



УДК 620.952

DOI: 10.31388/2220-8674-2020-1-21

ГРАНУЛЮВАННЯ ОРГАНІЧНИХ ВІДХОДІВ РОСЛИННОГО ПОХОДЖЕННЯ НА ПРИКЛАДІ ОЧЕРЕТУ

Комар А.С., інж.

ORCID: 0000-0001-7037-8402

Болтянська Н.І., к.т.н.

ORCID: 0000-0002-7887-4715

*Таврійський державний агротехнологічний університет
імені Дмитра Моторного*

e-mail: artem.komar@tsatu.edu.ua

Постановка проблеми. На сьогоднішній день приблизно 95% всієї світової енергії виробляється з непоновлюваних джерел, таких, як природний газ, нафта і вугілля. Кінець минулого століття в світі знаменувався початком застосування технології по видобуванню енергії з відходів органічного походження, до яких входять і паливні гранули (пелети) [1-4].

Останніми роками в Європі спостерігається стійкий попит на пелети. Величезну роль в цьому відіграє політика ЄС щодо клімату, зокрема, заходи щодо скорочення викидів парникових газів в атмосферу. Близько 85% світового ринку споживання ущільненого біопалива припадає на Європу [5-7].

Потужності виробництва пелет в Україні за типами сировини дуже різняться: деревина, солома, лушпиння, торф, очерет, макуха, люцерна, деревне вугілля, рис, відходи переробки борошна, кукурудза, лігнін, гідролізні смоли тощо. Основні виробництва за сировиною поділяють на п'ять типів: деревні пелети, пелети із соломи, пелети з лушпиння, пелети з торфу, інші (всі, що не увійшли до перших чотирьох типів). Загальне виробництво пелет в Україні у 2015 р. становило 1 319 465 т на 494 підприємствах (рис. 1). Виробництво пелет з деревини становило до 390 000 т, лушпиння – 723 650 т, соломи – 146 000 т, торфу – 8400 т, інші – 51 835 т [8-12].

Гранули з органічних відходів є екологічно чистим видом твердого біопалива, яке широко використовується в розвинених країнах. У низинах Дніпра, де річка ділиться на рукави, між якими поступово зникають ділянки суші, виростає один з найбільш швидко поновлюваних джерел енергії – очерет. Було б дивно, якби людина не скористалася цим природним матеріалом, зростаючим в надмірній кількості. За своєю теплотворною здатністю очерет нітрохи не поступається вугіллю. Як показує практика, вигідним способом утилізації очеретяної маси є виробництво з неї паливних гранул.

