

УДК 004.891.2:632

В. М. Дубовой, д-р техн. наук, проф.;

О. С. Сольський

ПРОГНОЗУВАННЯ НЕБЕЗПЕКИ УРАЖЕННЯ РОСЛИН НА ОСНОВІ МОДЕЛІ НЕЧІТКОГО ВИСНОВКУ МАМДАНІ–ЗАДЕ З ВИКОРИСТАННЯМ ГЕОІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ

Запропоновано розв'язання задачі довгострокового прогнозування щільності шкідників (хвороб рослин) за допомогою геоінформаційної технології на основі моделі нечіткого висновку Мамдані–Заде. Також запропоновано модель розв'язання задачі короткострокового прогнозування у захисті рослин.

Вступ

Прогнозування у захисті рослин (ЗР) здійснюється з метою запобігання несподіваної масової появи шкідників і епіфітотій хвороб, коли шкодочинність будь-якого шкідливого організму буває найбільшою, а захист культур потребує надзвичайно великих витрат коштів і засобів захисту рослин. Відсутність, а також неякісність прогнозу (разом із загальним, без урахування особливостей певної місцевості) призводить до великих втрат врожаю або перевитрат пестицидів, а це — забруднення довкілля, перевитрати енергії та здорожчання продукції. У практиці поширені три види прогнозів: багаторічний (стратегічний), довгостроковий (річний), короткостроковий (фенологічний, оперативний) [1].

Фундаментом для розробки моделей прогнозування чисельності шкідників (епіфітотій хвороб) є математична теорія динаміки популяцій [2, 3].

Моделі природних спільнот, де співіснують багато видів, особливо вищих тварин, представлені системою із сотень диференціальних рівнянь, для розв'язання яких необхідні значні комп'ютерні потужності [2]. Оскільки природні умови та кількість шкідників кожного виду в різних районах країни різні, то таку систему рівнянь необхідно розв'язувати для кожного району окремо. З урахуванням великої кількості таких районів, задача розробки прогнозів для захисту рослин, особливо короткострокових, є невирішеною. Методом спрощення таких розрахунків є використання баз знань на основі нечіткої логіки [4]. Для розв'язування задачі необхідно проводити дослідження видового та кількісного складу видів шкідників (епіфітотій хвороб) в кожному такому районі, а це потребує певних технічних та матеріальних затрат, які є недоступними для більшості невеликих с/г підприємств. Виходом з цієї ситуації є застосування *геоінформаційних* технологій, які для визначення видового та кількісного складу видів шкідників в заданому районі дозволяють використовувати результати досліджень в сусідніх районах.

Виходячи із вищесказаного, *задача* автоматизації прогнозування в захисті рослин та оповіщення с/г підприємств (своєчасна сигналізація) засобами геоінформаційної технології *є актуальною*.

Прогнозування щодо кожного виду шкідників (хвороб рослин) проводиться окремо, за винятком хвороб рослин, які можуть переноситись шкідниками. В такому випадку спочатку здійснюється прогноз щодо шкідників-переносників хвороби, а потім щодо самої хвороби з урахуванням попередніх прогнозів.

Задача довгострокового прогнозування

Задачу розробки довгострокового прогнозу можна розділити на 2 етапи:

1) визначення щільності шкідників (хвороб рослин) на вибраній території з урахуванням результатів обстежень на сусідніх територіях, рози вітрів, а також особливостей поширення цього виду шкідників (хвороб рослин) в залежності від фази динаміки популяції, в якій він знаходиться, оцінки погодних умов;

2) прогнозування щільності шкідників (хвороб рослин) на основі прогнозу погоди на наступний

рік, фази динаміки популяції, в якій знаходиться цей вид шкідників (хвороба рослини), оцінки погодних умов.

Алгоритм розв'язання задачі показаний на рис. 1.

