

ИЗСЛЕДВАНЕ ЕНЕРГОЕМКОСТТА НА ПРОЦЕСА ГРАНУЛИРАНЕ НА ОТПАДНАТА БИОМАСА ОТ ЗЕМЕДЕЛИЕТО

RESEARCH OF POWER CONSUMPTION OF PROCESSES OF PELLETING AGRICULTURAL WASTE BIOMASS

Гл. ас. д-р инж. Юрий Енакиев¹, гл. ас. д-р инж. Иван Мортев¹, проф. д-р инж. Виктор Балабанов², доц. д-р инж. Кирил Стефанов³
Институт по почвознание, агротехнологии и защита на растенията "Н.Пушкарров", София¹
РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Русия²
Лесотехнически университет, София³

yenakiev@yahoo.co.uk

Abstract: A laboratory research on pelleting waste biomass: leaves, stalks, corn, sunflower and grapevine 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 power consumption have also been defined.

Keywords: PELLETING, PELLETS, SPECIFIC ENERGY CONSUMPTION, LEAVES, STALKS, CORN, SUNFLOWER, GRAPEVINE, UTILIZATION, WASTE BIOMASS, VERTICAL DIE.

1. Въведение

Всяка година, след прибирането на селскостопанската продукция, на полето остават неизползвани големи количества отпадна биомаса [2,3,14]. Тази маса представлява енергиен ресурс, който може да се използва за получаване на полезна енергия. Една от възможностите за нейното оползотворяване е превръщането ѝ в продукт, годен за горене [5,7,13].

Основните количества отпадна биомаса в България се получават от листно-стъблената маса на царевичата и слънчогледовите стъбла, след прибирането на основната продукция, както и от лозовите пръчки, след изрязването на лозовите масиви [4,6,9]. По данни на отдел „Агростатистика” към МЗХ, засетите площи от царевича за зърно за 2014 година са около 410 000 ha, от слънчоглед – 845 000 ha и от лозя – 63 000 ha. След прибирането на селскостопанската продукция, по полето остава около 4 000 000 t листно-стъблена маса на царевича, 1 700 000 t слънчогледови стъбла и около 125 000 t лозови пръчки [1,8,10].

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. [11,12].

2. Цел на изследването

Целта на настоящото изследване е да се установи и сравни разходът на енергия при гранулирането на листно-стъблена маса от царевича, слънчогледови стъбла и лозови пръчки под влиянието на основните фактори, влияещи на процеса.

3. Методика на експерименталното изследване

За провеждане на изследването е използвана опитна лабораторна уредба за гранулиране чрез пресоване през вертикална пръстеновидна матрица с притискаща ролка, създадена в ИПАЗР „Никола Пушкарров”. Предназначена е за изследване на процеса гранулиране на различни видове материали в лабораторни условия, като дава възможност да бъде установено влиянието на основните фактори върху параметрите на процеса.

Изследвани параметри (показатели)

За оценка енергоемкостта на процеса гранулиране е използван параметърът специфичен разход на енергия – Y_i , като:

- Y_1 – при гранулиране на царевична листно-стъблена маса, kWh/t;
- Y_2 – при гранулиране на слънчогледовите стъбла, kWh/t;
- Y_3 – при гранулиране на лозови пръчки, kWh/t.

Оптимизирането на процеса е извършено като е търсен минимум на специфичния разход на енергия за процеса на гранулиране Y_i .

Управляеми фактори при изследване на процеса на гранулиране

За управляеми фактори, оказващи съществено влияние върху изследваните показатели на процеса на гранулиране са възприети:

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

Интервалите на изменение на управляемите фактори са определени с предварителни еднофакторни експерименти, целящи определяне на областта на тяхното изменение, в която процесът протича стабилно. Въз основа на тези експерименти са установени следните интервали:

- за гранулиране на листно-стъблена маса от царевича: X_1 – от 12 до 18%;
- за гранулиране на слънчогледовите стъбла: X_1 – от 18 до 22%;
- за гранулиране на лозови пръчки: X_1 – от 16 до 20%;
- за честота на въртене на матрицата X_2 интервалът на изменение – от 220 до 340 min^{-1} .

Избор на плана на експеримента и обработка на опитните данни

В настоящото изследване е проведен двуфакторен експеримент за изследване областта на оптимума и намиране на оптималните стойности на факторите: $X_1 (W)$ и $X_2 (n)$, влияещи върху изследваните параметри на процеса.

Използван е план на експеримента от типа B_2 . При този план факторите варират на три нива, а опитите са проведени с трикратно повторение.