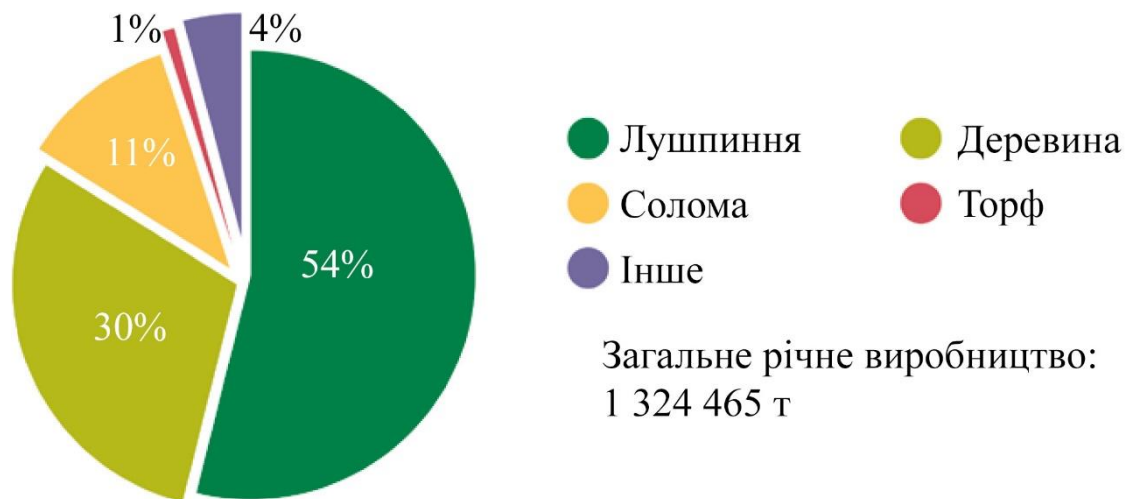


Рис. 1. Виробництво пелет в Україні за типами палива

Аналіз останніх досліджень. Проблема формування й ефективності використання сільськогосподарської сировини для виробництва біопалива присвячені наукові праці таких вітчизняних вчених: Гелетухи Г. Г., Сухіна Є. І., Зіновчук Н. В., Кириленка І. Г. та ін. [10] Значний внесок у вивчення питання ущільнення органічних відходів рослинного походження зробили вітчизняні та зарубіжні вчені, серед яких Горячкін В. П., Гутъяр Є. М., Пустигін М. О., Особов В. І., Долгов І. О., Храпач Є. І., Некрашевич В. Ф., Пережогін М. О., Колотев О. О., Шульга Г. Н., Канафойський Ч., Скальвейт Х., Дж.-Л.Батлер, Мак-Коллі Х.Ф. та інших [11,12]. У роботах цих науковців основна увага приділяється питанням пошуку найефективнішого способу використання біомаси, ущільненню органічних відходів та створенню комунікацій для транспортування сировини та готової продукції.

Проте питання ущільнення певних видів органічних відходів рослинного походження при сучасній тенденції до переходу на відновлювальні джерела енергії залишається недостатньо вивченим і є Актуальним на сучасному етапі розвитку в Україні [13-15].

Формулювання цілей статті. Гранулювати органічні відходи рослинного походження, а саме очерету в лабораторних умовах.

Основна частина. Не зважаючи на те, що відновлюваних джерел стає більше – потреба людства в енергії зростає. Вугілля й мазут необхідно замінювати випереджаючими темпами та виявляти ощадність до отриманої енергії, не опалюючи небеса зайвими джоулями й калоріями. Україна зарекомендувала себе як експортер екологічних джерел енергії: дров, тріски, пелетів і в той же час країна імпортує паливо (вугілля, газ). Актуально використання власного біопалива у вигляді паливних гранул (пелетів), сировини для якого не



бракує, адже вони виготовляються з відходів в основному сільськогосподарського і деревного виробництва. Найкраще для виробництва пелет підходять такі органічні відходи: деревна тріска, тирса, стружки, солома, соняшникове лушпиння, макуха, люцерна, відходи переробки борошна, кукурудзиння, лігнін, очерет тощо. Обладнання для грануляції займає не так багато місця.

У процесі згоряння гранул виділяється не надто багато золи та шкідливих газів, а в атмосферу викидається у 15 разів менше CO_2 , ніж при спалюванні природного газу. До того ж пелети відносно недорогі й малодимні, виділяють достатньо тепла [16]. За всіма показниками паливні гранули, виготовлені з очерету, абсолютно не поступаються торф'яним, а також пелетам з пресованої соломи. Більше того, при згорянні гранул з очерету відбувається менше виділенням сірки і вуглекислого газу, що позитивно позначається на довкіллі. Даний вид палива рослинного походження не має неприємного запаху, і може використовуватися як природний адсорбент.

Основні переваги виготовлення паливних гранул з тростино-очеретяної маси обумовлюється наступним [17]:

1. У біомасі очерету вміст вологи може досягати 50%, однак після висушування на повітрі, а також завдяки збиранні в зимовий час її значення знижується до 20-25%. Дана обставина дозволяє виробляти з очерету пелети з мінімальними витратами енергії на висушування сировини.

2. Тростино-очеретяна маса має високу теплотворну здатність.

3. Очерет має високий рівень вмісту лігніну – полімеру, що є природним сполучним елементом, що поліпшує фізичні параметри паливних гранул (щільність, міцність, стійкість до стирання тощо).

4. На відміну від нафтопродуктів і вугілля, очерет має низький вміст сірки та інших шкідливих домішок.

5. Мінімальні витрати на культивування очерету (навіть до їх відсутності), необхідні витрати тільки по його збору (заготівлі). Очерет повною мірою відноситься до поновлюваних джерел енергії. Це багаторічна рослина здатна дати перший урожай, придатний для збирання, вже через два-три роки після його посадки або самостійної появи. Надалі «урожай палива» можна збирати щорічно, при цьому зарості очерету мають стійку тенденцію до розростання.

