

## Уейвлит базиран подход за синтез на признаци за класифициране на здрави и заразени с Фузариум царевични зърна

Виолета Манчева, Пламен Даскалов

**Wavelet based features synthesis approach for classification of healthy and Fusarium infected corn kernels:** An approach for features synthesis for classifying healthy and infected with Fusarium corn kernels by continuous wavelet transform (CWT) and SIMCA method is proposed in the paper. For transformation of spectral data is used wavelet function type "Mexican hat". Values for the function parameters "a", "b" and  $C_{a,b}$ , which are used as signs for the classification of test samples with classifier operating on the threshold of the CWT coefficients are substantiated. Obtained classification accuracy ranging from 75 to 100% for both classes of kernels. The proposed approach is effective with over 95% accuracy for the four varieties of corn kernels.

**Key words:** Corn Kernels, Fusarium, NIRS, Wavelet Transformation, Soft Independent Modeling of Class Analogy

### ВЪВЕДЕНИЕ

Заболяването Фузариум по царевични зърна променя както външната така и вътрешната им структура [10]. Методите, които се използват за оценяване на качествени показатели на селскостопански продукти са базирани основно на анализ на изображения и на спектрален анализ. Анализът на изображения се използва когато има налични видими признаци, характерни за съответния клас продукти [6, 12]. Но това не е достатъчно, за да се оцени тяхното вътрешно качество. Затова близката инфрачервена спектроскопия се използва за оценка на царевични зърна в два класа – здрави и заразени. Спектроскопията включва неразрушаващ количествен и качествен анализ [5, 7].

Чрез използване на уейвлит анализ може да се идентифицират локални периодични трендове в сигнала. Ето защо, този метод се прилага за анализ на сигнали все повече и повече [9, 4, 13].

В [8] е направено изследване за разпознаване на заболяването Фузариоза по царевични зърна, базирано на уейвлит подход за анализ на спектрални характеристики на дифузно отражение. Установи се, че коефициентите  $C_{a,b}$  за здрави и заразени зърна, получени от непрекъснатата уейвли трансформация с функция „Мексиканска шапка“, могат да се различават по знак в областта от 500 до 700 nm. Уейвлит коефициентите при параметри  $a=21$  и  $b=300$  ( $\lambda=620\text{nm}$ ) се използват като класификационно правило за разпознаване на двата класа зърна от изследвания сорт царевица. Приложени са два класификатора – линеен и вероятностна невронна мрежа. Получена е 100% точност на разпознаване за здравите и 93,3% за заразените зърна с линейния класификатор, и 100% точност за двата класа зърна с PNN класификатора.

С преставения в [8] уейвлит подход се изследваха извадките царевични зърна от седемте сорта, които са обект на разглеждане в доклада. Резултатите показаха, че този подход не може да бъде приложен за всички сортове. Затова за класифицирането на здравите и заразените зърна от новите сортове трябва да се подберат други признаци, които да носят информация за разликите между двата класа. За целта се налага да се намерят общи зони за  $a$  и  $b$  от уейвлитната функция за всичките седем сорта.

Целта на доклада е чрез уейвлит трансформация да се синтезират и селектират общи признаци за класифициране на здрави и заразени с Фузариум царевични зърна, които да намалят влиянието на сортовата принадлежност на зърната върху тяхното диагностициране.

