрошувальної системи.

### **Abstract**

*The lack of effective systems of automation of processes operative monitoring of soil is the main cause reduced quality and yield prediction, complications processes of farming plans for specific fields or areas and increase costs and reduce the overall efficiency of the agricultural enterprise. The article analyzes the functional domain of research and built a block diagram of an automated monitoring system of soil which includes a module adoption of technological solutions to irrigation. Established that a decision on the problem of soil irrigation is the object of weakly-formalized under uncertainty or risk. The model bases decisions on fuzzy logic, which will increase the validity and efficiency of the functioning of the irrigation system.*

### **Ключові слова**

Автоматизована система, моніторинг ґрунту, нечітка логіка, прийняття рішень, сільськогосподарське підприємство.

### **Постановка проблеми**

На сучасному етапі розвитку економіки України сільське господарство є однією із провідних галузей держави. Налагодження ефективного управління в сільському господарстві пов'язується із великою кількістю проблем, а саме відсутністю достовірних і оперативних відомостей про стан ґрунту, повітря, характер землекористування тощо [1-2]. Спостереження за станом ґрунтів називається моніторингом ґрунтів на землях сільськогосподарського призначення. Відсутність ефективних систем оперативного моніторингу ґрунтів у системі управління сільськогосподарського підприємства призводить до зниження якості прогнозу і врожайності, ускладнення процесів розробки агротехнічних планів стосовно кожного конкретного поля або ділянки і як результат, зростання витрат та зниження загальної ефективності роботи підприємства [1, 3].

Для вирішення цієї проблеми необхідно впроваджувати у структуру системи управління сільськогосподарськими підприємствами сучасні інформаційні технології. Автоматизовані системи моніторингу стану ґрунтів забезпечать достовірне отримання, збереження, обробку даних і підтримку процесів прийняття технологічних рішень з питань основного та передпосівного обробітку ґрунту, доцільності й строків сівби сільськогосподарських культур, норм і строків внесення добрив, поливу, тощо.

### **Аналіз останніх досліджень і публікацій**

Моніторинг ґрунтів проводиться Міністерством аграрної політики у співпраці з іншими виконавцями й такі дослідження носять загальнодержавний характер. Регіональні центри виконують роботи з ґрунтово-агрохімічного обстеження, створення і ведення інформаційного банку даних про стан ґрунтів та єдиної інформаційно-аналітичної системи родючості ґрунтів тощо [1]. Використання сільськогосподарськими підприємствами результатів такого моніторингу є недоцільним, адже він не відповідає основній вимозі – оперативності контролю параметрів.

Широкого розповсюдження набувають системи точного землеробства. Вони ґрунтуються на новому погляді на сільське господарство, при якому поле, неоднорідне за рельєфом, ґрунтовим покривом, агрохімічним вмістом потребує застосування на кожній ділянці окремих агротехнологій. Засобом реалізації цих технологій є спеціально розроблене програмне забезпечення засноване на використанні ГІС-технологій [2,3]. Однією із функцій систем точного землеробства є керування технологічними процесами відповідно до технологічних карт. Однак, впровадження таких систем пов'язане із проблемою адаптації до конкретних умов системи підтримки прийняття рішень, вимагає високих витрат на закупівлю обладнання і навчання працівників. Тому актуальним завданням є розробка автоматизованих систем моніторингу стану ґрунтів, які вирішують задачі оперативного моніторингу, ґрунтуються на використанні сучасних інформаційних технологій і підвищують ефективність управління сільськогосподарських підприємств.

**1 ПИТАННЯ ТЕОРІЇ, МЕТОДИ ТА АЛГОРИТМИ ЕФЕКТИВНОГО АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ ОБ'ЄКТАМИ ХІМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНОГО ТИПУ**

Метою проведених досліджень є розробка моделі системи моніторингу стану земельних ресурсів підприємства, що забезпечить оперативність збору інформації і підтримку процесів прийняття технологічних рішень.