Етап 1. Якщо дослідження на вибраній території щодо визначення щільності шкідника (хвороби рослини), щодо якої робиться прогноз, вже проводилися, тоді переходимо до другого етапу (Щ_m — щільності шкідника (хвороби рослини) на вибраній території), в іншому випадку визначаємо найближчі території (райони), що розташовані з різних сторін, на яких проводилися такі дослідження $R_i = \{x_i, y_i, \text{Щ}_i, \dots\}$, та отримуємо результати цих досліджень $R_i(x_i, y_i, \text{Щ}_i, \text{НВ}_i, \text{СВ}_i, \text{ОП}_i, \text{ОР}_i, \text{ФП}_i)$, де $i = 1 \dots m$, де m — кількість вибраних для аналізу найближчих територій (районів); x_i, y_i — координати точки на місцевості, яка знаходиться на i -й території (районі), в якій проводилися дослідження; Щ_i — щільність шкідників (хвороб рослин) на i -й території (районі); НВ_i — основний напрям вітрів (роза вітрів) на i -й території (районі); СВ_i — середня швидкість вітрів на i -й території (районі); ОП_i — оцінка умов, які сприяють розповсюдженню (поширенню) шкідника (хвороби рослин) на i -й території (районі); ОР_i — оцінка умов, які сприяють розмноженню шкідника (хвороби рослин) на i -й території (районі); ФП_i — фаза динаміки популяції шкідника (хвороб рослин) на i -й території (районі).

На початку прогнозування будемо вважати, що щільність шкідника (хвороби рослини) на вибраній території не може бути меншою, ніж найменша із вибраних сусідніх територій ($\text{Щ}_m = \min(\text{Щ}_i)$).

Переглядаємо результати досліджень сусідніх територій, у випадку $\text{Щ}_m < \text{Щ}_i$ — за допомогою моделі нечіткого висновку Мамдані-Заде (рис. 2) визначаємо, як може вплинути щільність шкідників (хвороб рослин) на i -й території (районі) на щільність шкідників (хвороб рослин) на досліджуваній території.