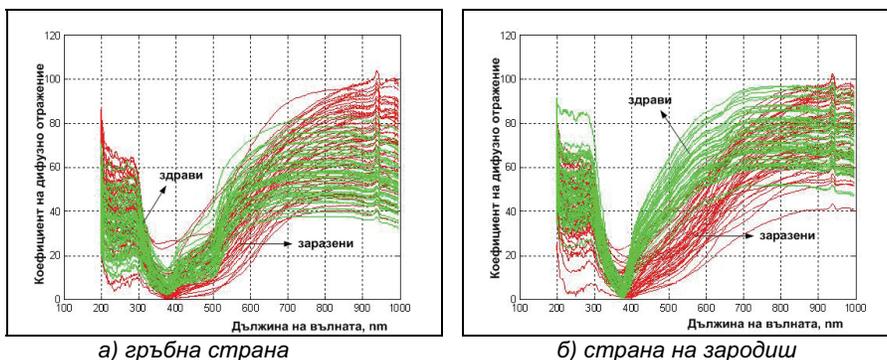
## ИЗЛОЖЕНИЕ

### 1. Обект на изследването

Изследват се извадки от здрави и заразени с розова Фузариоза (*Fusarium Moniliforme*) царевични зърна от седем сорта – Кнежа 308, Кнежа 436, Кнежа 613, Кнежа 620, 26А, ХМ87/136 и Русе 424. Те са сертифицирани от експерт и предоставени от Института по царевица – гр. Кнежа. Извадките включват по 50 здрави и 50 заразени от Фузариум царевични зърна от сорт, или общо 350 здрави и 350 заразени зърна за седемте сорта. Всяко зърно се измерва от двете му страни – зародиш и гръб. В резултат на това се получават по 700 спектрални характеристики за клас здрави и 700 – за клас заразени за всичките сортове.

За всеки сорт данните се разделят в две извадки обучаваща и тестова. Обучаващата се състои от по 30 спектъра за двете страни на двата класа зърна или общо 120. Тестовата се състои от по 20 спектъра за двете страни на двата класа или общо 80 спектъра.

За диагностицирането на заболяването се използва информацията от спектралните данни на царевичните зърна. Спектралните им характеристики са снети със спектрофотометър на фирмата Ocean Optics, предназначен за работа във видимата и близката инфрачервена област. Получава се коефициента на дифузно отражение  $r(\lambda_i)$  в диапазона от 200 до 1000 nm. Информация за двата класа зърна се съдържа в стойностите на тези коефициенти, които формират спектралната характеристика на дифузно отражение  $R\{r(\lambda_i)\}$  на всеки от изследваните обекти. На фиг.1 са показани получените спектрални характеристики  $R(\lambda)$  за сорт Русе 424. За останалите шест сорта те изглеждат по подобен начин.



а) гръбна страна  
б) страна на зародиш  
Фиг. 1 Спектрални характеристики на дифузно отражение за 50 здрави и 50 заразени царевични зърна от сорт Русе 424

Получените данни показват, че те не могат да бъдат използвани като признак за диагностициране на заболяването без допълнителна обработка. От тях трябва да се отделят информативните участъци от спектъра, както и информативни признаци, по които да се формулират критерии за разпознаването на вида на зърната. Това се налага и от факта, че трябва да се намали големия обем от данни (за всяка характеристика са снети по 775 точки).

### 2. Обработка на спектралните данни

За обработката на спектралните данни се използват два метода. Чрез първият метод (статистическия SIMCA метод) се определят информативните участъци от дължината на вълната, а чрез втория се апроксимират спектралните характеристики с уейвлити и се извличат информативни признаци.

**Уейвлетите (wavelets)** представляват функции, локализирани по оста на независимата променлива ( $t$  или  $u$ ), с възможност за преместване по нея и мащабиране (свиване/разширение) и имащи вид на кратки вълнови пакети с нулева средна стойност на уейвлитната функция  $\psi(n)$  [1]:

$$\int_{-\infty}^{\infty} \psi(n) dn = 0, \quad (1)$$

Базисната уейвлит функция  $\psi_0(n)$  трябва да удовлетворява (1) и изпълнението на операциите:

- преместване по оста на независимата променлива  $\psi_0(n-b)$ , където  $b$  е реално число ( $b \in R$ ) и определя положението на уейвлитния пакет;

- мащабиране  $a^{-1/2}\psi_0\left(\frac{n}{a}\right)$ , където  $a \in R$ ,  $a > 0$  и определя ширината на уейвлитния пакет.

С отчитане на тези две изисквания:

$$\psi(n) = a^{-1/2}\psi_0\left(\frac{n-b}{a}\right) \quad (2)$$

В това уравнение параметърът  $b$  определя положението (позицията, индекс на трансляцията) на уейвлитите, а параметърът  $a$  – техният мащаб.

В конкретния случай независимата променлива  $b$  представлява дължината на вълната  $\lambda$  на спектралните характеристики.