Експериментите са проведени при максимално допустимото натоварване на опитната лабораторна уредба, респективно на основния електродвигател за всеки опит, като това е контролирано с амперметър от управляващо-измервателния блок.

Изследването е проведено с лабораторна уредба за гранулиране, създадена в ИПАЗР „Н. Пушкиров”, работеща на принципа на пресоване на материала през вертикална пръстеневидна матрица с притискаща ролка.

Изучаването на повърхнината на отклика след установяване на нейния вид и определянето на оптималните стойности на управляемите фактори е извършено с помощта на едномерни и двумерни сечения.

Изходните материали са наситнени с чукова фуражомелка, през сито с диаметър на отворите 4 mm, като полученият изходен материал за гранулиране е с максимален размер на частиците a_{max} до 4,5 mm и среден размер $a_{cp} = 2,0-2,2$ mm [3].

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.

Обработката на получените експериментални данни е извършена със програмите STATISTICA и MathCAD.

4. Резултати и анализ

Проведен е многофакторен експеримент при гранулиране на отпадна биомаса от земеделието. Получените експериментални резултати от гранулирането на отпадна биомаса от земеделието са показани в табл. 1.

Таблица 1: Резултати от проведения многофакторен експеримент при гранулирането на отпадна биомаса от земеделието

№	План на експеримента				Специфичен разход на енергия, kWh/t		
	Управляеми фактори в кодиран вид		Управляеми фактори в натурален вид		Листно-стъблена маса от царевица	Слънчогледови стъбла	Лозови пръчки
	X_1	X_2	X_1 , %	$X_{2,1}$, min			
1	1	1	18	340	263	257	256
2	-1	1	12	340	351	790	261
3	1	-1	18	220	133	194	135
4	-1	-1	12	220	244	275	202
5	1	0	18	280	180	183	177
6	-1	0	12	280	240	476	234
7	0	1	15	340	233	384	249
8	0	-1	15	220	207	157	143
9	0	0	15	280	233	200	186

Сравнителният анализ на енергетичните и качествените показатели на процеса гранулиране е направен по специфичния разход на енергия. Той представлява обобщен показател на изходни параметри и представлява зависимостта между необходимата мощност за процеса и производителността на лабораторната уредба за гранулиране.

Получените експериментални резултати са обработени по методите на регресионния анализ и са изведени регресионни уравнения, описващи въздействието на управляемите фактори

върху изследваните параметри.

Регресионните уравнения на специфичния разход на енергия – Y_i на изследваните параметри имат следния вид:

- за листно-стъблената маса от царевица

$$\hat{Y}_1 = 210,59 - 43,06 x_1 + 44 x_2 + 5,83 x_1 x_2 + 10,61 x_1^2 + 20,78 x_2^2 \quad (1)$$

- за слънчогледовите стъбла

$$\hat{Y}_2 = 209,22 - 151,11 x_1 + 134,06 x_2 - 113,08 x_1 x_2 + 115,67 x_1^2 + 56,5 x_2^2 \quad (2)$$

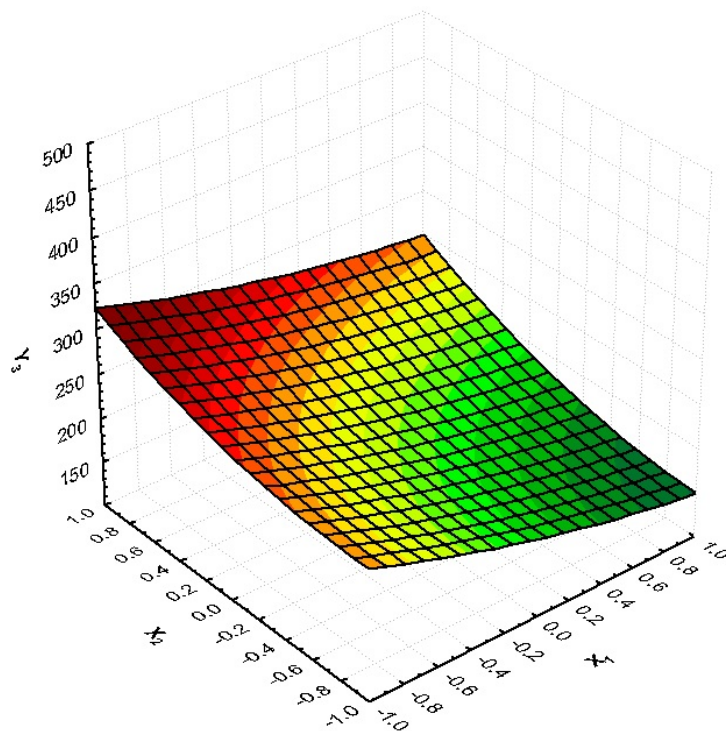
- за лозовите пръчки

$$\hat{Y}_3 = 186,78 - 21,44 x_1 + 47,5 x_2 + 15,25 x_1 x_2 + 18 x_1^2 + 8,83 x_2^2 \quad (3)$$

Извършената проверка за адекватност показва, че изведените регресионни уравнения описват с достатъчна точност изследвания процес.