**Результати досліджень**

На початкових етапах досліджень було проведено системний аналіз предметної області засобами методології функціонального аналізу IDEF 0 (рис. 1). Методологія IDEF 0 призначена для формалізації і опису бізнес-процесів системи, особливістю є ієрархічне представлення об'єктів, що значно полегшує аналіз предметної області [4]. Встановлено, що моніторинг стану земельних ресурсів складається з п'яти бізнес-процесів. На початковому етапі виконується вимірювання із використанням спеціальних датчиків, які визначають вологість ґрунту і запаси вологи. Вхідними даними для визначення кліматичних показників є прогноз погоди і показники середовища. Вихідні дані цих бізнес-процесів використовуються для прийняття технологічних рішень, на основі яких синтезується управління, що подається на систему зрошування.

В результаті проведеного аналізу розроблено структурну схему автоматизованої системи моніторингу стану земельних ресурсів, що подана на рис. 2.

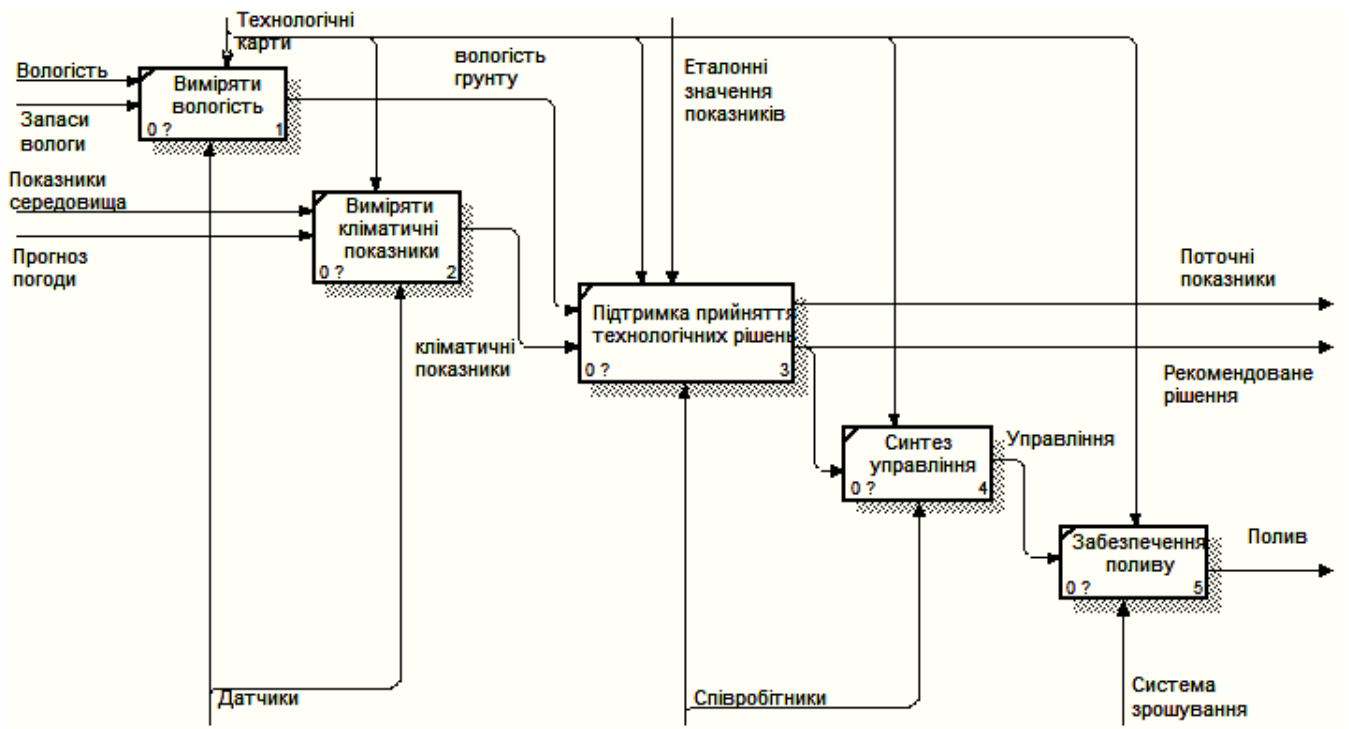


Рис. 1. Декомпозиція контекстної діаграми системи моніторингу



**1 ПИТАННЯ ТЕОРІЇ, МЕТОДИ ТА АЛГОРИТМИ ЕФЕКТИВНОГО АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ ОБ'ЄКТАМИ ХІМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНОГО ТИПУ**

