

УДК 004.942

Е.И. Кучеренко¹, И.С. Глушенкова², С.А. Глушенков²¹Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков²Харьковская национальная академия городского хозяйства, Харьков

МЕТОД ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ В ТЕХНОЛОГИЯХ ARCGIS

В работе предложен комплекс базовых операций построения нечетких логических функций в знание ориентированных геоинформационных системах (ГИС) и технологиях. На базе операций предложена новая модель процессов построения растровых отображений, что позволяет создание расширенных методов анализа изображений объектов в ГИС. Сформирована стратегия нового метода обработки и анализа растровых и векторных отображений в ArcGis технологиях. Модели и методы апробированы при решении комплекса задач геоинформационного анализа, подтверждена их адекватность и эффективность.

Ключевые слова: модель процессов, нечеткие логические функции, метод, геоинформационные технологии.

Введение

Методы принятия управленческих решений с использованием нечеткой логики получили широкое распространение в мире. Среди них можно выделить информационно-управляющие системы, советующие системы, экспертные системы [1].

Наиболее распространенным в мире программным средством для решения задач пространственного анализа являются географические информационные системы ArcGIS [2]. ArcGIS представляет собой комплексную систему, которая позволяет пользователям собирать, организовывать, управлять, анализировать, общаться, и распространять географическую информацию. Состоит из большого количества приложений и инструментов для решения различных задач.

Начиная с версии ArcGIS 10.0 предложены новые инструменты на основе нечеткой логики: Fuzzy Overlay, FuzzyMembership [2]. Комбинация инструментов на основе нечеткой логики и стандартных инструментов позволяет получить совершенно новые функциональные возможности и как следствие новые результаты анализа. Для выполнения качественного анализа с использованием функций нечеткой логики, необходимо настроить инструменты, что является нетривиальной задачей, так как в основе инструментов лежит математический аппарат функций с нечеткой логикой [3].

В связи с тем, что существующие методы не всегда решают комплекс задач, не учитывают неопределенность в пространственном распределении исследуемых процессов и явлений, работа является важной и актуальной.

Постановка задачи исследования. Целью работы является дальнейшее совершенствования методов и моделей ArcGis технологий.

Необходимо:

- выполнить анализ существующих решений;
- предложить модель процессов отображения инструментария в ArcGis технологиях;
- предложить стратегию метода решения задач обработки растровых моделей;
- решать комплекс пространственных задач анализа на основе ArcGis технологий.

1. О построении нечетких логических функций в знание ориентированных ГИС и технологиях

Функциональным развитием основ ArcGis технологий является алгебра функций на основе нечеткой логики.

Введем определение нечеткого подмножества согласно Л. Заде [4].

Пусть есть множество E , счетное или нет, и x – элемент E . Тогда нечетким подмножеством \tilde{A} множества E будем называть множество упорядоченных пар

$$\{(x | \mu_{\tilde{A}}(x))\}, \forall x \in E, \mu_{\tilde{A}}(x) = [0,1], \quad (1)$$

где $\mu_{\tilde{A}}(x)$ – степень принадлежности x к \tilde{A} .

При построении некоторой лингвистической переменной определим терм в виде:

– «величина x имеет малое значение», что может быть представлено как:

$$\mu(x) = e^{-k_1 x^2}, k_1 > 0;$$

– «величина x имеет среднее значение», что может быть представлено в виде гауссиана как

$$\mu(x) = e^{-k_2(x-a_1)^2}, k_2 > 0, a_1 > 0;$$

– «величина x имеет большое значение», что может быть представлено как

$$\mu(x) = 1 - e^{-k_3(x-b)^2}, \quad k_3 > 0, b \geq x.$$

Пусть заданы два множества \tilde{E}_1, \tilde{E}_2 , причем $\tilde{x} \in \tilde{E}_1, \tilde{y} \in \tilde{E}_2$.