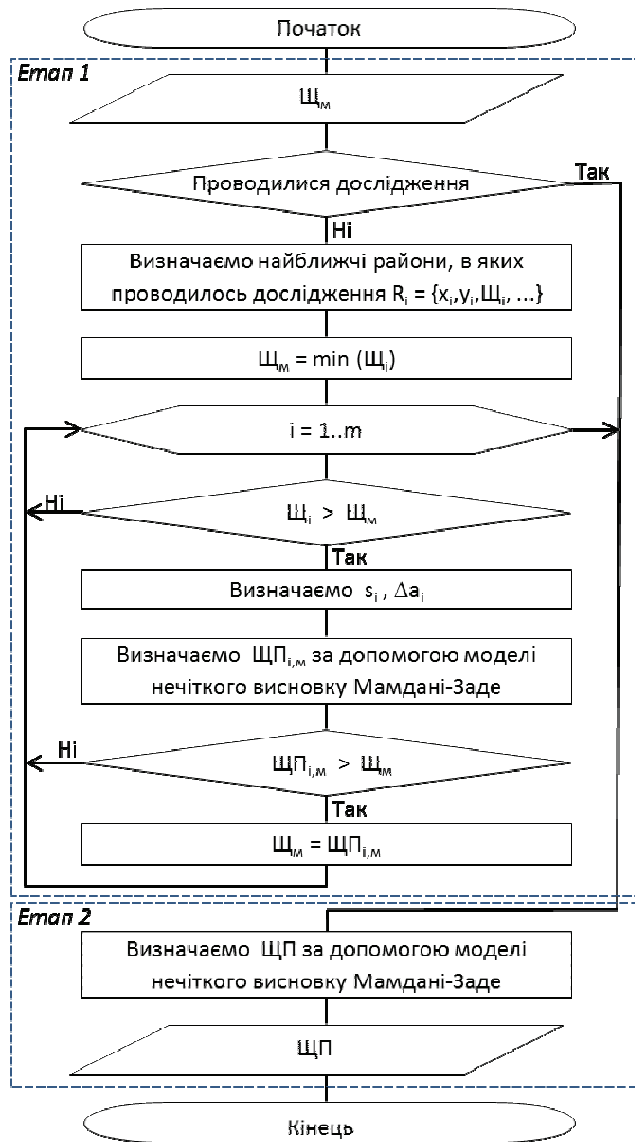


Рис. 1. Алгоритм розробки довгострокового прогнозу

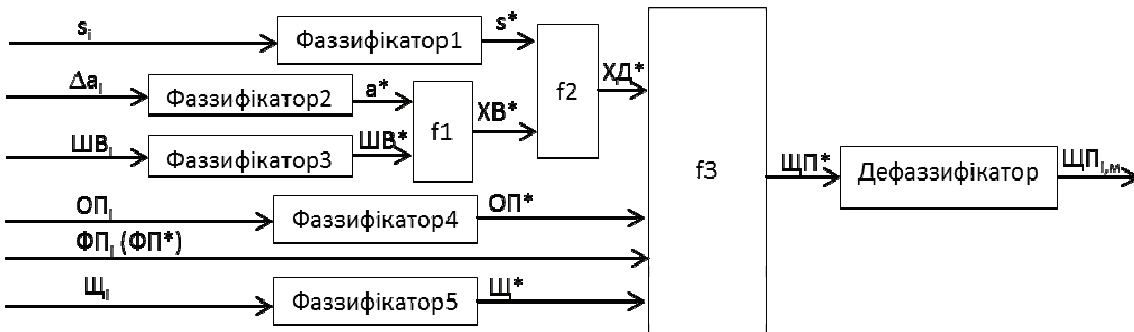


Рис. 2. Схема нечіткого висновку для визначення $\text{ЩП}_{i,m}$

На рис. 2 показана схема нечіткого висновку на основі ієрархічної бази знань, що моделює залежність $\text{ЩП}^* = f(s^*, a^*, \text{ШВ}^*, \text{ОП}^*, \text{ФП}^*, \text{Щ}^*)$, яка складається із 3-х нечітких баз: $\text{ХВ}^* = f1(a^*, \text{ШВ}^*)$, $\text{ХД}^* = f2(s^*, \text{ХВ}^*)$ та $\text{ЩП}^* = f3(\text{ХД}^*, \text{ОП}^*, \text{ФП}^*, \text{Щ}^*)$. Опис вхідних і вихідних змінних нечітких баз знань $f1, f2, f3$ наведений в табл. 1. Параметри функцій належності деяких змінних залежать від виду шкідника (хвороби рослини) (в стовпчику Const позначенні знаком «-») (наприклад: змінна Щ^* (щільність шкідника)). Оскільки рослинам завдає шкоди велика кількість видів шкідників (хвороб рослин), відповідно обсяг баз знань $f2, f3$ є досить великим. В зв'язку із обмеженим обсягом статті наведено лише фрагмент: базу знань $\text{ХВ}^* = f1(a^*, \text{ШВ}^*)$, решта — побудовані за тим самим принципом.

Таблиця 1

Опис змінних нечітких бази знань $f1, f2, f3, f4, f5$

Змінна	Опис змінної	Const
$\text{ХВ}^* = f1(a^*, \text{ШВ}^*)$		
a^*	Напрямок вітру на i -й території (районі) відносно досліджуваної території (Δa — кут між основним напрямком вітру на i -й території та відрізком, що з'єднує центр i -ї території з досліджуваною територією)	+
ШВ^*	Середня сила вітру на i -й території (районі)	+
ХВ^*	Характеристика вітру на i -й території (районі) відносно досліджуваної території	+
$\text{ХД}^* = f2(s^*, \text{ХВ}^*)$		
s^*	Характеристика відстані між центром i -ї території та досліджуваною територією	-
ХВ^*	Характеристика вітру на i -й території (районі) відносно досліджуваної території	+
ХД^*	Характеристика дальності	+
$\text{ЩП}^* = f3(\text{ХД}^*, \text{ОП}^*, \text{ФП}^*, \text{Щ}^*)$		
ХД^*	Характеристика дальності	+
ОП^*	Оцінка умов, які сприяють поширенню (розповсюдженню) шкідника (хвороби рослин) на i -й території (районі)	+
ФП^*	Фаза динаміки популяції шкідника (хвороби рослини)	+
Щ^*	Щільність шкідника на i -й території (районі)	-
ЩП^*	Прогнозована щільність шкідника на досліджуваній території	-
$\text{П}^* = f4(\text{ППЗ}^*, \text{ППВ}^*, \text{ППЛ}^*, \text{ГВ}^*)$		
ППЗ^*	Прогноз погоди на зиму	+
ППВ^*	Прогноз погоди на весну	+
ППЛ^*	Прогноз погоди на літо	+
ГВ^*	Групи шкідників (хвороб рослин) за характером впливу погодних умов на їх розвиток	+
П^*	Оцінка погодних умов для розвитку шкідника (хвороби рослин)	+
$\text{ЩП}^* = f5(\text{П}^*, \text{Щ}^*, \text{ФП}^*, \text{Г}^*, \text{ОР}^*)$		
П^*	Оцінка погодних умов для розвитку шкідника (хвороби рослин)	+
Щ^*	Щільність шкідника на досліджуваній території	-
ФП^*	Фаза динаміки популяції шкідника (хвороби рослини)	+
Г^*	Групи шкідників (хвороб рослин) за характером динаміки чисельності	+
ОР^*	Оцінка умов, які сприяють розмноженню шкідника (хвороби рослин) на досліджуваній території (районі)	+
ЩП^*	Прогнозована щільність шкідника на наступний рік	-