Апроксимирането на спектралните характеристики на царевичните зърна се извършва с непрекъсната уейвлит трансформация от типа „Мексиканска шапка“ (Continuous wavelet transform – CWT). Те се описват с уравнението:

$$C_{a,b} = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{\infty} R(\lambda) \psi\left(\frac{\lambda-b}{a}\right) d\lambda, \quad (3)$$

където  $C_{a,b}$  са уейвлит коефициентите;

$R(\lambda)$  – спектралните характеристики на дифузно отражение на царевичните зърна;

$\lambda$  – диапазона на дължината на вълната;

$\psi$  – базовата уейвлит функция;

$a$  и  $b$  – променливите за мащаба и положението на дължината на вълната.

Базовата уейвлит функция за трансформиране на спектралните характеристики  $\psi_{a,b}(\lambda)$  обикновено се избира с форма, близка до формата на входния сигнал.

Следователно от фамилията уейвлици [14] трябва да се избере такъв вид, който най-добре ще описва спектралните характеристики на дифузно отражение от фиг.1.

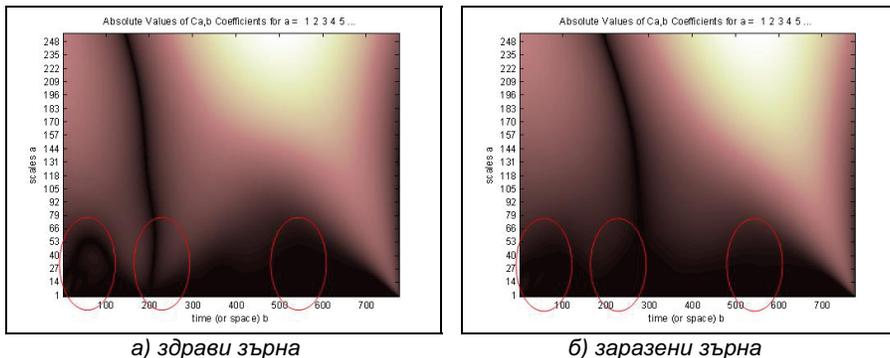
Непрекъснатата уейвлит трансформация с функция от семейството на т. нар. „Мексиканска шапка“, описващо се с уравнение

$$\psi(x) = \left(\frac{2}{\sqrt{3}}\pi^{-1/4}\right)(1-x^2)e^{-x^2/2}, \quad (4)$$

се прилага на спектралните данни на дифузно отражение от здрави и заразени с Фузариум царевични зърна. Тази функция е пропорционална на втората производна на Гаусовата функция за плътност на вероятностите. Позиционната променлива  $b$  измества уейвлит функцията по оста за диапазона на дължината на вълната  $\lambda$  на  $R(\lambda)$ , докато мащабиращата променлива  $a$  разширява или компресираща (стеснява) уейвлит функцията. По този начин се получава детайлно представяне на спектралните данни.

Програмната реализация на уейвлит трансформациите се извършва в средата MATLAB [14]. На фиг.2 е представен резултатът от преобразуването на

осреднените характеристики за двата класа царевични зърна – здрави и заразени на сорт Русе 424.



Фиг. 2 Уейвлет трансформация на спектрални данни за гръбната страна на здрави и заразени царевични зърна от сорт Русе 424

Тези графики изобразяват графичната интерпретация на коефициентите  $C_{a,b}$ , показваща съответно мащаба  $a$  и позицията  $b$ , която е еквивалентна на дължината на вълната. Позиционната съставка  $b$  (от 1 до 775) съответства на диапазона на дължината на вълната (от 360 до 950 nm). Получените коефициенти  $C_{a,b}$  за този диапазон показват области от диапазона на спектъра, които се различават за двата класа –  $b = 1 \div 110$ ,  $b = 180 \div 280$  и  $b = 500 \div 600$  (фиг.2). На тези области съответстват следните дължини на вълните:  $\lambda = 360 \div 446nm$ ,  $\lambda = 500 \div 578nm$ , и  $\lambda = 746 \div 820nm$ . Но конкретна дължина на вълната (т.е.  $b$ ) не може да се посочи.