Тогда нечеткое отношение $\tilde{R} = \tilde{E}_1 \times \tilde{E}_2$ запишем, как

$$\forall(\tilde{x}, \tilde{y}) \in \tilde{E}_1 \times \tilde{E}_2 \mid \mu_{\tilde{x} \times \tilde{y}}(\tilde{x}, \tilde{y}) \in \{\mu_i\}. \quad (2)$$

Представив нечеткие множества, как (1) и нечеткие отношения, как (2), мы можем оперировать с лингвистическими представлениями нечетких процессов и их взаимодействиями. Отметим, что рядом исследователей [4, 5] достаточно глубоко проработаны и определены правила выполнения и свойства операций над нечеткими множествами и нечеткими отношениями, некоторые из которых удобно использовать в наших последующих исследованиях.

Рассмотрим особенности построения и использования нечетких лингвистических представлений. Согласно [4, 5] нечеткие лингвистические представления – это формальное представление систем, реализованных посредством условий ЕС-ЛИ, ТО (if / then). Хотя нечеткие лингвистические представления обычно формулируются на естественном языке [4], однако они имеют строгие математические основы, вовлекающие нечеткие множества и нечеткие отношения. Кодирование данных и знаний осуществляется на основе инструкций в форме: if – набор условий удовлетворен, then – набор последствий может быть выведен. Например, в условиях производства, желательное поведение системы [5] может быть представлено группой правил, объединенных посредством связки ELSE (иначе):

$$\begin{aligned} &\text{error is ZERO and } \Delta\text{error is ZERO then } \Delta u \\ &\text{is ZERO ELSE} \\ &\text{if error is PS and } \Delta\text{error is ZERO then } \Delta u \\ &\text{is NS ELSE} \\ &\text{if error is SMALL and } \Delta\text{error is NS then } \Delta u \\ &\text{is BIG,} \end{aligned} \quad (3)$$

где – error, Δerror (ошибка и изменение ошибки) – лингвистические переменные в (3), описывающие входные переменные системы;

Δu – лингвистическая переменная, описывающая изменение данных на выходе.

Рассмотрим следующую простую процедуру:

$$\begin{aligned} &\text{if } x \text{ is } \tilde{A} \text{ then } y \text{ is } \tilde{B} \\ &x \text{ is } \tilde{A}' \\ &\text{-----} \\ &y \text{ is } \tilde{B}'?, \end{aligned} \quad (4)$$

где известен антецедент \tilde{A}' , а исход (консеквент) \tilde{B}' – не известен.

Процедура (4) может быть реализована на основе обобщенного способа прямого логического вывода (GMP) [5] следующим образом:

$$\tilde{B}' = \tilde{A}' \circ \tilde{R}(x, y), \quad (5)$$

где $\tilde{R}(x, y)$ – отношение, полученное из if / then правила (4).

В ряде практических реализаций важно реализовать обратную процедуру логического вывода (GMT). Рассмотрим простую процедуру:

$$\begin{aligned} &\text{if } x \text{ is } \tilde{A} \text{ then } y \text{ is } \tilde{B} \\ &y \text{ is } \tilde{B}' \\ &\text{-----} \\ &x \text{ is } \tilde{A}', \end{aligned} \quad (6)$$

где известен консеквент \tilde{B}' , а антецедент \tilde{A}' – не известен.

Процедура (6) может быть реализована на основе обобщенного способа GMT [5] следующим образом:

$$\tilde{A}' = \tilde{R}(x, y) \circ \tilde{B}', \quad (7)$$

где $\tilde{R}(x, y)$ – отношение, полученное из if / then правила (6).

Особенностью процедур (5), (7) является то, что в настоящее время их реализация может осуществляться как на обычных «четких» вычислительных средствах, так и с использованием нечетких специализированных микропроцессоров.

Функцию принадлежности $\mu(x, y)$ представим следующим образом:

$$\mu(x, y) = \psi(\mu_{\tilde{A}}(x), \mu_{\tilde{B}}(y)). \quad (8)$$

При решении практических задач нечеткого управления в [6] предложено использования оператора Мамдани (Mamdanimin)

$$\psi(\mu_{\tilde{A}}(x), \mu_{\tilde{B}}(y)) = \mu_{\tilde{A}}(x) \wedge \mu_{\tilde{B}}(y). \quad (9)$$

Тогда, с учетом (9), соответствующее значение (9) при использовании оператора Мамдани равно

$$\mu(x, y) = \mu_{\tilde{A}}(x) \wedge \mu_{\tilde{B}}(y). \quad (10)$$

Функция (10) во многом ориентирована на пессимистические сценарии развития процессов управления, так как усиливается влияние меньшего из значений функций принадлежности антецедента и консеквента.

