

СРАВНИТЕЛЕН АНАЛИЗ НА ПРОЦЕСА ГРАНУЛИРАНЕ НА ОТПАДНА БИОМАСА ОТ РАСТЕНИЕВЪДСТВОТО

A COMPARATIVE ANALYSIS OF THE PROCESS OF PELLETING AGRICULTURAL WASTE BIOMASS

Гл. ас. д-р инж. Юрий Енакиев¹, проф. д-р инж. Михо Михов¹, проф. д-р инж. Виктор Балабанов²
Институт по почвознание, агротехнологии и защита на растенията "Н.Пушкаргов", София¹
РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Русия²

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, throughput, specific energy consumption of the process and Pellet Durability Index (PDI) have also been defined.

Keywords: PELLETING, PELLETS, SPECIFIC ENERGY CONSUMPTION, THROUGHPUT, PELLET DURABILITY INDEX (PDI), 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 [6,11]. 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 [4,7,8].

Основните количества на отпадната биомаса в България се получават от листо-стъблена маса от царевица, слънчогледови стъбла и лозови пръчки [5,9]. По данни на отдел „Агрозистатика“ към МЗХ, засетите площи от царевица 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 листо-стъблена маса на царевица, 1 700 000 t слънчогледови стъбла и около 125 000 t лозови пръчки [1].

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. [2,3,10].

2. Цел на изследването

Целта на настоящото изследване е да се направи сравнителен анализ на енергетичните и качествените показатели на процеса гранулиране на отпадна биомаса от листо-стъблена маса от царевица, слънчогледови стъбла и лозови пръчки.

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 „Н. Пушкаргов“. 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. Опитната уредба за гранулиране се състои от: рама, устройство за гранулиране, захранващо устройство и управляващо-измервателен блок (фиг. 1).



Фиг. 1. Опитна лабораторна уредба за гранулиране

Действието на уредбата за гранулиране е следното: материалът за гранулиране се поема от дъното на бункера чрез захранващия шнек, който го вкарва в гранулиращата камера. Там той се нагнетява от пресоващата ролка в каналите на матрицата, пресова се и излиза под формата на непрекъснати цилиндрични елементи, които се нарязват на определена дължина от отрязващия нож.

Така оформените цилиндрични гранули се отвеждат през улей в съда за събиране. Количеството на подавания материал може да се намалява или увеличава чрез промяна на честотата на въртене на захранващия шнек.

Производителността на лабораторната уредба зависи от физико-механичните свойства на материала за гранулиране и може да се подбира чрез подходящ избор на дължината на каналите на матрицата (посредством сменни матрици) и промяна на честотата на въртене на матрицата и ролката посредством сменни клиноремъчни шайби на ремъчната предавка.

Изследвани параметри (показатели)

За оценка на качествените и енергетичните показатели на процеса гранулиране на отпадната биомаса от растениевъдството са приети следните изходни (частни) параметри (показатели):

- $Y_1(P)$ – необходима мощност за процеса на гранулиране, kW;
- $Y_2(Q)$ – производителност на лабораторна 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, %.

Необходимата мощност за процеса на гранулиране P е мощността, изразходвана от опитната уредба за гранулиране. Определяна е чрез измерване на разхода на енергия за съответния опит, отнесен към времето за провеждане на опита.

Производителността на лабораторна уредба за гранулиране Q представлява количество гранули, произведени за единица време от опитната уредба. Определяна е чрез измерване на масата на произведените гранули, отнесена към времето за провеждане на опита.

Специфичният разход на енергия за процеса на гранулиране P/Q е енергията, изразходвана за гранулиране на единица отпадната биомаса от растениевъдството. Определяна е чрез измерване на разхода на енергия за съответния опит, отнесен към масата на произведените гранули по време на опита.

Здравината на гранулите Ω (PDI) – представлява съотношението на масата на запазените цели гранули след въртенето им определено време, с определена честота на въртене, в барабан със строго определена форма и размери, към общата маса на гранулите преди въртенето им, в проценти.

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 настоящето изследване е проведен многофакторен експеримент. За целта е използван план на експеримента от типа B_2 . При този план факторите варират на три нива, а опитите са проведени с трикратна повтораемост. 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.

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].