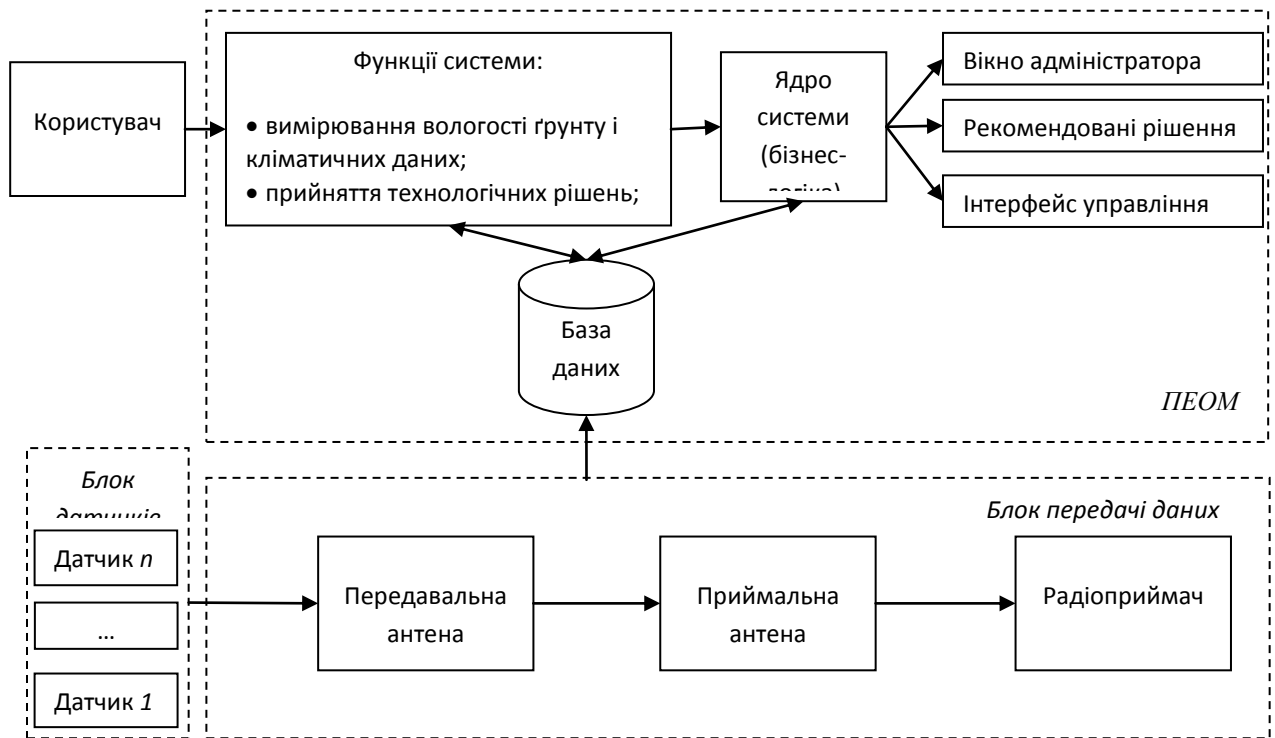


Рис. 2. Структурна схема автоматизованої системи моніторингу стану ґрунтів

В структурі системи виділено два рівні: нижній – вимірювання параметрів ґрунту і кліматичних показників та верхній – управління. Встановлено, що запропонована структурна схема автоматизованої системи моніторингу відрізняється від існуючих простотою реалізації і невисокою вартістю.

В результаті аналізу встановлено, що задача прийняття рішень про зрошення ґрунту розв'язується без урахування експертних знань в таких умовах: неповноти вихідних даних; невизначеності вихідних даних; ризику. При виборі альтернатив необхідно враховувати велику кількість суперечливих вимог і, як наслідок, оцінювати варіанти рішень по багатьом критеріям. Суперечливість вимог, неоднозначність оцінки ситуацій, невірно визначені пріоритети ускладнюють прийняття рішень. Прийняття технологічних рішень про зрошення ґрунту є слабоформалізованою задачею багатофакторного прийняття рішень, тому ядро системи доцільно реалізувати із використанням теорії нечітких множин [4].