Паливо в вигляді гранул з очерету може широко використовуватися для опалення приватних будинків, топки в камінах і котлах. Крім цього такі гранули цілком успішно використовуються в опалювальному обладнанні, яке забезпечує теплом цілі вулиці і квартали. За теплотворною здатністю пелети з очерету поступаються гранулам з деревини (табл. 1), однак і вартість такого палива істотно нижча.

Таблиця 1

Характеристики брикетів з різних видів біомаси [15]

Матеріал брикету	Зольність, %	Вологість, %	Нижча теплота згорання, МДж/кг	Щільність, т/м ³
Солома	7,30	7,80	15,73	1,08
	4,86	9,30	15,68	н.д.
	5,5	6-10	15,4-21,0*	0,7-0,9
	8,0	8-10	17,18* (пшенична)	
	6,1-8,4		17,60* (житня)	
	4,0		17,2-17,6*	
Качани, стебла кукурудзи*	3,0	7,52	15,92 14,13-14,46	0,75-0,92
Стебла соняшника*	4,3	6-12	18,01	0,85-0,89
Лушпиння соняшника	3,6	2,70	18,77	1,15
	2,92	8,51 6-8	н.д. 21,0-21,8*; 18,85*	н.д. 1,09-1,15
Лушпайка рису	20,2	7,1	13,24	1,16
	12,0	5-12	13,83*	1,01
Деревна тирса	0,80	4,0	н.д.	н.д.
	1,10	10,3	17,00	н.д.
	1,16	4,1	18,86	0,79
	0,5-1,0	7-8	16,8-21,0*	
	1,0		18,85* (м'які породи) 20,53* (тверді породи)	1,15 (сосна) 1,25 (дуб)
Виноградна лоза*	1,5	н.д.	14,04	н.д.
Очерет*	4,0	н.д.	16,76	1,12
Міскантус*	4,5; 3,1	7,5; 3,92**	17,5**; 17,6; 17,7	
	3,2	8	16-18*	0,85
Багаторічна рослина ковила (або тирса)	0,7	7,5	18,00	1,37
* У джерелі даних не уточнено нижча чи вища теплота згорання наведена; н.д. – немає даних. ** Склад брикету: міскантус – 70%, деревина – 30%.				

Для гранулювання органічних відходів рослинного походження, а саме очерету маємо подрібнювач і гранулятор (рис. 2). Тростино-очеретяна маса, що буде використано в подальшому експерименті, було висушена природним способом на відкритому повітрі до вологості 15-20%, що дозволяє заощадити час і кошти на сушці вихідної сировини.



а)



б)

Рис. 2. Лабораторне обладнання для експериментального гранулювання: а) подрібнювач зерна і коренеплодів ІЗК-Ф-1; б) Гранулятор [18-20]

Процеси підготовки сировини до гранулювання складається з подрібнення і сушіння. Сортування з видаленням домішок виконано не буде, хоча це дасть змогу отримати стабільні параметри подрібненої суміші (фракційний склад, насипна густина, вологість, температура та відсутність побічних включень) для гранулювання.



а)



б)

Рис. 3. Підготовлений до завантаження в гранулятор матеріал: а) здрібнений очерет до фракції ≤ 6 мм; б) вимірювання вологи здрібненого очерету за допомогою вологоміру зерна і сипучих речовин «Condevo MD7822»

Діапазон зміни вологості подрібненої суміші рекомендовано змінювати в межах 6-20 %, оскільки поза цим діапазоном процес гранулювання не відбувається зовсім, або проходить із надто низькою ефективністю. Рекомендований фракційний склад – 1-5 мм.

Температурний діапазон перебуває в межах 0-+50°C [13].

Отриманий матеріал було подрібнено звичайною молотковим подрібнювачем концентрованих кормів ІЗК-Ф-1 до фракції ≤ 6 мм (рис. 3. а) за допомогою змінних решіт діаметром 6 мм (рис. 2. а).

Процес гранулювання відбуватиметься у грануляторі із нерухомо закріпленою плоскою матрицею та активними прикочувальними роликками, що приводяться в рух валом. Вибір такої конструкції зумовлений високою механічною міцністю основних частин гранулятора із дотриманням рекомендацій [18-22]. Виходячи із номенклатури доступних стандартних елементів, сформульовано таблицю 2.