Сравнителен анализ на разхода на енергия при гранулирането на изследваните култури

Чрез повърхнините на отклика на фиг. 1, 2 и 3 е показано съвместното влияние на влажността на листно-стъблената маса от царевица, слънчогледовите стъбла и лозовите пръчки и честотата на въртене на матрицата върху специфичния разход на енергия. Въпреки различният характер на повърхнините могат да се направят следните обобщения.



Фиг. 1. Влияние на влажността на листно-стъблената маса от царевица 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 Y_3

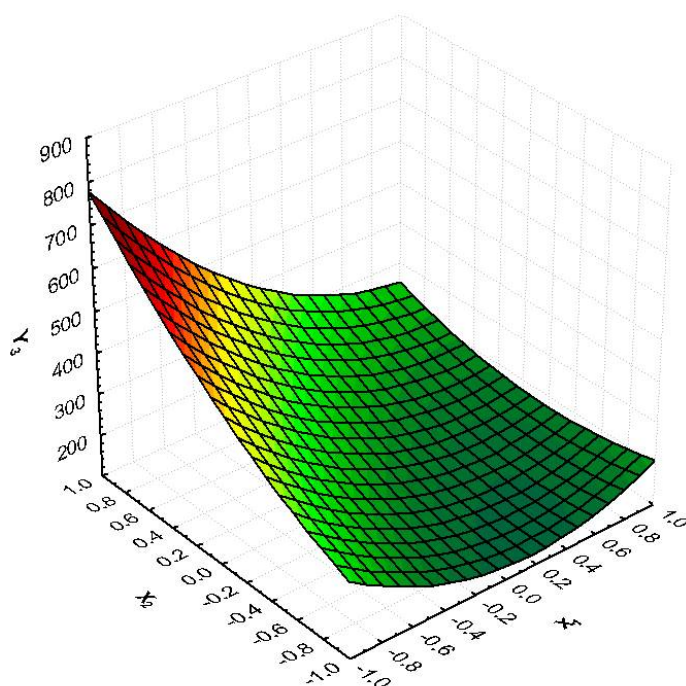
С увеличаването на влажността на трите материала, специфичния разход на енергия намалява. Тази тенденция не се спазва при гранулирането на слънчогледови стъбла (фиг. 2) при влажност на материала от 20% до 22%, при минимална честота на въртене на матрицата – 220 min^{-1} .

В този случай, с увеличаването на влажността в горепосочения диапазон специфичния разход на енергия незначително се увеличава.

Намаляването на специфичния разход на енергия се дължи на това, че с увеличаването на влажността на материала, нараства неговата смазваща способност, което улеснява процеса на гранулиране. Този ефект води до намаляване на триенето по стените на каналите на матрицата и съответното до намаляване на специфичния разход на енергия.

Освен това, с увеличаването на влажността на материала, нараства и производителността на уредбата за гранулиране, вследствие намаляване на съпротивлението в каналите на матрицата при образуването на гранулите и по-бързото им преминаване през тях, което води до намаляване на специфичния разход на енергия.

Тази тенденция се проявява най-изразително при гранулирането на слънчогледови стъбла с честота на въртене на матрицата – 340 min^{-1} (фиг. 2). С увеличаването на влажността на материала от 18% до 22%, специфичния разход на енергия намалява тройно – от 790 kWh/t до 257 kWh/t .



Фиг. 2. Влияние на влажността на слънчогледовите стъбла X_1 (W – от 18 до 22%) и честотата на въртене на матрицата X_2 (n - от 220 до 340 min^{-1}) върху специфичния разход на енергия Y_3

С увеличаването на честотата на въртене на матрицата при гранулирането на трите материала, специфичния разход на енергия се увеличава. Тази тенденция не се спазва при гранулирането на слънчогледови стъбла (фиг. 2) при максималната влажност – 22%. В този случай, с увеличаването на честотата на въртене на матрицата до 280 min^{-1} специфичния разход на енергия незначително намалява, а после незначително се увеличава.

Нарастването на специфичния разход на енергия с увеличаването на честотата на въртене на матрицата, може да се обясни с това, че количеството на материал, което постъпва в каналите ѝ за единица време се увеличава, а оттам нараства и съпротивлението при преминаването му през тях.

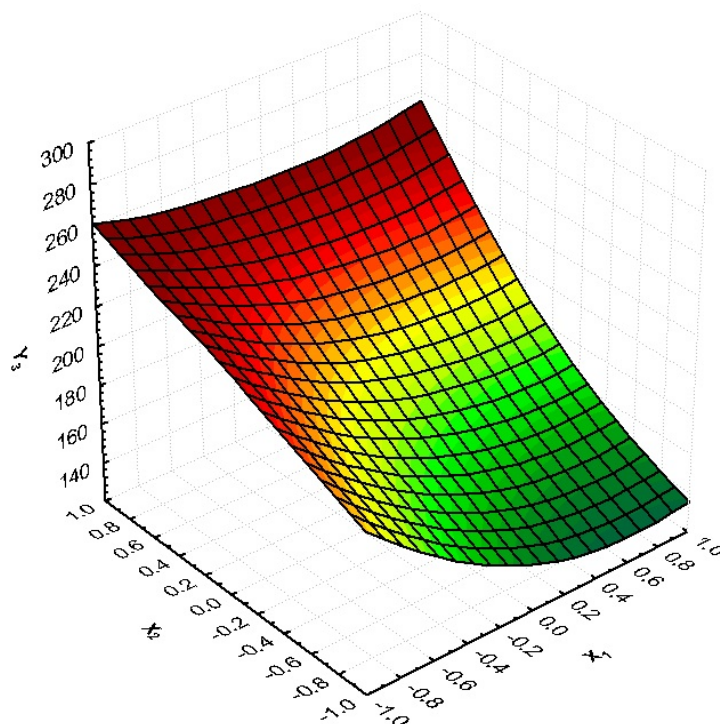
Тази тенденция се проявява най-изразително при гранулирането на слънчогледови стъбла с влажност на материала 18% (фиг. 2). С увеличаването на честотата на въртене на матрицата от 220 до 340 min^{-1} , специфичния разход на енергия се увеличава значително от 275 до 790 kWh/t .

Характерът на изменението на повърхнините на листо-стъблената маса от царевича (фиг. 1) и лозовите пръчки (фиг.

3) е идентичен. Разликата се състои в това, че процесът на гранулиране на лозовите пръчки изисква по-малък специфичен разход на енергия.

На фиг. 2 е показано влиянието на влажността на материала и честотата на въртене на матрицата върху специфичния разход на енергия при гранулирането на слънчогледовите стъбла. Съответните линии на повърхнината са с голям размах, което показва силното влияние на управляемите фактори върху специфичния разход на енергия.

При минимална влажност на материала 18% и максималната честотата на въртене на матрицата 340 min^{-1} , специфичния разход на енергия е значителен и достига до 790 kWh/t . Това означава, че процесът изисква значително по-голяма мощност за гранулиране на слънчогледовите стъбла в сухо състояние.



Фиг. 3. Влияние на влажността на лозовите пръчки X_1 (W – от 16 до 20%) и честотата на въртене на матрицата X_2 (n - от 220 до 340 min^{-1}) върху специфичния разход на енергия Y_3

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

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 %	$X_2 \text{ min}^{-1}$
$Y_1 \text{ min}$	149 kWh/t	1	-1	18	220
$Y_2 \text{ min}$	128 kWh/t	0,164	-1	20,3	220
$Y_3 \text{ min}$	129 kWh/t	1	-1	20	220

От таблица 2 се вижда, че екстремалните стойности на целевите параметри имат много близко значение: от 128 и 129 kWh/t съответно при гранулирането на слънчогледови стъбла и

лозови пръчки, до 149 kWh/t – при гранулирането на листо-стъблената маса от царевица. При това честотата на въртене на матрицата е минимална – 220 min⁻¹ в изследвания диапазон. Влажността на материалите е максимална при гранулирането на царевична листо-стъблена маса и лозовите пръчки, съответно 18 и 20% и на средно ниво при гранулирането на слънчогледови стъбла – 20,3%.

Заклучение

1. Техническият потенциал на растителните остатъци за енергийни цели е голям, но неизползван поради трудности и много нерешени проблеми от различен характер. В действителност, тези отпадъци не могат да осигурят цялата енергия за селското стопанство, а само част от нея – главно в районите, където освен големи количества такава биомаса има и подходяща организация за оползотворяването ѝ.

2. Изследван е процесът на гранулиране от отпадна листо-стъблена маса от царевица за зърно, от слънчогледови стъбла и от лозови пръчки с лабораторна уредба за гранулиране по метода на пресоване с ролка през вертикална пръстеновидна матрица.

3. Оптималните стойности на целевите параметри – $Y_2 = 128$ и $Y_3 = 129$ kWh/t се получават съответно при гранулирането на слънчогледови стъбла и лозови пръчки и $Y_3 = 149$ kWh/t – при гранулирането на листо-стъблената маса от царевица са получени при честотата на въртене на матрицата – 220 min⁻¹ и влажност на трите материала съответно 18 и 20% при гранулирането на царевична листо-стъблена маса и лозовите пръчки и 20,3% – при гранулирането на слънчогледови стъбла.

4. В изследваната област на изменение на управляемите фактори са произведени гранули с диаметър 6 mm и здравина на гранулите между 88% и 97%, което гарантира минималното съдържание на праховата фракция на тези горепосочени горивни материали.

5. Практическото приложение на това изследване се състои в прилагането на получените резултати при настройката на гранулиращите машини за производство на гранули от отпадна листо-стъблена маса от царевица за зърно, от слънчогледови стъбла и от лозови пръчки. Създаването на технологии за оползотворяването на растителните остатъци би спомогнало за тяхното използване за енергийни цели, вместо унищожаването им.

Литература

- [1]. Аграрен доклад 2015 година на МЗХ, отдел „Агростатистика”.
- [2]. Асенов, Л., Е. Видинова. Обосноваване на технологии за прибиране на растителни остатъци от окопни култури с цел последващо оползотворяване. Сп. Селскостопанска техника, № 5, 2007, 2-6.
- [3]. Асенов, Л., И. Иванов, Ю. Енакиев. Предварително изследване за гранулиране на растителни остатъци. Сп. Селскостопанска техника, № 4, 2011, 11-15.
- [4]. Божков, С., К. Димитров, К. Стефанов, А. Александров, Екологични проблеми в земеделското производство. Сп. Механизация на земеделието, №7, 1996, 23-24.
- [5]. Георгиев, В. Технически потенциал на растителните селскостопански остатъци подходящи за енергийно оползотворяване в България. Сп. Топлотехника за бита, № 6, 2005, 30-34.
- [6]. Георгиев, Г., Б. Борисов, Хр. Белоев, Т. Тодоров. Една възможност за пресоване на отпадъци от растения и дървесина с цел ефективното им оползотворяване. РУ “А. Кънчев”, Научни трудове, Том 44, Допълнително издание, Русе, 2005, 103-107.
- [7]. Захариев И., Д. Кехайов. Резултати от изследване на изгарянето на пръчки от рози. Научни трудове на РУ “А. Кънчев”, т. 54, сер. 1.1, 2015, 123-125.

[8]. Иванов, Д., Т. Митова, И. Димитров, В. Георгиев. Енергиен анализ на технологиите на прибиране на зърнено-житни култури. Сп. Селскостопанска техника, № 5, 2005, 3-10.

[9]. Кехайов Д., Г. Комитов. Определяне на енергийния потенциал на остатъчната биомаса от земеделското производство на Агротрейд ЕООД гр. Ямбол. Научни трудове на РУ “А. Кънчев”, т. 52, сер. 1.1, 2013, 184-187.

[10]. Отчет проект № 3. Разработване и изследване на енергоспестяващи механизирани технологии в растениевъдството при условия на устойчиво земеделие. Национален център за аграрни науки. Институт по мелиорации и механизация, София, 2005.

[11]. Цветков, И. Микропроцесорен модул за измерване параметрите на трифазен електрически ток. Научни трудове на РУ “А. Кънчев”, том. 52, серия 3.1, 2013, Русе, 123-126.

[12]. Assenov, L., I. Ivanov, I. Marinov, G. Stoyanov, V. Georgiev, G. Kapashikov. Investigation of the granulation process of poultry litter from broilers with aim utilization. XII International Scientific Conference – Poland, Agricultural University of Szczecin, Summary book, May 27-29, 2004, 52.

[13]. Georgiev, V., G. Kapashikov, L. Ivanov, I. Morteve, Y. Enakiev. Investigation of sunflower stems and heads combustion in chipped biomass combustion equipment. International Scientific Conference EE&AE 2013, University of Ruse Angel Kanchev, Ruse, 17-18 May 2013, 443-447.

[14]. Georgiev, V., V. Yankova. Plant agricultural waste potential suitable for energy purposes in Bulgaria. In: Proceedings of the union of scientists – Rousse, Second conference Energy efficiency and agricultural engineering, Association of agricultural engineering in Southeastern Europe, Rousse, Bulgaria, 3-5 June, 2004, 574-581.