

## Основни аспекти на гранулирането на отпадна биомаса от царевицата за зърно

Любомир Асенов, Юрий Енакиев

**Main Aspects of Pelleting Grain Corn Waste Biomass:** A laboratory research on pelleting corn stalks with pelleting pilot equipment has been carried out. The method of pelleting is pressing the material with a roller into a vertical die.

The main factors affecting the pelleting process, such as the humidity of the material and the rotation speed of the pelleting die, were determined.

The impact of material humidity and the rotation speed of the pelleting die on the energy consumption of the process and on pellet quality (PDI) have also been defined.

**Key words:** corn stalks, pelleting, pilot equipment, vertical die, pellets, humidity of the material, rotation speed, energy consumption, pellet quality (PDI)

### ВЪВЕДЕНИЕ

Отпадната биомаса от царевицата за зърно, която остава на полето след прибиране на основната продукция, е значителна и една от възможностите за нейното оползотворяване е превръщането ѝ в продукт, годен за горене.

Засетите площи от царевица за зърно по данни на отдел „Агростатистика“ към МЗХ, за 2010 година [1], са 2 740 000 дка, а от слънчоглед 6 872 090 дка. След прибирането на зърното от тях по полето остава около 2 000 000 t листо-стъблена маса, която има ресурса на гориво от същия порядък.

Чрез гранулирането на отпадната биомаса се постигат редица предимства, състоящи се в следното: получава се продукт, удобен за съхранение; намалява се многократно праховата фракция на горивото, която влошава горивния процес при изгарянето; намалява се влажността на материала, с което се повишава к.п.д. на котела; повишава се значително енергонатоварването на печния обем на печното устройство и др.

### ЦЕЛ И МЕТОДИКА НА ИЗСЛЕДВАНЕТО

Целта на настоящото изследване е да се определят енергетичните и качествени показатели на процеса на гранулиране на отпадната листо-стъблена маса от царевицата за зърно.

Анализът на априорната информация, натрупаният опит и резултатите от предварителните лабораторни изследвания дават основание да се възприемат следните величини за управляеми фактори, оказващи съществено влияние на процеса на гранулиране:

- $X_1 (W)$  – влажност на изходния материал за гранулиране, %;
- $X_2 (n)$  – честота на въртене на матрицата,  $min^{-1}$ .

За оценка качеството на работа на лабораторната уредба за гранулиране са използвани следните по-важни изходни (частни) параметри (показатели):

- $Y_1 (P)$  – необходима мощност за процеса на гранулиране, kW;
- $Y_2 (Q)$  – производителност на лабораторната уредба за гранулиране, t/h;
- $Y_3 (P/Q)$  – специфичен разход на енергия за процеса на гранулиране, kWh/t;
- $Y_4 (\Omega)$  – здравина на гранулите, %.

Оптимизирането на процеса е извършено по параметри:  $Y_1 (P)$  – необходима мощност за процеса на гранулиране,  $Y_2 (Q)$  – производителност на лабораторната уредба за гранулиране,  $Y_3 (P/Q)$  – специфичен разход на енергия за процеса на гранулиране и  $Y_4 (\Omega)$  – здравина на гранулите, като е търсен минимум на параметрите  $Y_1$  и  $Y_3$ , и максимум на параметрите  $Y_2$  и  $Y_4$  в областта на изследването.

Проведен е многофакторен експеримент за изследване областта на оптимума и намиране на оптималните стойности на факторите:  $X_1 (W)$  и  $X_2 (n)$ , влияещи върху

изследваните параметри (показатели) на процеса. Използван е план от типа В<sub>2</sub>.

За провеждане на изследването е използвана лабораторна уредба за гранулиране чрез пресоване през вертикална пръстеновидна матрица с притискаща ролка, създадена в ИПАЗР „Н. Пушкиров“.

### РЕЗУЛТАТИ И АНАЛИЗ

За установяване нивата на вариране на управляемите фактори, преди провеждането на планирания многофакторен експеримент са проведени предварителни експерименти. От тях е установено, че процесът на гранулиране на царевичната листностъблена маса протича стабилно при влажност на изходния материал за гранулиране  $W$  от 12 до 18% и честотата на въртене на матрицата  $n$  - от 220 до 340  $min^{-1}$ . Листностъблената маса трябва да бъде наситнена до получаване на изходен материал за гранулиране с максимален размер на частиците  $a_{max}$  до 4,5  $mm$  и среден размер  $a_{cp}$  - 2,0-2,2  $mm$  [2].

Използвана е матрица с диаметърът на каналите  $d_k$  - 6  $mm$  и дължина на каналите  $L$  - 15  $mm$ , при която са получени най-добри енергетични и качествени показатели при предварителните експерименти.

Получените експериментални резултати (табл.1) са обработени по методите на регресионния анализ и са изведени регресионни уравнения, описващи взаимодействието на изучаваните управляеми фактори върху изследваните параметри.