Таблиця 2

Основні технологічні характеристики дослідної установки гранулятора

№ за/п	Елемент дослідної установки	Параметри елементів	Од. вим.	Діапазон зміни
1	Матриця	діаметр отворів	мм	10
		крок отворів	мм	4-8
		кут зінкування	град	15
		відношення довжини каналу матриці до його діаметра	–	5
		діаметр матриці	мм	200
		ширина робочої частини	мм	48
2	Ролики	діаметр	мм	100
		кількість	шт	2
		ширина	мм	50
3	Привідний механізм	швидкість обертання двигуна	с-1	1500
		передавальне відношення	–	1:6, 6:1
4	Регулювання відстані між матрицею і роликком	безступеневий механізм із механічним переміщенням	мм	0-2

Після подрібнення перевіряємо вологість здрібненого очерету (рис. 3. б) матеріал завантажуюмо до завантажувальної горловини гранулятора з нерухомо закріпленою плоскою матрицею (рис. 2. б) потужністю обладнання 11 кВт та оборотами активних прикочувальних роликів 240 хв^{-1} [12].

В перші 10 хвилин роботи гранулятора спостерігаємо як очерет починає підсушуватися, а матеріал втрамбуватися в філь'єри діаметром 8 мм і формуватися перші гранули (рис. 5. а). Наступні 10 хвилин можемо спостерігати, що через прогрів матриці і зовнішній нагрів гранул в філь'єрах починає виділятися лігнін (рис. 5. б), про що свідчить потемніння гранул. Після 20 хвилини роботи плоскоматричного гранулятора, матриця та прикочувальні ролики вже

добре прогріті, спостерігаємо формування більш твердих гранул, завдяки виділенню в великій кількості сполучної натуральної речовини у вигляді лігніну (рис. 5. в).



Рис. 5. Отримані експериментальним шляхом гранули з очерету: а) 1-10 хв. роботи гранулятора б) 11-20 хв. роботи гранулятора в) 21-30 хв. роботи гранулятора

Після гранулювання отримані гранули необхідно охолодити, в нашому випадку, розклавши тонким шаром на піддоні на свіжому повітрі в притіненому місці, після чого вони підсушити винесенням піддонів під прямі сонячні промені.

Висновки. Таким чином, нами показано можливість отримання палива із органічних відходів рослинного походження, а саме очерету у вигляді гранул в лабораторних умовах. Утилізація тростино-очеретяної маси дозволить знизити антропогенне навантаження на довкілля, за рахунок переведення її із категорії відходів у категорію – палива. Високий вміст лігніну в очереті є важливим, оскільки він виступає одночасно і в'язучим та енергетичним компонентом. Органічна маса очерету є додатковим джерелом енергії та армуючим матеріалом гранульованого палива. Отримане за аналогією паливо характеризується теплотворною здатністю 18000 кДж/кг, зольністю близько 5-8 %, вологістю 6-10 % та насипною густиною 1,1–1,12 г/см³.

Список використаних джерел.

1. Algirdas J., Streikus D., Šarauskis E., Palšauskas M. Energy Evaluation and Greenhouse Gas Emissions of Reed Plant Pelletizing and Utilization as Solid Biofuel. DOI: 10.3390/en13061516 *Energies* 13(6):1516 March, 2020 URL: https://www.researchgate.net/publication/340159766_Energy_Evaluation_and_Greenhouse_Gas_Emissions_of_Reed_Plant_Pelletizing_and_Utilization_as_Solid_Biofuel (date of application: 20.04.2020)

2. Quaak P., Knoef H., Stassen H. Energy from Biomass : A Review of Combustion and Gasification Technologies World Bank Technical Paper № 422. Energy Series. – Washington : The World Bank. 2009. 99 p. URL: <http://documents.worldbank.org/curated/en/936651468740985551/Energy->



[from-biomass-a-review-of-combustion-and-gasification-technologies](#) (date of application: 28.04.2020)

3. *Boltyansky O.V.* Analysis of the main areas of resource conservation in animal husbandry. *Motrol: Motoryzacja i Energetyka Rolnictwa*. 2016. Vol. 18. No 13, b. 49-54.