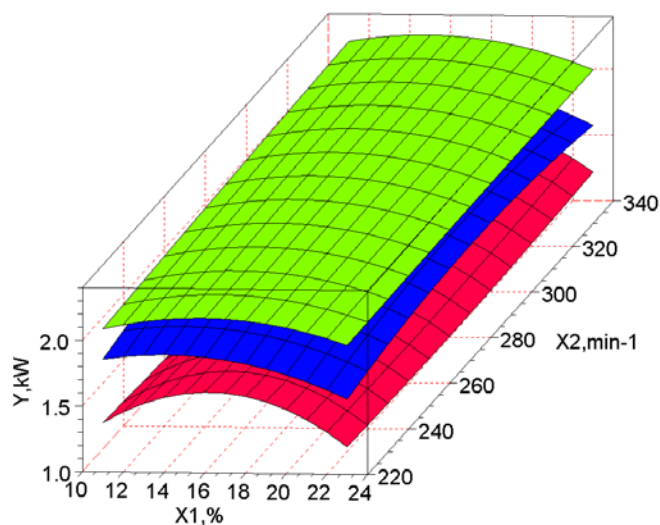
Използвана е матрица с диаметърът на каналите d_k – 6 mm и дължина на каналите L – 15 mm, при която са получени най-добри енергетични и качествени показатели при предварителните експерименти.

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

4. Резултати и анализ

Сравнителен анализ на консумираната мощност при гранулирането на отпадна биомаса от растениевъдството

Чрез повърхнините на отклика на фиг. 2 е показано съвместното влияние на влажността на листно-стъблената маса от царевича, слънчогледовите стъбла и лозовите пръчки и честотата на въртене на матрицата върху консумираната мощност на лабораторната уредба.



Фиг. 2. Влияние на влажността на листно-стъблената маса от царевича X_1 (W от 12 до 18%) – синята повърхнина; на слънчогледовите стъбла X_1 (W от 18 до 22%) – червената повърхнина; на лозовите пръчки X_1 (W от 16 до 20%) – зелената повърхнина и честотата на въртене на матрицата X_2 (n от 220 до 340 min^{-1}) върху консумираната мощност за процеса на гранулиране P (kW)

Както се вижда от фиг. 2, при гранулирането на лозовите пръчки консумираната мощност на лабораторната уредба е по-голяма от тази, при гранулирането на листно-стъблената маса от царевича и от слънчогледовите стъбла.

Въпреки различният характер на повърхнините, могат да се направят следните обобщения. С увеличаването на влажността и на трите материала, консумираната мощност на лабораторната уредба незначително се увеличава до средните нива, а после намалява. Тази тенденция не се спазва при максималната честота на въртене на матрицата – 340 min^{-1} при гранулиране на лозовите пръчки. В този случай, с увеличаването на влажността на лозовите пръчки консумираната мощност на лабораторната уредба намалява.

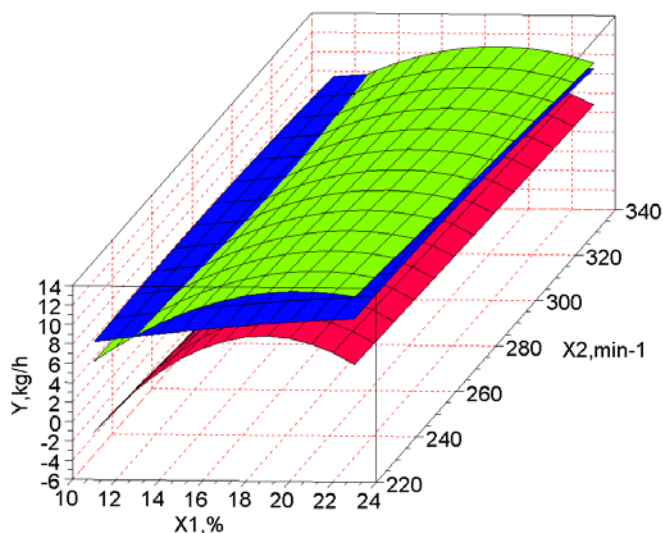
С увеличаването на честотата на въртене на матрицата при гранулиране на лозовите пръчки консумираната мощност на лабораторната уредба се увеличава. При гранулирането на листно-стъблената маса от царевича с увеличаването на честотата на въртене на матрицата, консумираната мощност на лабораторната уредба се увеличава до 280 min^{-1} , а после намалява. При гранулирането на слънчогледовите стъбла с увеличаването на честотата на въртене на матрицата

консумираната мощност на лабораторната уредба незначително намалява до 280 min^{-1} , а после се увеличава.

Дължи се основно на това, че с увеличаването на честотата на въртене на матрицата количеството материал, който постъпва в каналите ѝ за единица време се увеличава, а от там нараства и съпротивлението при преминаването му през тях.

Сравнителен анализ на производителността на лабораторната уредба при гранулирането на отпадна биомаса от растениевъдството

Чрез повърхнините на отклика на фиг. 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 производителността на лабораторната уредба.