Решение (8) определяем, как нахождение [7, 8]:

$$\mu_{\tilde{B}'}(y) = \underset{x}{\vee} [\mu_{\tilde{A}'}(x) \wedge \mu(x, y)], \quad (11)$$

с последующей дефаззификацией [8] и нахождением искомого приближенного решения.

Так, пример, реализация процедур прямого нечеткого вывода Мамдани [7, 8] при наличии нескольких условий антецедента

$$\text{if } (x_1 \text{ is } \mu_1(x)) \& (x_2 \text{ is } \mu_2(x)) \& (x_3 \text{ is } \mu_3(x)) \text{ then } (y \text{ is } \mu_4(y)) \quad (12)$$

с последующей дефаззификацией (12) на основе метода нахождения «центра масс» [8] предложена на рис. 1.

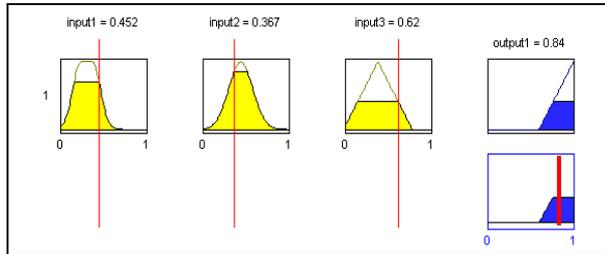


Рис. 1. Нечеткий логический вывод Мамдани

Соответствующие процедуры фундаментально исследованы в работе [7].

Особенностью решений [9], принятых в данной работе, является то, что значение входного вектора антецедента может быть представлено также нечеткими значениями, что существенно расширяет возможности оценки технического состояния объекта. Конкретное значение аргумента

может быть определено методами дефаззификации [8], для соответствующего фрагмента функции.

Тогда, если соответствующая функция принадлежности задана в координатах «нечеткий аргумент – значение функции принадлежности», графическое отображение функции принадлежности может быть представлено согласно рис. 2.

Применение нечеткого логического вывода на знаниях (4), (6) согласно рис. 2 является частным случаем моделей и систем типа 2, что требует дальнейших исследований адекватности моделей и систем.

2. Разработка метода обработки растровых представлений модели

Модель в ModelBuilder – это отображение описания рабочих процессов, которые соединены друг с другом, в последовательности инструментов геообработки, подавая выход одного инструмента в другой инструмент в качестве входа. ModelBuilder можно также рассматривать как визуальный язык программирования для построения рабочих потоков [2], в нечетком пространстве состояний (рис. 3).

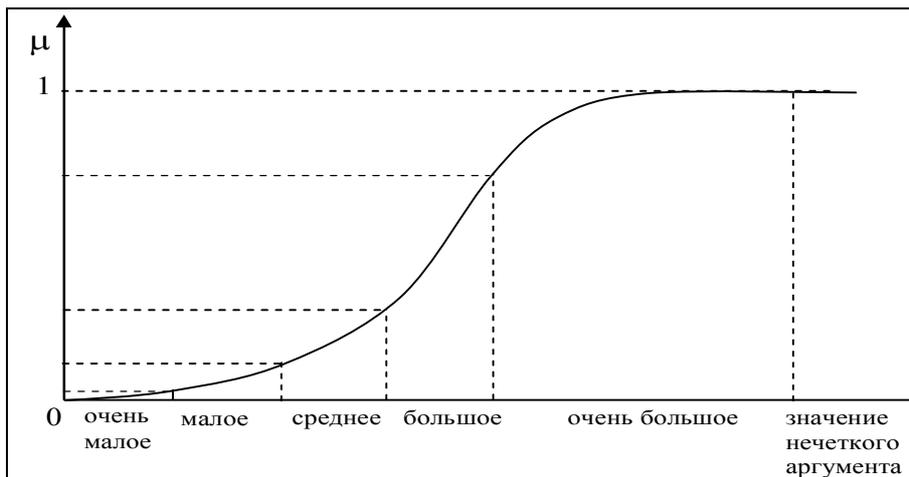


Рис. 2. Функция принадлежности в координатах «нечеткий аргумент – значение функции принадлежности»