4. *Zabolotko O.O.* Performance indicators of farm equipment. Proceedings of the IV International Scientific and Technical Conference "Kramar Readings" 2017. P. 155-158

5. *Boltyanska N.* Ways to Improve Structures Gear Pelleting Presses. *TEKA. An International Quarterly Journal on Motorization, Vehicle Operation, Energy Efficiency and Mechanical Engineering*. Lublin-Rzeszow, 2018. Vol. 18. No 2. P. 23-29

6. *Kalinichenko Dmytro, Rogovskii Ivan.* Modeling technology in centralized technical maintenance of combine harvesters. *TEKA*. Lublin-Rzeszów. 2017. Vol. 17. No 3. P. 103–114.

7. *Boltyansky B. Boltyansky O.* Analysis of major errors in the design of pumping stations and manure storage on pig farms. *TEKA Commission of Motorization and Energetics in Agriculture*. 2016. Vol.16. No.2. 49-54

8. *Skliar O., Skliar R.* Justification of conditions for research on a laboratory biogas plant. *Motrol: Motoryzacja I Energetyka Rolnictwa*. Vol. 16, No 2. P. 183-188.

9. *Boltyansky O.V.* The development of the pig industry and the competitiveness of its products. *MOTROL: Motoryzacja i Energetyka Rolnictwa*, 2012. Vol. 14. No3b. 164-175.

10. *Гелетуха Г. Г. та ін.* Комплексний аналіз українського ринку пелет з біомаси: посібник. Київ, 2016. 336 с.

11. *Степанова І.* Проблеми забезпечення агросировиною твердопаливного сектора біоенергетики в Україні. *Agricultural and resource economics: international scientific e-journal* Харків. 2017. Volume 3, No 4. С. 135-146.

12. *Мілько Д. О.* Доцільність використання паливних брикетів з відходів сільськогосподарського виробництва. *Матеріали VIII Всеукр. наук.-техн. конф. «Технічний прогрес у тваринництві та кормовиробництві»* ННЦ «ІМЕСГ». 2020. С. 68–71.

13. The global wood pellet trade – markets, barriers and opportunities Workshop summary June 17, 2008, Academiegebouw, Utrecht, the Netherlands. URL: https://www.researchgate.net/publication/27715111_The_global_wood_pellet_trade_markets_barriers_and_opportunities_workshop_summary (date of application: 25.04.2020)

14. *Комар А. С.* Огляд способів ущільнення порошкоподібних та дрібних сипких матеріалів. *Матеріали I Міжнар. наук.-практ. Інтернет-конференції «Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі»*. Мелітополь: ТДАТУ, 2020. С. 238-243.



15. Гелетуха Г. Г., Железна Т. А., Драгнев С. В. Аналіз можливостей виробництва та використання брикетів з агробіомаси в Україні. *Аналітична записка БАУ № 20. «Біоенергетична асоціація України»*. Київ, 2018. 48 с.

16. Загарний В. Гранульована біомаса – паливо № 1. *Агробізнес сьогодні* Київ: ТОВ"ІМПРЕКС-КОНТАКТ". 11.12.2019. С. 70-72.

17. Производство топливных брикетов из камыша. URL: <https://bio.ukr.bio/ru/articles/4355/> (дата обращения: 01.05.2020).

18. Гранулятор: пат. 129109 Україна: МПК В 01 J 2/20. №201803046; заявл. 26.03.18; опубл. 25.10.18, Бюл. № 20. 4 с.

19. Комар А. С. Обґрунтування основних параметрів, що впливають на продуктивність гранулятора. *Праці ТДАТУ*. Мелітополь: ТДАТУ, 2019. Вип. 19, т. 4. С. 118-129. DOI: 10.31388/2078-0877-19-4-118-129

20. Болтянська Н. І. Взаємодія пресуючого ролика і матеріалу в прес-грануляторі. *Праці ТДАТУ*. Мелітополь: ТДАТУ, 2019. Вип. 19, т. 4. С. 260-269. DOI: 10.31388/2078-0877-19-4-260-269

21. Комар А. С. Вимоги до матриці для преса-гранулятора. *Матеріали I Міжнар. наук.-практ. Інтернет-конференції «Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі»*. Мелітополь: ТДАТУ, 2020. С. 339-342.

22. Болтянська Н. І. Аналіз роботи ролика в прес-грануляторі. *Матеріали VIII-ї Всеукраїнської науково-технічної конференції «Технічний прогрес у тваринництві та кормовиробництві»*. Глеваха-Київ, 2020. С. 17-20.

ГРАНУЛЮВАННЯ ОРГАНІЧНИХ ВІДХОДІВ РОСЛИННОГО ПОХОДЖЕННЯ НА ПРИКЛАДІ ОЧЕРЕТУ

Комар А.С., Болтянська Н.І.

Анотація

В статті показано можливість отримання палива із органічних відходів рослинного походження, а саме очерету у вигляді гранул в лабораторних умовах. Утилізація тростино-очеретяної маси дозволить знизити антропогенне навантаження на довкілля, за рахунок переведення її із категорії відходів у категорію – палива. Високий вміст лігніну в очереті є важливим, оскільки він виступає одночасно і в'язучим та енергетичним компонентом. Органічна маса очерету є додатковим джерелом енергії та армуючим матеріалом гранульованого палива. Отримане за аналогією паливо характеризується теплотворною здатністю 18000 кДж/кг, зольністю близько 5-8 %, вологістю 6-10 % та насипною густиною 1,1–1,12 г/см³.

Ключові слова – гранулювання, відходи рослинного походження, очерет, пелети, біопаливо.



ГРАНУЛИРОВАНИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ ОТХОДОВ РАСТИТЕЛЬНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ КАМЫША

Комар А.С., Болтынская Н.И.

Аннотация

В статье показана возможность получения топлива из органических отходов растительного происхождения, а именно тростника в виде гранул в лабораторных условиях. Утилизация трость-тростниковой массы позволит снизить антропогенную нагрузку на окружающую среду, за счет перевода ее с категории отходов в категорию - топлива. Высокое содержание лигнина в камышах является важным, поскольку он выступает одновременно и вяжущим и энергетическим компонентом. Органическая масса тростника является дополнительным источником энергии и армирующим материалом гранулированного топлива. Полученное по аналогии топливо характеризуется теплотворной способностью 18000 кДж / кг, зольностью около 5-8%, влажностью 6-10% и насыпной плотностью 1,1-1,12 г / см³.

Ключевые слова – гранулирование, отходы растительного происхождения, камыш, пеллеты, биотопливо.

GRANULATION OF WASTE OF VEGETABLE ORIGIN ON EXAMPLE OF REED

A. Komar, N. Boltianska

Summary

Today, approximately 95% of all global energy is produced from non-renewable sources, such as natural gas, oil and coal. The end of the last century in the world was marked by the beginning of the application of technology for the extraction of energy from waste of organic origin, which includes fuel granules. Pellet production capacities in Ukraine vary greatly by type of raw material: wood, straw, husk, peat, bulrush, oilcake, alfalfa, charcoal, rice, flour processing waste, corn, lignin, hydrolysis resins and the like.

Determined that it is better for the production of pellets suitable such organic waste: wood chips, sawdust, shavings, straw, sunflower husks, bagasse, alfalfa, waste from the processing of flour, corn, lignin, cane etc. In the combustion process of pellets is too much ash and noxious gases, and emits 15 times less CO₂ than burning natural gas. Besides, pellets are relatively inexpensive and low smoke emit enough heat. Found that all indicators of fuel pellets made from reed, absolutely not inferior to the peat, and pellets of pressed straw. Moreover, during the combustion of pellets from cane is less release of sulfur and carbon dioxide, which has a positive impact on the environment. This type of fuel of plant origin odourless, and can be used as a natural adsorbent. the main advantages of making fuel pellets from cane-sugar mass. The article shows the possibility of obtaining fuels from organic wastes of plant origin, namely cane in the form of granules in the laboratory. Utilization of cane mass will reduce the anthropogenic load on the environment, due to the transfer of her waste categories in the category of fuel. The high content of lignin in the reeds is important because it acts as both astringent and an energy component. Organic mass cane is an additional source of energy, and reinforcing material of pellet fuel. Received by analogy the fuel is characterized by a calorific value of 18,000 kJ / kg, ash content of about 5-8%, humidity of 6-10% and a bulk density of 1.1-1.12 g / cm³.

Key words – granulation, waste of vegetable origin, reeds, pellets, biofuels.