Фиг. 3. Влияние на влажността на листно-стъблената маса от царевица X_1 (W от 12 до 18%) – синята повърхнина; на слънчогледовите стъбла X_1 (W от 18 до 22%) – червената повърхнина; на лозовите пръчки X_1 (W от 16 до 20%) – зелената повърхнина и честотата на въртене на матрицата X_2 (n от 220 до 340 min^{-1}) върху производителността на лабораторната уредба за гранулиране Q (t/h)

Както се вижда от фиг. 3 при гранулирането на лозовите пръчки, производителността на лабораторната уредба е незначително по-голяма от производителността на другите два материала.

С увеличаването на влажността и на трите материала, производителността на лабораторната уредба се увеличава. Тази тенденция не се спазва при гранулирането на слънчогледовите стъбла с влажност над 21%. При по-висока влажност на слънчогледовите стъбла, производителността на лабораторната уредба намалява. Както и при максималната честота на въртене на матрицата, при гранулирането на лозовите пръчки. В този случай, с увеличаването на влажността на лозовите пръчки до 18% с честотата на въртене на матрицата 340 min^{-1} , производителността на лабораторната уредба незначително се увеличава, а после намалява.

С увеличаването на честотата на въртене на матрицата при гранулирането на лозовите пръчки и слънчогледовите стъбла производителността на лабораторната уредба намалява. При гранулирането на листно-стъблената маса от царевица с увеличаването на честотата на въртене на матрицата, производителността на лабораторната уредба се увеличава до 280 min^{-1} , а после намалява.

Дължи се основно на това, че с увеличаването на влажността на материала, се намалява триенето в каналите на матрицата, което води до намаляване на разхода на мощност за процеса гранулиране и увеличаването на производителността на лабораторната уредба.

Сравнителен анализ на специфичния разход на енергия при гранулирането на отпадна биомаса от растениевъдството

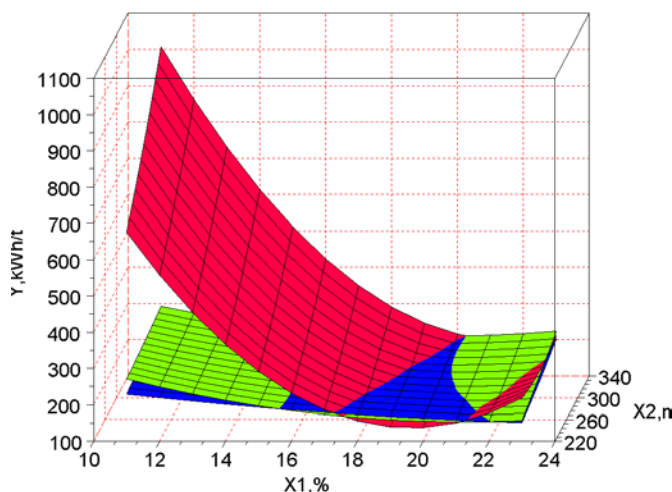
Чрез повърхнините на отклика на фиг. 4 е показано съвместното влияние на влажността на листно-стъблената маса от царевица, слънчогледовите стъбла и лозовите пръчки и честотата на въртене на матрицата върху специфичния разход на енергия.

Както се вижда от фиг. 4, при гранулирането на слънчогледовите стъбла, специфичния разход на енергия значително е по-голям от другите два материала от долното до средното ниво (18%), а после разходът на енергия се изравнява с другите материали.

С увеличаването на влажността на листно-стъблената маса от царевица и на лозовите пръчки, специфичния разход на енергия незначително намалява, а после по същия начин се увеличава. При гранулирането на слънчогледовите стъбла с увеличаването на влажността, специфичния разход на енергия значително намалява.

С увеличаването на честотата на въртене на матрицата при гранулиране и на трите материала, специфичния разход на енергия се увеличава. Тази тенденция се проявява по-изразително при гранулирането на слънчогледовите стъбла с минимална влажност, където повърхнините на отклика се характеризират с по-голям размах, което предполага по-голяма чувствителност на специфичния разход на енергия от честотата на въртене на матрицата.

Дължи се основно на това, че с увеличаването на честотата на въртене на матрицата, респективно се увеличава количеството на материал, който се нагнетява в каналите на матрицата. Гранулирането на допълнително постъпил материал от своя страна изисква допълнителна мощност, което води до увеличаването на специфичния разход на енергия.



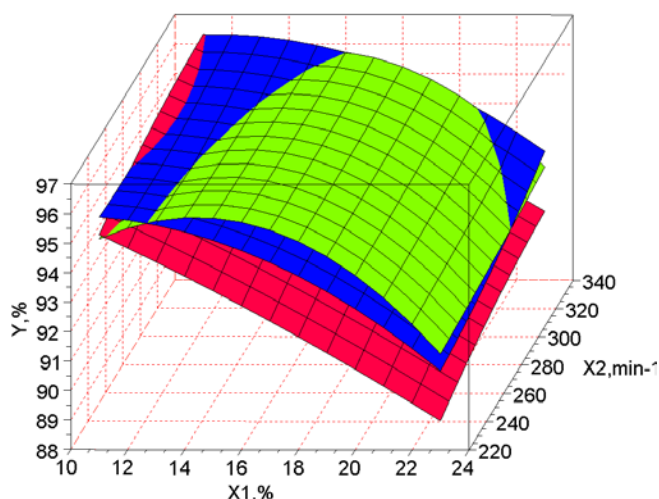
Фиг. 4. Влияние на влажността на листно-стъблената маса от царевица X_1 (W от 12 до 18%) – синята повърхнина; на слънчогледовите стъбла X_1 (W от 18 до 22%) – червената повърхнина; на лозовите пръчки X_1 (W от 16 до 20%) – зелената повърхнина и честотата на въртене на матрицата X_2 (n от 220 до 340 min^{-1}) върху специфичния разход на енергия P/Q (kWh/t)

Сравнителен анализ на здравината на получените гранули от отпадна биомаса от растениевъдството

Чрез повърхнините на отклика на фиг. 5 е показано съвместното влияние на влажността на листно-стъблената маса от царевица, слънчогледовите стъбла и лозовите пръчки и честотата на въртене на матрицата върху здравината на гранулите.

Както се вижда от фиг. 5, повърхнините на отклика имат общ характер, като здравината на гранулиите, получени от лозовите пръчки е незначително по-голяма от другите два материала. С увеличаването на влажността на листо-стъблената маса от царевича и на слънчогледовите стъбла здравината на гранулиите намалява, а при гранулирането на лозовите пръчки, с увеличаването на влажността, здравината на гранулиите незначително се увеличава, а после намалява.

С увеличаването на честотата на въртене на матрицата при гранулиране на лозовите пръчки, здравината на гранулиите не се променя; при листо-стъблената маса от царевича, здравината на гранулиите леко намалява, а после се увеличава; а при гранулиране на слънчогледовите стъбла здравината на гранулиите незначително се увеличава.



Фиг. 5. Влияние на влажността на листо-стъблената маса от царевича X_1 (W от 12 до 18 %) – синята повърхнина; на слънчогледовите стъбла X_1 (W от 18 до 22 %) – червената повърхнина; на лозовите пръчки X_1 (W от 16 до 20 %) – зелената повърхнина; и честотата на въртене на матрицата X_2 (n от 220 до 340 min^{-1}) върху здравината на гранулиите Ω (%)

Най-голяма здравина на гранулиите (96–97%) и на трите материала 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 гранулиите 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 на матрицата.

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 царевича 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. Най-висока производителност при гранулирането на листо-стъблена маса от царевича е 0,0102 t/h и най-нисък специфичен разход на енергия е 149 kWh/t са получени при влажност на материала за гранулиране 18% и честота на въртене на матрицата между 220 и 260 min^{-1} .

4. Най-висока производителност при гранулирането на слънчогледови стъбла е 0,0106 t/h и най-нисък специфичен разход на енергия 128,6 kWh/t са получени при влажност материала за гранулиране 20,3% и честота на въртене на матрицата 220 min^{-1} .

5. Най-висока производителност при гранулирането на лозови пръчки е 0,0153 t/h и най-нисък специфичен разход на енергия 129 kWh/t са получени при влажност материала за гранулиране 20% и честота на въртене на матрицата 220 min^{-1} .

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

7. 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 царевича за зърно, от слънчогледови стъбла и от лозови пръчки. Създаването на технологии за оползотворяването на растителните остатъци би спомогнало за тяхното използване вместо унищожаване 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]. Георгиев, В. Технически потенциал на растителните селскостопански остатъци подходящи за енергийно оползотворяване в България. Сп. Топлотехника за бита, № 6, 2005, 30-34.
- [5]. 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.
- [6]. 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.
- [7]. 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.
- [8]. Тасев Г., Михов М. Актуални проблеми на неорията и практиката на аграрната наука, сп.Механизация на земеделието, бр.2, 2014. с.16-22.
- [9]. 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.
- [10]. 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.
- [11]. 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.