Фаззифікацію термів будемо здійснювати за допомогою гаусівської функції належності

$$\mu^t(x) = e^{-\frac{(x-b)^2}{2c^2}} \tag{1}$$

для змінних, параметри функцій належності яких не залежать від виду шкідника (хвороби рослини), та для яких така залежність існує.

$$\mu^t(x) = e^{-\frac{(x-b_j)^2}{2c_j^2}}, \tag{2}$$

де $\mu^t(x)$ — функція належності змінної x до терму t ; b — параметр функції належності, що відпо-

відає координати максимуму ($\mu^t(x)=1$); c — параметр звуження–розширення функції належності; $j = \overline{1..m}$, де m — кількість видів шкідників (хвороб рослин).

Параметри функцій належності для кожного лінгвістичного терму бази знань $f1$ визначені на основі опитування експертів і наведені в табл. 2.

Таблиця 2

Терм-множини вхідних і вихідних змінних нечіткої бази знань $XВ^* = f1(a^*, ШВ^*)$

Змінна	Терм-множини	Параметри функцій належності	
		c	b
a^*	Попутний вітер (П)	25	0
	Попутний боковий вітер (ПБ)	8	60
	Боковий вітер (Б)	8	90
	Протилежний боковий вітер (ПТБ)	8	120
	Протилежний вітер (ПТ)	25	180
ШВ*	Сильний вітер (СВ)	5	30
	Слабкий вітер (СЛВ)	3	10
	Штиль (Ш)	2	0
ХВ*	Попутний сильний вітер (ПСВ)	5	30
	Попутний слабкий вітер (ПСЛВ)	3	10
	Боковий вітер (БВ)	2	0
	Протилежний слабкий вітер (ПТСЛВ)	3	-10
	Протилежний сильний вітер (ПТСВ)	5	-30

Під час налаштування моделей параметри можуть бути змінені для мінімізації середньоквадратичного відхилення між експериментальними даними та результатами моделювання [4, 5].

Експертні лінгвістичні висловлювання, що відображають взаємозв'язок між факторами a^* , ШВ* та результатом ХВ*, подані в табл. 3.

Таблиця 3

Нечітка база знань $ХВ^* = f1(a^*, ШВ^*)$

№	a^*	ШВ*	ХВ*	№	a^*	ШВ*	ХВ*
1	П	СВ	ПСВ	9	ПБ	Ш	БВ
2	П	СЛВ	ПСЛВ	10	ПТБ	Ш	БВ
3	ПБ	СВ	ПСЛВ	11	ПТ	Ш	БВ
4	ПБ	СЛВ	БВ	12	ПТБ	СЛВ	БВ
5	Б	СВ	БВ	13	ПТБ	СВ	ПТСЛВ
6	Б	СЛВ	БВ	14	ПТ	СЛВ	ПТСЛВ
7	Б	Ш	БВ	15	ПТ	СВ	ПТСВ
8	П	Ш	БВ				

Нечіткий логічний висновок здійснюється за мінімакним принципом [4]. Для дефазифікації використовуємо метод центра тяжіння [5].

Етап 2. Для розв'язання задачі розробки довгострокового прогнозу на другому етапі використовуємо модель нечіткого висновку Мамдані–Заде (рис. 3). Запропоновано нечітку базу знань, що моделює залежність $ЩП^* = f(Щ^*, ФП^*, Г^*, ОР^*, ППЗ^*, ППВ^*, ППЛ^*, ГВ^*)$ у вигляді ієрархічної бази знань, яка складається із 2-х нечітких баз: $П^* = f4(ППЗ^*, ППВ^*, ППЛ^*, ГВ^*)$ та $ЩП^* = f5(П^*, Щ^*, ФП^*, Г^*, ОР^*)$. Опис вхідних і вихідних змінних нечітких баз знань $f4, f5$ наведений в табл. 1. Опис нечітких баз знань $f4, f5$ в зв'язку з обмеженим обсягом статті не наводиться, він аналогічний опису нечіткої бази знань $f1$. Параметри функцій належності для кожного лінгвістичного терму нечітких баз знань $f4, f5$ визначені на основі опитування експертів та результатів розв'язання системи рівнянь Лотки–Вольтерри [3].

Фаза динаміки популяції шкідника (хвороби рослини) ($ФП_M$) визначається експертом під час проведення досліджень.

Поділ шкідників (хвороб рослин) на групи за подібними ознаками (за характером динаміки чисельності Γ_m ; за характером впливу погодних умов ΓB) дозволяє зменшити кількість правил, оскільки правила створюються для кожної групи, а не для кожного виду окремо.

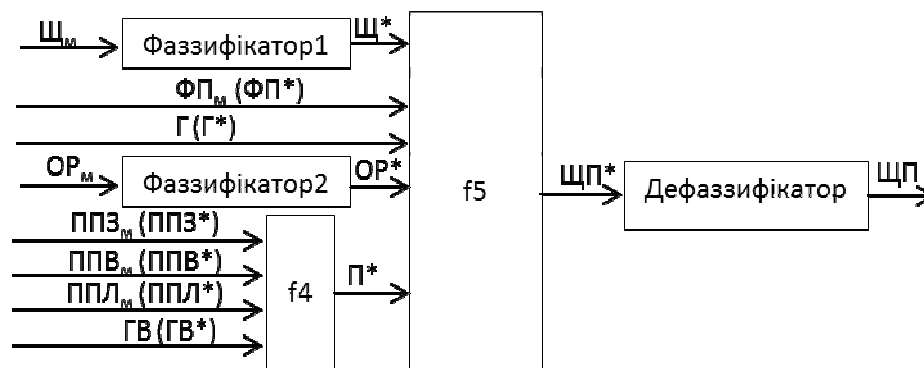


Рис. 3. Модель нечіткого висновку Мамдані-Заде для розв'язання задачі довгострокового прогнозування на другому етапі

Оцінка умов розмноження шкідників (хвороб рослин) (OP_m) (так як і оцінка умов, які сприяють поширенню шкідника (хвороби рослин) на i -й території (районі) (OP_i) на першому етапі) визначається експертами під час дослідження щільності шкідників (хвороб рослин) на місцевості і може бути виставлена, наприклад, за 11-ти бальною шкалою: 0 — несприятливі умови для розмноження, 10 — дуже сприятливі умови для розмноження. Критерії виставлення оцінок розробляються окремо для кожного виду шкідника (хвороби рослин). Для багатьох видів шкідників необхідно врахувати велику кількість абіотичних, біотичних і антропічних факторів. Для полегшення визначення оцінки умов розмноження шкідників (хвороб рослин) можуть бути використані системи на основі нечіткої логіки.

Велике значення у прогнозуванні щільності шкідників (хвороб рослин) мають прогнози погоди на зиму ($ППЗ_m$), на весну ($ППВ_m$) та на літо ($ППЛ_m$).

Оскільки прогнози погоди є неточними, а даються з певною ймовірністю, то відповідно прогнозування щільності шкідників (хвороб рослин) здійснюється в умовах невизначеності.

Задача короткострокового прогнозування

Розглянемо задачу короткострокового прогнозування на прикладі прогнозування ураження однієї культури хворобами. Спрощена схема геоінформаційної технології короткострокового прогнозування ураження однієї культури хворобами наведена на рис. 4.