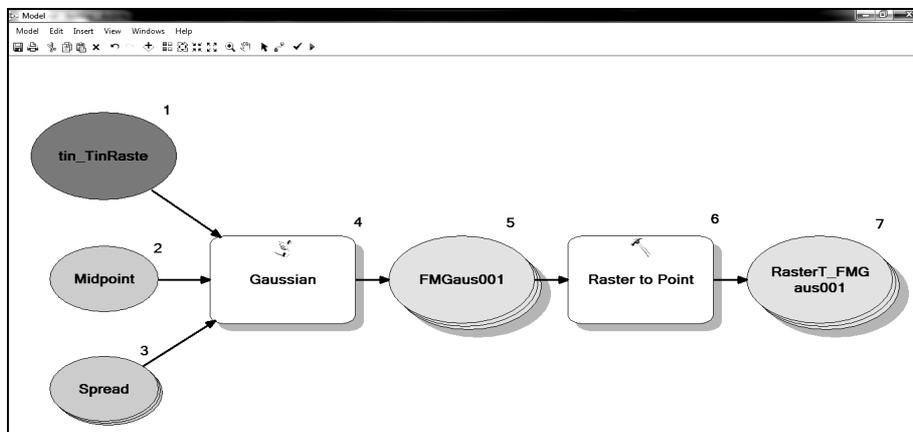


Рис. 3. Представление модели в ModelBuilder (1 – исходный растр; 2 – исходное значение – f_2 ; 3 – значение крутизны функции f_1 ; 4 – инструмент гауссиан; 5 – результаты работы инструмента гауссиан; 6 – инструмент из растра в точку; 7 – результаты работы инструмента из растра в точку)

Основные преимущества ModelBuilder [2]:

– ModelBuilder – это удобное в работе приложение для создания и запуска рабочих потоков, содержащих последовательность инструментов;

– с помощью ModelBuilder можно создавать собственные инструменты. Инструменты, созданные с помощью ModelBuilder, могут использоваться в средствах поддержки скриптов Python [2] и в других моделях;

– ModelBuilder, наряду со средствами поддержки скриптов, предоставляет возможность интеграции ArcGIS с другими приложениями.

В работе предложена стратегия метода обработки растровых представлений модели. Для реализации предлагаемого метода, не уходя от общности, будем использовать функцию принадлежности в виде:

$$\mu(x) = e^{-f_1(x-f_2)^2}, \quad (13)$$

где f_1 – значение крутизны функции; f_2 – смещение экстремума по оси X .

Этапы метода можно представить в таком виде.

Этап 1. Задается исходный растр (рис. 4), переменные и сама функция.

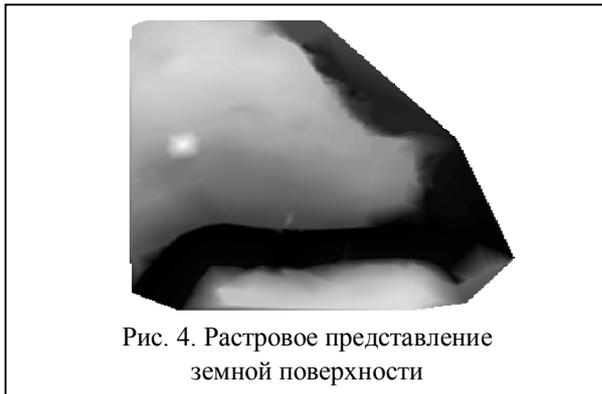


Рис. 4. Растровое представление земной поверхности

Этап 2. Используя инструмент (13), получаем новый растр, в котором каждой ячейке соответствует значение функции принадлежности в диапазоне от 0 до 1 (рис. 5).