**Определяне на параметъра за положение  $b$ .**

Стойностите на  $b$  се получават от показателя *Discriminating power* на SIMCA (Soft Independent Modeling of Class Analogy) метода. Това е статистически метод за обработка на спектрални данни и се основава на подобие, т.е. класифицира подобни проби, намиращи се в една и съща част от пространството. Друга негова характерна черта е, че дава информация за дължините на вълните, на които се базира разграничаването между отделните класове – т.нар. способност за разделяне [11].

В предишни изследвани [3, 2] са оценени възможностите за диагностициране на царевичните зърна от седемте изследвани сорта с метода SIMCA. Направена е предварителна обработка на спектралните данни с функциите, заложи в софтуерния пакет Piroquette – изглаждане, първа и втора производни [3]. В резултат на която са получени информативни дължини на вълните  $\lambda_f$  от показателя *Discriminating power*, значими за разделянето на двата класа зърна – здрави и заразени, които са получени в [2]. В табл.1 са показани тези дължини, получени при съответния вид обработка и на каква стойност от позиционната съставка  $b$  съответстват.

**Определяне на мащабиращия параметър  $a$**  - извършва се на два етапа:

1) За всяка стойност на параметъра  $b$  (от табл.1), съответстваща на честота от дължината на вълната, и за целия обхват на мащаба  $a$  (от фиг.2) се прави класификация на данните от обучаващите извадки на седмте сорта царевича, като се търси максималната точност на разпознаване.

Стойности на информативните дължини на вълните от показателя Discriminating power и съответстващите им стойности от параметъра за позиция Таблица 1

сорт царевични зърна	информативни дължини на вълните $\lambda_f$	параметър за позиция $b_j$ , отговарящ на избраните информативни дължини	получени информативни дължини при обработка с:
Кнежа 308	389; 412; 423; 434; 504; 547; 594; 615; 660; 676; 826	38; 67; 81; 95; 185; 240; 301; 328; 387; 408; 607	втора производна
Кнежа 436	389; 401; 435; 569; 598; 613; 678; 708; 744; 825	38; 53; 96; 268; 306; 326; 408; 450; 498; 606	втора производна
Кнежа 613	409; 513; 533; 593; 616; 639; 676	63; 196; 222; 300; 330; 360; 408	втора производна
Кнежа 620	387; 427; 489; 516; 568; 624; 659; 687; 775	35; 86; 165; 200; 267; 340; 386; 423; 539	изглаждане
26А	386; 396; 463; 537; 553; 599; 686	34; 47; 132; 227; 248; 307; 421	втора производна
ХМ87/136	369; 425; 502; 552; 649; 616; 723; 757; 859; 929	13; 84; 182; 246; 373; 330; 470; 515; 652; 746	първа производна
Русе 424	376; 393; 411; 436; 465; 495; 512; 591; 618; 647; 818; 859; 886; 915	22; 43; 66; 98; 135; 173; 195; 297; 332; 370; 597; 652; 688; 727	втора производна

С цел работа в реално време и по-голямо бързодействие на процедурите по обработката и класификацията се използва по-опростен класификатор, работещ по прагова стойност. За прагова стойност се взема граничната стойност на коефициентите  $C_{a,b}$ , определена между двата класа зърна –  $C_{a,b_{gr}}$ . Тя се изчислява за всеки сорт отделно по средните стойности за двата класа и за целия диапазон на мащабиращия параметър по следната зависимост:

$$C_{a_i, b_j, gr} = \frac{\|C_{a_i, b_j, avr\_zdr}\| - \|C_{a_i, b_j, avr\_zar}\|}{2}, \quad (5)$$

където  $a_i$ ,  $i = 1 \div 256$  е мащабиращият параметър;

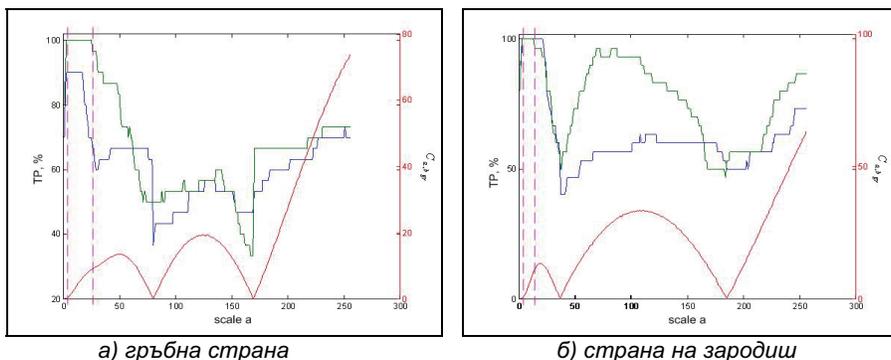
$b_j$ ,  $j = 1 \div m$  – параметърът за позиция на независимата променлива  $\lambda$  от CWT, чиито стойности  $m$  са представени в табл.1;

$C_{a_i, b_j, avr\_zdr}$  и  $C_{a_i, b_j, avr\_zar}$  – средните стойности на коефициентите съответно за клас здрави и клас заразени, изчислявани за целия диапазон на  $a$  при всяка стойност  $m$  от  $b_j$ .

На фиг.3 графично са представени резултатите от правилно класифицираните (TP) царевични зърна във функция от мащабиращия коефициент ( $TP = f(a)$ ) за сорт Кнежа 613. На същата фигура е показана и графиката за граничните стойности на коефициентите  $C_{a_i, b_j, gr}$  ( $C_{a_i, b_j, gr} = f(a)$ ).

2) За получените резултати от класификацията на спектралните данни от обучаващите извадки (TP, %) се търси общ диапазон за параметъра  $a$ , при който има максимална стойност от разпознаването при двата класа и за гръбната страна, и за страната на зародиш на царевичните зърна.

Търсенето на общия диапазон се основава на сечението между клас здрави и клас заразени при гръбната страна (фиг.3,а) и между клас здрави и клас заразени при страната на зародиш (фиг.3,б) по целия диапазон на параметъра  $a$ .



Фиг.3 Процент на правилно разпознати здрави (със зелено) и заразени (със синьо) царевични зърна и коефициенти  $C_{a_i, b_j, gr}$  (с червено) при съставка  $b_1=63$  за сорт Кнежа 613

За царевичните зърна се намира общото сечение  $A$  между двата класа едновременно и при гръбната страна, и при страната на зародиш по следната зависимост:

$$A = H \cap D = \{a_i | a_i \in H \text{ и } a_i \in D\}, \text{ за } \forall b_j, \text{ където } b_j \in B_n, \quad (6)$$

където  $H$  е обозначен клас здрави (healthy), а с  $D$  – клас заразени (diseased);  $a_i, i=1 \div 256$  – мащабиращият параметър от CWT, за чиито диапазон се търси сечението;  $B_n, n=1 \div 7$  – множествата на сортовете царевича;  $n$  - броят на сортовете царевича;  $b_j, j=1 \div m$  – параметърът за позиция на независимата променлива  $\lambda$  от CWT, чиито стойности  $m$  са представени в табл.1.

На фиг.3 с вертикалните линии (в лилаво) е показан намерения общ диапазон за  $a$  при 100% разпознаване на здрави и заразени зърна при параметъра  $b_1=63$  за сорт Кнежа 613.

### 3. Експериментални резултати

По представената по-горе методика са намерени общите диапазони за параметъра  $a$  за фиксираните в табл.1 стойности на  $b$ , при който е получена максимална стойност от разпознаването с данните от обучаващите извадки, при двата класа и за гръбната страна, и за страната на зародиш на царевичните зърна. Оказа се, че не при всички информативни дължини на вълните  $\lambda_f$ , посочени в табл.1, могат да се намерят общи диапазони за параметъра  $a$ . Например за сорт Кнежа 613 от дадените седем дължини ( $\lambda_f, f=1 \div 7$ ) се намери общ диапазон при шест от тях, които са представени в табл.2.

На базата на намерените общи диапазони при всички сортове са избрани точно конкретни стойности за параметъра  $a$ . При така фиксираните стойности за  $a$  и  $b$  са получени и резултатите от класификацията с тестовите извадки, за седемте сорта царевича, които са представени в табл.3.

Диапазони с еднакъв процент на правилно разпознати здрави и заразени царевични зърна за сорт Кнежа 613

Таблица 2

№ на „b”	намерени общи диапазони за „a” при фиксирани стойности за „b” за здрави и заразени зърна				ТР, % за общите диап. „a” от обучението	избор за „a” от общите диапазони
	гръбна страна		страна на зародиш			
	здрави	заразени	здрави	заразени		
b <sub>1</sub> = 63	a = 3+25	-	a = 3+13	a = 3+21	100	a = 3
b <sub>2</sub> = 196	a = 1+25	a = 1+24	a = 133+256	-	100	a = 1
b <sub>3</sub> = 222	-	a = 2+17	a = 117+236	a = 8	100	a = 8
b <sub>4</sub> = 300	a = 5+106	a = 7+9	a = 5+186	a = 5+16	100	a = 7
b <sub>5</sub> = 330	a = 6+140	-	a <sub>1</sub> = 5+11 a <sub>2</sub> = 66+174	a = 3+6	100	a = 6
b <sub>6</sub> = 360	a = 48+136	-	a = 76+162	a = 3+20	100	a = 76

Точност от класификация с данните от тестовите извадки

Таблица 3

сорт царевични зърна	стойности за уейвлит параметрите a <sub>i</sub> и b <sub>j</sub>	точност на разпознаване с обучаващите извадки, %		точност на разпознаване с тестовите извадки, %			
		гръбна страна и страна на зародиш		гръбна страна		страна на зародиш	
		здрави	заразени	здрави	заразени	здрави	заразени
Кнежа 308	b <sub>2</sub> =67 \ a=13	100	100	100	85	95	100
	b <sub>3</sub> =81 \ a=8	100	100	75	80	100	90
	b <sub>4</sub> =95 \ a=33	100	100	90	80	100	100
	b <sub>7</sub> =301 \ a=24	100	100	100	85	100	95
	b <sub>8</sub> =328 \ a=18	100	100	100	80	95	80
	b <sub>11</sub> =607 \ a=21	100	100	100	75	100	85
Кнежа 436	b <sub>1</sub> =38 \ a=3	100	100	85	95	100	100
	b <sub>6</sub> =326 \ a=92	100	100	95	95	100	70
Кнежа 613	b <sub>1</sub> =63 \ a=3	100	100	100	90	100	90
	b <sub>2</sub> =196 \ a=1	100	100	100	100	45	50
	b <sub>3</sub> =222 \ a=8	100	100	90	100	95	95
	b <sub>4</sub> =300 \ a=7	100	100	100	100	100	100
	b <sub>5</sub> =330 \ a=6	100	100	95	95	100	100
	b <sub>6</sub> =360 \ a=76	100	100	100	100	100	70
Кнежа 620	b <sub>6</sub> = 340 \ a=75	100	100	100	95	100	95
26А	b <sub>2</sub> = 47 \ a=45	93,33	93,33	100	55	100	95
	b <sub>6</sub> = 307 \ a=29	93,33	93,33	100	80	100	85
Русе 424	b <sub>3</sub> =66 \ a=17	100	100	100	85	100	100
	b <sub>8</sub> =297 \ a=5	100	100	95	90	100	100
	b <sub>9</sub> =332 \ a=77	100	100	100	100	100	95
	b <sub>11</sub> =597 \ a=25	100	100	100	80	95	100
ХМ87/136	b <sub>2</sub> =84 \ a=14	93,33	93,33	95	75	100	100
	b <sub>3</sub> =182 \ a=148	93,33	93,33	100	80	100	100
	b <sub>4</sub> =246 \ a=31	93,33	93,33	100	90	100	100

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложен е комплексен подход за синтез на признаци за класифициране на здрави и заразени с Фузариум царевични зърна, съчетаващ два метода – статистически SIMCA метод и уейвлит трансформация на спектралните данни.

Намерени са общи диапазони за параметъра *a* на непрекъснатата уейвлит трансформация тип „Мексиканска шапка”, за които стойности е получена максимална точност от разпознаването с данните от обучаващите извадки на двата класа царевични зърна.

Установи се, че уейвлит параметрите  $a$ ,  $b$  и коефициентите  $C_{a,b}$  силно се влияят от сортовете царевица. При фиксирани стойности за тях се получава точност от класификацията на здравите и заразените зърна в диапазона от 75 до 100%.

Предложеният подход е ефективен за класификация на здравите и заразените зърна от четири сорта царевица – Кнежа 436, Кнежа 613, Кнежа 620 и Русе 424, при които се получава над 95% точност.

### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Дамянов, Ч. Неразрушаващо разпознаване на качеството в системите за автоматично сортиране на хранителни продукти, Академично издателство на УХТ – Пловдив, 2006.
- [2] Даскалов, П., Ц. Драганова, В. Манчева, Р. Цонев. Оценяване влиянието на сортовата принадлежност при диагностициране на заболяването Фузариум на царевични зърна със спектрален анализ и статистически подход, Научни трудове на РУ “А. Кънчев”, том 49, серия 3.1, 2010, стр. 119-124.
- [3] Манчева, В. Оценяване възможностите за диагностициране на заболели от Фузариоза царевични семена чрез спектрален анализ и SIMCA метод, Научни трудове на РУ “А. Кънчев”, том 49, серия 3.1, 2010, стр. 112-118.
- [4] Шопов, Н., М. Мукарев, Ч. Дамянов. Уейвлитно преобразуване на входните данни при невронни класификатори, сп. “Автоматика и информатика”, год. XL, 2, 2006, стр. 31-36.
- [5] Cassells, J., R. Reuss, B. Osborne, I. Wesley. Near infrared spectroscopic studies of changes in stored grain, J. Near Infrared Spectrosc, Vol.15, 2007, pp. 161 – 167.
- [6] Chen, X., Yi Xun, W. Li, J. Zhang. Combining discriminant analysis and neural networks for corn variety identification, Computers and electronics in agriculture, 71, 2010.
- [7] Delwiche, S., C. Gaines. Wavelength selection for monochromatic and bichromatic sorting of fusarium-damaged wheat, Applied Engineering in Agriculture, Vol. 21(4), 2005, pp. 681-688.
- [8] Draganova, Ts., V. Mancheva, P. Daskalov, R. Tsonev. Wavelet based approach for Fusarium corn kernels recognition using spectral data processing. 10<sup>th</sup> IFAC Workshop on Programmable Devices and Embedded Systems (PDeS), Poland, 2010, pp. 19-23.
- [9] Koger, C., Bruce, L., Shaw, D., and Reddy, K. Wavelet analysis of hyperspectral reflectance data for detecting pitted morning glory (*Ipomoea lacunosa*) in soybean (*Glycine max*). *Remote Sensing of Environment*, Vol. 86, 2003, pp. 108-119.
- [10] Krska, R., P. Schubert-Ullrich, A. Molinelli, M. Sulyok, S. Macdonald, C. Crews. Mycotoxin analysis: an update, Food additives and contaminants, vol. 25(2), 2008, pp. 152 – 163.
- [11] Pirouette Software Manual, Version 2.01, Infometrics, Inc., Woodinville, WA, USA.
- [12] Singh, C., D. Jayas, J. Paliwal, N. White. Identification of insect – damaged wheat kernels using short – wave near – infrared hyperspectral and digital colour imaging, Computers and electronics in agriculture, Vol.73, 2010.
- [13] Wu, L., Y. Wen, X. Deng, H. Peng. Identification of weed/corn using BP network based on wavelet features and fractal dimension. Scientific research and essay, Vol. 4(11), 2009, pp. 1194 – 1200.
- [14] www.mathworks.com

### За контакти:

Виолета Манчева, Катедра “Автоматика, Информационна и Управляваща Техника”, Русенски университет “Ангел Кънчев”, тел.:082 888684, e-mail: [vmancheva@ru.acad.bg](mailto:vmancheva@ru.acad.bg).

Доц. д-р инж. Пламен Даскалов, Катедра “Автоматика, Информационна и Управляваща Техника”, Русенски университет “А. Кънчев”, тел.:082 888668, e-mail: [daskalov@ru.acad.bg](mailto:daskalov@ru.acad.bg).

**Докладът е рецензиран.**