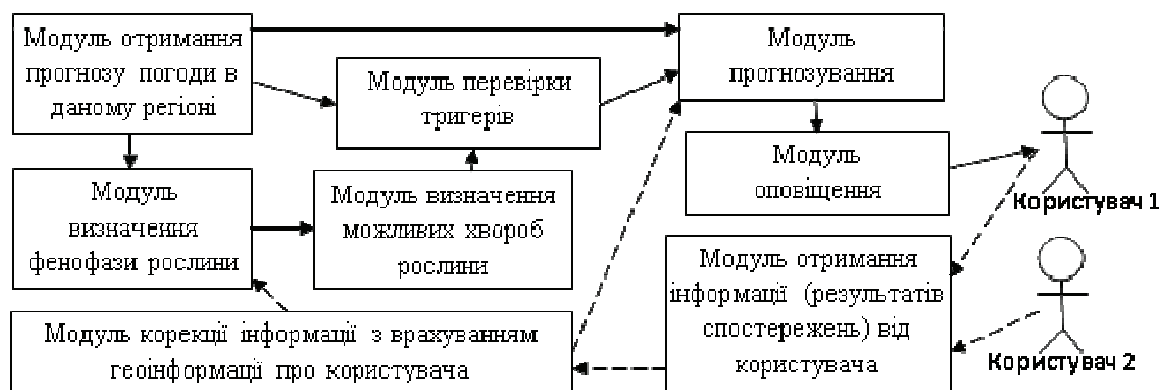


Рис. 4. Спрощена схема геоінформаційної технології короткострокового прогнозування ураження хворобами однієї культури

При вирощуванні культура проходить n фаз розвитку. Культуру можуть уражати m хвороб. В певних фазах навіть за сприятливих погодних умов культура є стійкою до певних хвороб. Побудуємо двовимірну матрицю стійкості A , в якій кожний елемент $a_{i,j}$ дорівнює 0, якщо культура в

i -й фазі стійка до j -ї хвороби, та 1, якщо ймовірність ураження культури в i -й фазі j -ю хворобою висока (де $i = 1 \dots n$, $j = 1 \dots m$). Створимо систему тригерів B , де b_j (МЕТЕО) — множина погодних умов, за яких може розпочатися розвиток j -ї хвороби.

Модуль визначення фази рослини отримує прогноз погоди на наступний період, визначає фазу стану рослини з врахуванням накопиченої інформації про погоду за минулі періоди та коректив, внесені користувачами.

За допомогою матриці A та на основі результатів розв'язання задачі довгострокового прогнозування на певній місцевості визначаються можливі хвороби рослини та передаються на модуль перевірки тригерів. Цей модуль перевіряє, чи належить отриманий прогноз погоди хоч до однієї множини b_j (МЕТЕО). У разі позитивного результату система прогнозує подальший розвиток хвороби (модуль прогнозування) та оповіщає користувачів цього регіону (модуль оповіщення). Для прогнозування розвитку хвороби використовується рівняння регресії, значеннями незалежних змінних в якому є прогнози погоди на подальші періоди. Система може оповістити користувача в разі необхідності проведення певних досліджень (спостережень).

Визначені системою фази рослини можуть коригуватися користувачами на основі їх власних спостережень. Для отримання кращих прогнозів використовуються результати спостережень всіх користувачів певного регіону з урахуванням геоінформації про них.

Висновки

Запропоновані моделі впроваджуються в геоінформаційній технології «Все про захист рослин» [6]. Подальшим завданням наукового дослідження є налаштування запропонованих нечітких моделей та їх тестування.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Довідник із захисту рослин / [Л. І. Бублик, Г. І. Васечко, В. П. Васильєв та ін.] ; за ред. М. П. Лісового. — К. : Урожай, 1999. — 744 с.
2. Ризниченко Г. Ю. Популяционная динамика [Електронний ресурс]. — Режим доступу : <http://www.library.biophys.msu.ru/MathMod/PD.HTML>.
3. Ризниченко Г. Ю. Лекции по математическим моделям в биологии. Часть I [Електронний ресурс]. — Режим доступу : <http://www.library.biophys.msu.ru/LectMB>.
4. Штовба С. Д. Введение в теорию нечетких множеств и нечеткую логику [Електронний ресурс]. — Режим доступу : <http://matlab.exponenta.ru/fuzzylogic/book1>.
5. Ротштейн А. П. Влияние методов дефазификации на скорость настройки нечеткой модели / А. П. Ротштейн, С. Д. Штовба // Кибернетика и системный анализ. — 2002. — № 5. — С. 169—176.
6. Енциклопедія по захисту рослин [Електронний ресурс]. — Режим доступу : <http://www.agrarii-razom.pp.ua> — Назва з екрана.

Рекомендована кафедрою комп'ютерних систем управління

Стаття надійшла до редакції 14.12.12

Рекомендована до друку 26.12.12

Дубовой Володимир Михайлович — завідувач кафедри комп'ютерних систем управління.

Вінницький національний технічний університет, Вінниця;

Сольський Олександр Сергійович — викладач кафедри економічної кібернетики та інформаційних систем.

Уманський національний університет садівництва, Умань