Таблица 1

План на експеримента и стойности на параметрите при гранулиране на царевична листностъблена маса

№	План на експеримента				Стойности на изследваните параметри			
	Управляеми фактори в кодиран вид		Управляеми фактори в натурален вид		Необходима мощност, $kW$	Производителност, $t/h$	Специфичен разход на енергия, $kWh/t$	Здравина на гранулитите, %
	$X_1$	$X_2$	$X_1, \%$	$X_2, min$	$Y_1$	$Y_2$	$Y_3$	$Y_4$
1	1	1	18	340	1,20	0,0049	263	94,6
2	-1	1	12	340	1,47	0,0045	351	97,4
3	1	-1	18	220	1,33	0,0101	133	91,5
4	-1	-1	12	220	1,48	0,0065	244	96,8
5	1	0	18	280	1,93	0,0107	180	93,8
6	-1	0	12	280	1,88	0,0078	240	95,1
7	0	1	15	340	1,62	0,0069	233	97,2
8	0	-1	15	220	1,45	0,0076	207	95,8
9	0	0	15	280	2,01	0,0087	233	94,8

Извършената проверка за адекватност показва, че те описват с достатъчна точност изследвания процес. Уравненията имат следния вид:

- необходима мощност за процеса на гранулиране:

$$Y_1 = 2,04 - 0,06x_1 + 0,004x_2 - 0,03x_1x_2 - 0,145x_1^2 - 0,52x_2^2 \quad (1)$$

- производителност:

$$Y_2 = 9,29 + 1,10x_1 - 1,31x_2 - 0,79x_1x_2 - 0,27x_1^2 - 2,36x_2^2 \quad (2)$$

- специфичен разход на енергия за процеса на гранулиране:

$$Y_3 = 210,59 - 43,06x_1 + 44x_2 + 10,61x_1^2 + 5,83x_1x_2 + 20,78x_2^2 \quad (3)$$

- здравина на гранулитите:

$$Y_4 = 95,28 - 1,57x_1 + 0,85x_2 - 1,07x_1^2 + 0,63x_1x_2 + 0,98x_2^2 \quad (4)$$

Получените оптимални стойности на факторите в кодиран и натурален вид и стойностите на целевите параметри, са дадени в табл.2.

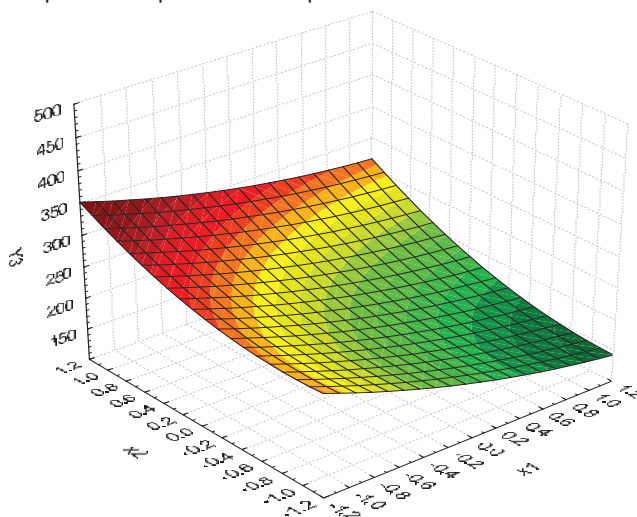
Чрез повърхнините на отклика на фиг.1 и фиг.2 е показано съвместното влияние на влажността на изходния материал за гранулиране и честота на въртене на матрицата върху специфичния разход на енергия и здравината на гранулите.

Таблица 2

Оптимални стойности на факторите по частни критерии на оптимизация

Целеви параметри $Y_i$	Екстремална стойност на целевия параметър	Оптимални стойности на фактори			
		В кодиран вид		В натурален вид	
		$X_1$	$X_2$	$X_1$ %	$X_3$ $min^{-1}$
$Y_1 min$	1,34 kW	1	-1	18	220
$Y_2 max$	0,0102 t/h	1	-0,195	18	257
$Y_3 min$	149 kWh/t	1	-1	18	220
$Y_4 max$	97,3%	-0,44	1	13,4	340

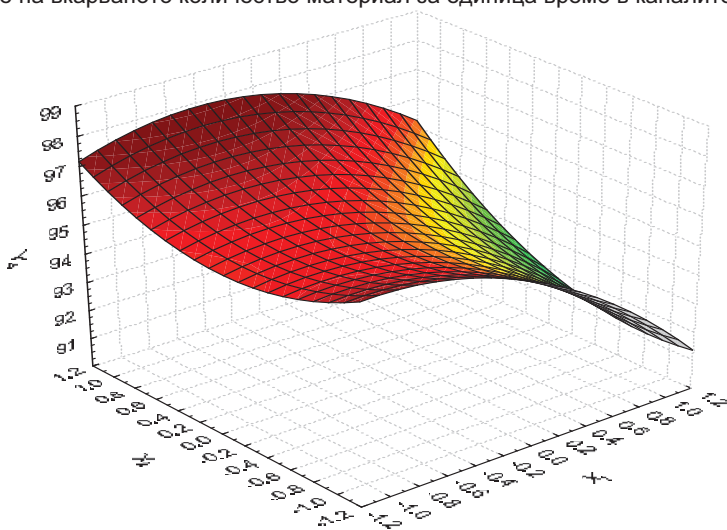
С увеличаване на влажността на материала за гранулиране и намаляване на честотата на въртене на матрицата намалява разходът на енергия за процеса (фиг.1). Дължи се основно на намаляването на необходимата мощност за задвижване и нарастването на производителността на уредбата за гранулиране, вследствие намаляване на съпротивлението в каналите на матрицата при образуването на гранулите и по-бързото им преминаване през тях.



Фиг.1. Влияние на влажността на изходния материал за гранулиране  $X_1$  (W от 12 до 18%) и честотата на въртене на матрицата  $X_2$  (n от 220 до 340  $min^{-1}$ ) върху специфичния разход на енергия P/Q

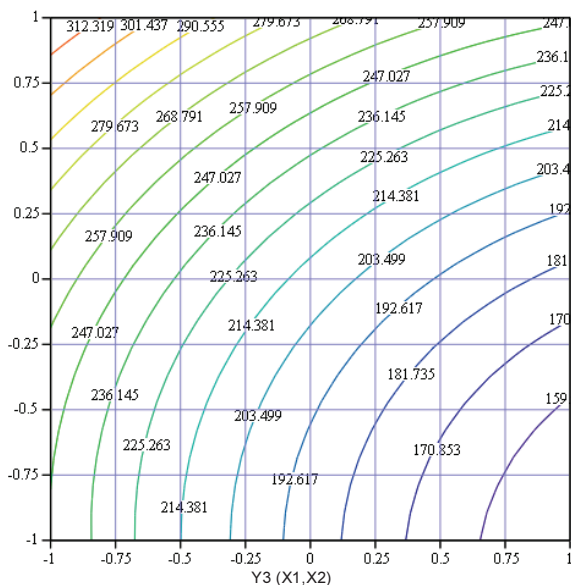
Най-голяма здравина на гранулите (96-97 %) се получава при влажност на материала между 12 и 15 % и честота на въртене на матрицата, близка до максималната (около 300–340  $min^{-1}$ ). С увеличаване на влажността над 15 % и постепенното

намаляване на честотата на въртене, здравината на гранулитите започва да намалява. Дължи се основно на това, че между частиците на материала нараства обемът на водната обвивка, което намалява степента на уплътняването им. Този негативен ефект се подсилва с намаляването на честота на въртене на матрицата, поради намаляване на вкарваното количество материал за единица време в каналите.



Фиг.2. Влияние на влажността на изходния материал за гранулиране  $X_1$  (W от 12 до 18%) и честотата на въртене на матрицата  $X_2$  (n от 220 до 340  $\text{min}^{-1}$ ) върху здравината на гранулитите  $\Omega$

На фиг.3 са показани линиите на еднакъв отклик на специфичния разход на енергия. Тези линии имат важно практическо значение, защото спомагат за избор на различни стойности на управляемите фактори  $X_1$  и  $X_2$  за постигане на определена икономическа ефективност на производствените технологични линии за гранулиране.



Фиг.3. Линии на еднакъв специфичен разход на енергия  $P/Q$  на лабораторната уредба за гранулиране при изменение на влажността на материала  $X_1$  ( $W$  от 12 до 18 %) и честотата на въртене на матрицата  $X_2$  ( $n$  от 220 до 340  $\text{min}^{-1}$ )

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведеното изследване дава основание да се направят следните изводи:

1. Изследван е процесът на гранулиране на отпадната листностъблена маса от царевичата за зърно с лабораторна уредба по метода на пресоване с ролка през вертикална пръстеновидна матрица.
2. Изведени са регресионни уравнения, описващи взаимодействието на факторите влажност на материала и честота на въртене на матрицата върху изследваните параметри на процеса на гранулиране.
3. Най-висока производителност 0,0102  $t/h$  и най-нисък специфичен разход на енергия 149  $kWh/t$  са получени при влажност на материала за гранулиране 18% и честота на въртене на матрицата между 220 и 260  $\text{min}^{-1}$ .
4. В изследваната област на изменение на управляемите фактори са произведени гранули с диаметър 6  $mm$  и здравина на гранулите между 92% и 97%, което гарантира минималното съдържание на прахова фракция на този горивен материал.
5. Практическото приложение на това изследване се състои в прилагането на получените резултати при настройката на гранулиращите машини за производство на гранули от отпадна царевична биомаса.

### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Аграрен доклад 2010 година на МЗХ, отдел „Агростатистика“.
- [2] Асенов Л., И. Иванов, Ю. Енакиев. Предварително изследване за гранулиране на растителни остатъци. Сп. Селскостопанска техника, №4, 2011, София, стр.11-15.

### За контакти:

Доц. д-р инж. Любомир Асенов, ИПАЗР „Н. Пушкиров“–София,  
Тел.: 02/8929323 – служебен, 0898784513 – мобилен  
e-mail: assenov\_l@yahoo.com