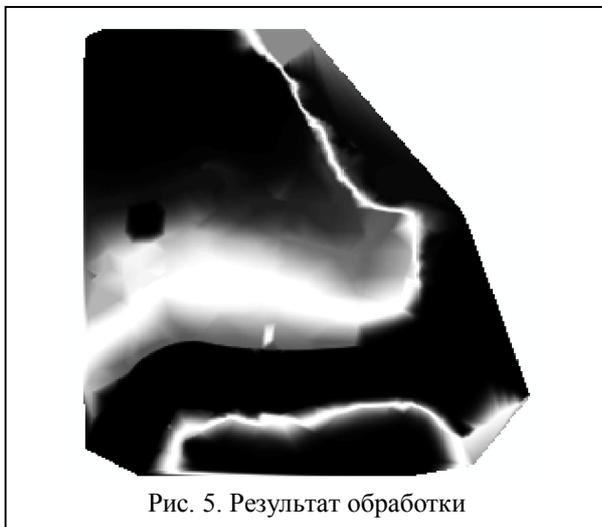


Рис. 5. Результат обработки

Этап 3. Для оценки результата, конвертируем растры с учетом (14) в векторный формат, в котором в центре каждой ячейки находится точка с соответствующим значением функции принадлежности (рис. 6).

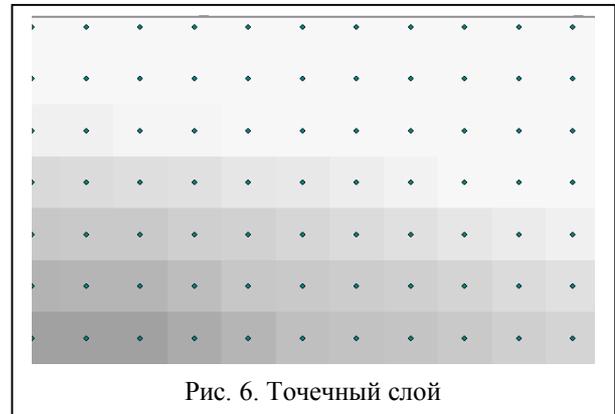


Рис. 6. Точечный слой

Этап 4. Конвертируем исходный растр в векторный формат, в котором в центре каждой ячейки находится точка с соответствующим значением высот.

Этап 5. Объединение таблиц атрибутов результатов (с учетом этапа 3) с таблицей атрибутов исходного файла (этап 4).

Этап 6. Выполняем выборку по атрибуту точек, у которых значение функции принадлежности

$$\mu(x) = \begin{cases} 1, \mu(x) \geq 0,5, \\ 0, \mu(x) < 0,5. \end{cases} \quad (14)$$

Этап 7. Вычисляем отклонение от заданного значения

$$\Delta h = h_{\max} - h_{\min}, \quad (15)$$

где h_{\max} – максимальное значение в выборке,

h_{\min} – минимальное значение в выборке.

3. Практическая реализация

Рассмотрим проблемы оценивания территорий [10] по критерию «рельеф» на фрагменте земной поверхности, который представлен в растровом формате (рис. 4).

Реализуя положения метода обработки растровых представлений модели, выполним необходимые вычисления в программной среде ArcGis 10.0.

Исходные данные для решения задачи:

- исходный растр;
- значение смещения f_2 ;
- значение крутизны функции f_1 .

Гауссиан хорошо отображает отклонение от заданной величины для случая «среднее значение». При изменении значений в большую или меньшую сторону, получаем разные выходные значения.

Повторив експеримент при різних значеннях задаваної f_1 , отримуємо різне кількість вибраних точок. Проведемо даний експеримент n раз з різними значеннями. Результати експеримента приведені в табл. 1. Експеримент (табл. 1) показав, що відхилення Δh (16) залежить від величин f_1 , $\mu(x)$ при фіксованому значенні f_2 :

$$\Delta h = f(f_1, \mu(x), f_2 = \text{const}). \quad (17)$$

Таблиця 1
Результати експеримента ($n = 7$)

f_2 (м)	f_1	Значення більше $\mu(x)$ (15)	$\pm \Delta h$ (м)
148	0,01	40725	8,32
148	0,05	15744	3,72
148	0,10	11346	2,63
148	0,30	6401	1,52
148	0,50	4979	1,17
148	0,70	4000	0,99
148	1,00	3277	0,83

При цьому, з ростом кривизни f_1 , відхилення Δh суттєво зменшується. Це дозволяє принципово вирішити задачу управління якістю вихідних даних аналізу.