Вирішальний алгоритм, покладений в основу функціонування модуля прийняття рішень ядра автоматизованої системи моніторингу складається з таких етапів [5]:

1. Фіксація вектору виміряних значень вхідних параметрів системи моніторингу ґрунту:

$$X^* = (x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*) \quad (1)$$

2. Розрахунок значень функцій належності  $\mu^j(x_i^*), i = \overline{1, n}$  на основі дзвоноподібної моделі функції належності з параметрами  $b$  і  $c$  для всіх термів нечітких змінних

$$\mu^j(x_i^*) = \frac{1}{1 + \left(\frac{x_i^* - b}{c}\right)^2} \quad (2)$$

3. Обчислення значень функцій належності  $\mu^{d_j}(x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*)$  при векторі стану вхідних змінних параметрів ґрунту  $X^* = (x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*)$  для всіх рішень  $d_1, d_2, \dots, d_m$ , використовуючи знання про співвідношення із бази знань. При цьому логічні операції І ( $\wedge$ ) чи АБО ( $\vee$ ) над функціями належності замінюються операціями  $\max$  і  $\min$ :



**1 ПИТАННЯ ТЕОРІЇ, МЕТОДИ ТА АЛГОРИТМИ ЕФЕКТИВНОГО АВТОМАТИЧНОГО  
УПРАВЛІННЯ ОБ'ЄКТАМИ ХІМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНОГО ТИПУ**

$$\mu(a) \wedge \mu(b) = \min[\mu(a), \mu(b)], \quad (3)$$

$$\mu(a) \vee \mu(b) = \max[\mu(a), \mu(b)]. \quad (4)$$

4. Визначення рішення  $d_j^*$ , для якого

$$\mu^{d_j}(x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*) = \max_{j=1, n} [\mu^{d_j}(x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*)]. \quad (5)$$

Це і буде шукане рішення для вектору значень вхідних змінних параметрів ґрунту  $X^* = (x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*)$ .

5. Процедура знаходження звичайного значення для кожного із рішень називається дефазифікацією, яку виконано із використанням методу центру тяжіння

$$\int_{\min}^u \mu^{d_j}(x_j) dx = \int_u^{\max} \mu^{d_j}(x_j) dx. \quad (6)$$

Запропонований алгоритм використовує ідею ідентифікації лінгвістичного терму по максимуму функції належності і узагальнює цю ідею на всю матрицю знань.

Позначимо через змінну  $D$  інтегральний показник потреби у поливі ґрунту. Таким чином, автоматизована система рекомендує користувачу одне із технологічних рішень:  $d_1$  – вимкнути полив рослин;  $d_2$  – невеликий рівень поливу;  $d_3$  – значний полив.

Для оцінки інтегрального показника  $D$  використано узагальнені показники  $X$  та  $Y$ , що визначаються на основі частинних показників [4]. Ці показники формалізуються лінгвістичними змінними з такими термами:

1)  $X$  – вологозабезпеченість рослин, яка оцінюється з урахуванням наступних часткових показників:

- вологість ґрунту  $x_1 \in [0;100]$  – низька (Н), середня (С), вища середньої (вС), висока (В);
- рівень ґрунтових вод  $x_2 \in [0;20]$  – близько (Б), неглибоко (нГ), глибоко (Г);
- опади за поточний період  $x_3 \in [0;1000]$  – відсутні (В), мало (М), середньо (С), багато (Б);

2)  $Y$  – кліматичний фактор:

- прогноз опадів  $y_1 \in [0;1000]$  – відсутні (В), низькі (Н), середні (С), великі (В);
- температура повітря  $y_2 \in [-20;50]$  – низька (Н), середня (С), вища середньої (вС), висока (В);
- вологість повітря  $y_3 \in [0;100]$  – низька (Н), середня (С), висока (В);
- швидкість вітру  $y_4 \in [0;20]$  – відсутній (В), мінімальний (Мі), середній (С), максимальний (Ма).

Задача прийняття технологічних рішень модулем ядра автоматизованої системи полягає в тому, щоб поставити у відповідність вимірних вхідним параметрам з відомими частковими показниками одне із рішень  $d_1 \dots d_3$ . Взаємозалежність прийнятих вимірних параметрів ґрунту представлено як систему відношень

$$D = f_D(X, Y), \quad (7)$$

$$X = f_X(x_1, x_2, x_3), \quad (8)$$

$$Y = f_Y(y_1, y_2, y_3, y_4). \quad (10)$$

Формалізовані експертні знання у вигляді продукційного набору правил для лінгвістичних змінних, що відповідають співвідношенням (7)-(10) подано в табл. 1.



**1 ПИТАННЯ ТЕОРІЇ, МЕТОДИ ТА АЛГОРИТМИ ЕФЕКТИВНОГО АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ ОБ'ЄКТАМИ ХІМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНОГО ТИПУ**

Таблиця 1

Знання, що відповідають співвідношенню (7)

$X$	$Y$	$D$
H	H	$d_3$
H	C	
нС	H	
$X$	$Y$	$D$
C	H	$d_3$
вС	H	
H	B	$d_2$
нС	C	
вС	C	
C	C	
B	H	$d_1$
C	B	
нС	B	
вС	B	
B	C	
B	B	

Розроблену модель прийняття технологічних рішень у автоматизованій системі моніторингу стану ґрунтів реалізовано засобами пакету прикладних програм Matlab Fuzzy Logic Toolbox [6]. Спроектвана система нечіткого висновку складається із трьох моделей – «Вологозабезпеченість», «Клімат» і «Полив». На рис. 3, а подано екранну форму редактора перегляду правил для моделі «Клімат», а на рис. 3, б – нечітку поверхню висновку.

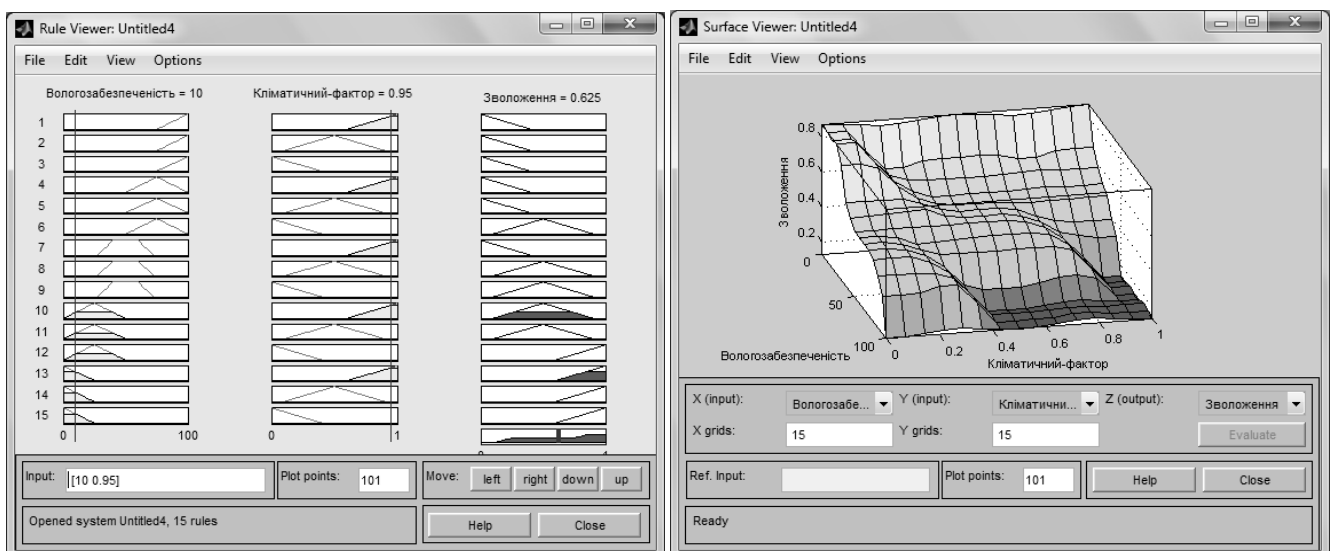


Рис. 3: а – вікно редактора правил моделі «Клімат»; б – нечітка поверхня висновку



## **1 ПИТАННЯ ТЕОРІЇ, МЕТОДИ ТА АЛГОРИТМИ ЕФЕКТИВНОГО АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ ОБ'ЄКТАМИ ХІМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНОГО ТИПУ**

Отже, використання розробленої моделі прийняття технологічних рішень модуля ядра автоматизованої системи моніторингу стану ґрунтів сільськогосподарського підприємства підвищить обґрунтованість прийнятих користувачем рішень, забезпечить їх оперативність і достовірність.

### **Висновки та перспективи подальших досліджень**

Отже, застосування запропонованої моделі автоматизованої системи моніторингу стану ґрунтів дозволяє підвищити ефективність використання земельних ресурсів сільськогосподарського підприємства, якість виробленої продукції та, як результат, забезпечить підвищення конкурентоспроможності підприємства на ринку. Подальші дослідження будуть спрямовані на розширення функціональних характеристик системи для прийняття технологічних рішень щодо сівби і внесення добрив.

### **Література**

1. Моніторинг ґрунтів: [Електронний ресурс] / Агробізнес сьогодні. - Режим доступу: <http://www.agro-business.com.ua/u-pravovomu-poli/223-monitoring-gruntiv.html> (дата звернення: 12.05.15). - Назва з екрану.
2. Ласло, О.О. Впровадження технологій точного землеробства в Україні [Текст] / О.О. Ласло // Вісник Полтавської державної аграрної академії. - 2011. - № 1. - С. 49-50.;
3. Маланчук, М. Сучасні проблеми здійснення моніторингу ґрунтового покриву в Україні [Текст] / М. Маланчук, Р. Панас // Геодезія, картографія і аерознімання. - Львів: ЛНУ. - 2013. - Вип. 78. - С. 201-205.
4. Веріго, С.А. Методика составления прогноза запасов продуктивной влаги и оценка влагообеспеченности зерновых культур : сборник метод. указаний по анализу и оценке агрометеорологических условий [Текст] / С.А. Веріго. - Л. : Гидрометеоздат, 1957. - С. 143-164.;
5. Ротштейн, А.П. Интеллектуальные технологии идентификации: нечеткие множества, генетические алгоритмы, нейронные сети [Текст] / А.П. Ротштейн. - Винница: "Универсум-Винница", 1999. - 320 с. ;
6. Леоненков, А. Нечеткое моделирование в среде Matlab и FuzzyTech [Текст] / А. Леоненков. - СПб. : БХВ-Петербург, 2005. - 736 с.

### **References**

1. Monitorynh gruntiv: [Elektronnyy resurs] / Ahrobiznes s'ohodni. - Rezhym dostupu: <http://www.agro-business.com.ua/u-pravovomu-poli/223-monitoring-gruntiv.html> (data zvernennya: 12.05.15). - Nazva z ekranu.
2. Laslo, O.O. Vprovadzhennya tekhnolohiy tochnoho zemlerobstva v Ukrayini [Tekst] / O.O. Laslo // Visnyk Poltavs'koyi derzhavnoyi ahrarnoyi akademiyi. - 2011. - # 1. - S. 49-50.;
3. Malanchuk, M. Suchasni problemy zdiysnennya monitorynhu gruntovoho pokryvu v Ukrayini [Tekst] / M. Malanchuk, R. Panas // Heodeziya, kartohrafiya i aeroznimannya. - L'viv: LNU. - 2013. - Vyp. 78. - S. 201-205.
4. Veryho, S.A. Metodyka sostavlenyya prohnoza zapasov produktyvnoy vlahy y otsenka vlahoobespechennosty zernovykh kul'tur : sbornyk metod. ukazannyu po analyzu y otsenke ahrometeorolohycheskykh uslovyu [Tekst] / S.A. Veryho. - L. :Hydrometeoyzdat, 1957. - S. 143-164.;
5. Rotshteyn, A.P. Yntellektual'nye tekhnolohy ydentyfykatsyy: nechetkye mnozhestva, henetycheskye alhorytmy, neyronnyye sety [Tekst] / A.P. Rotshteyn. - Vynnytsa: "Unyversum-Vynnytsa", 1999. - 320 s. ;
6. Leonenkov, A. Nechetkoe modelyrovanye vsrede Matlab y FuzzyTech [Tekst] / A. Leonenkov. - SPb. : BKhV-Peterburh, 2005. - 736 s.