Висновки

1. В роботі виконано аналіз існуючих рішень по розробці методів і моделей управління якістю рішення задач ArcGis технологій.
2. В роботі концептуально запропонована нова модель обробки растрових представлень процесів, яка дозволяє здійснювати комплекс розв'язуваних задач.
3. Отримано подальше розвиток метод обробки растрових моделей, етапи 6 і 7 якого дозволяють оцінити помилку обробки просторових характеристик.

МЕТОД ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ З ВИКОРИСТАННЯМ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ В ТЕХНОЛОГІЯХ ARCGIS

Є.І. Кучеренко, І.С. Глушенкова, С.О. Глушенков

В роботі запропоновано комплекс базових операцій побудови нечітких логічних функцій у знання орієнтованих геоінформаційних системах (ГІС) та технологіях. На базі операцій створено нову модель процесів побудови растрових відображень, що дає змогу створення розширених методів аналізу зображень об'єктів у ГІС. Сформульовано стратегію нового методу обробки та аналізу растрових та векторних відображень в ArcGIS технологіях. Моделі та методи апробовано на комплексі задач геоінформаційного аналізу, підтверджено їх адекватність та ефективність.

Ключові слова: модель процесів, нечіткі логічні функції, метод, геоінформаційні технології.

METHOD DECISION WITH FUZZY LOGIC IN TECHNOLOGIES ARCGIS

Ye.I. Kucherenko, I.S. Glushenkova, S.A. Glushenkov

The paper proposes a set of basic operations of building fuzzy logic functions in knowledge-oriented geographic information systems (GIS) and technology. A new model of the raster maps design processes, which allows the creation of advanced methods for analyzing images of objects in the GIS, has been proposed. The strategy of a new method of processing and analyzing raster and vector maps in ArcGis technologies has been formed. Models and methods have been implemented to solve the complex problems of GIS analysis. Their adequacy and effectiveness have been proved.

Keywords: model of process, fuzzy logic function, method, GIS-technology.

4. Перспективою дальніших досліджень є розробка технологій налаштування функцій належності з метою мінімізації Δh .

Список литературы

1. Блюмин С. Л. Модели и методы принятия решений в условиях неопределенности / С. Л. Блюмин, И. А. Шуйкова. – Луцек : ЛЭГИ, 2001. – 138 с.
2. What is GIS? [Electronic resource]. – Regime of access : <http://www.esri.com/what-is-gis>.
3. ArcGIS Help 10.1 [Electronic resource]. – Regime of access : <http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.1/index.html#/FuzzyGaussian/005m00000039000000/>
4. Заде Л. А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений / Л. А. Заде. – М. : Мир, 1976. – 165 с.
5. Tsoukalas L. H. Fuzzy and Neural Approaches in Engineering / L. H. Tsoukalas, R. E. Uhrig. – New York : John Wiley&Sons, Inc, 1997. – 587 p.
6. Mamdani E. H. Applications of fuzzy set theory to control system: A survey fuzzy automata and decision processes / E. H. Mamdani, M. M. Gupta, G. H. Saridis, B. R. Gaines, eds. – New York : North – Holland, 1977. – P. 1 – 13.
7. Трильяс Э. Нужны ли в теории нечетких множеств операции / Э. Трильяс, К. Альсина, А. Вальверде // Нечеткие множества и теория возможностей. Последние достижения : пер. с англ. / Под ред. Р. Р. Ягера. – М. : Радио и связь, 1986. – С. 199 – 228.
8. Ashon S. I. Petri net models of fuzzy neural network / S. I. Ashon // IEEE Trans. on Syst., Man and Cybernetics. – 1995. – V. 25. – P. 926 – 932.
9. Watanuki K. Fuzzy - timing Petri net model of temperature control for car air conditioning system / K. Watanuki, T. Murata. // Proc. of 1999 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, October 12 – 15. – Tokyo, 1999. – V. 4. – P. 618 – 622.
10. Методи, моделі та інформаційні технології оцінювання станів складних об'єктів : монографія / Є.І. Кучеренко, В.Є. Кучеренко, І.С. Глушенкова, І.С. Творошенко; Харк. нац. акад. міськ. госп-ва; Харк. нац. ун-т радіоелектроніки. – Х. : ХНАМГ : ХНУРЕ, 2012. – 276 с.

Поступила в редколлегию 30.01.2013

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Е.В. Бодянский, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков.