



DOI: 10.31388/2220-8674-2023-1-11

УДК 608.3:631.362.28

А. С. Комар, інж.

ORCID: 0000-0001-7037-8402

Б. В. Болтянський, к.т.н.

ORCID: 0000-0003-2072-4025

Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного

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

КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНЕ ВДОСКОНАЛЕННЯ ВАЛЬЦЕВИХ ГРАНУЛЯТОРІВ З ПЛОСКОЮ МАТРИЦЕЮ

Анотація. В статті представлений аналіз конструктивних і технологічних рішень по вдосконаленню вальцевих грануляторів з плоскою матрицею. Здійснено огляд патентів, авторських свідоцтв та статей пов'язаних з грануляцією та брикетуванням сировини з різною насипною щільністю для пристроїв такого типу. Коротко описаний принцип роботи та переваги конструктивних новацій на різних етапах розвитку устаткування для грануляції. Кожен з наведених вальцевих грануляторів має видимі переваги та дещо приховані недоліки.

Основні напрямки вдосконалення грануляторів вальцевого типу мають на меті:

- підвищення надійності та ефективності пристроїв;
- підвищення продуктивності та якості гранул;
- зменшення металоємності конструкції;
- зниження зносу робочих органів;
- зниження енергозатрат на гранулювання;
- розширення технологічних можливостей та оптимізація режимів роботи при гранулюванні сировини з різними фізико-механічними властивостями.

Пресові пристрої відносяться до технічних засобів для приготування гранульованих продуктів і можуть бути використані при виготовленні паливних брикетів з тирси та рослинних відходів (пелети), комбікормів, із зернових культур та харчових відходів, гранул з відходів пивоваріння, побутового сміття та подрібнених автопокришок, а також при виробництві гранульованих стабілізуючих добавок в будівництві.

Ключові слова: вальцевий гранулятор, плоска матриця, вдосконалення, пристрій, грануляція, брикетування.

Постановка проблеми. В сучасних умовах високої зайнятості



населення все більшу популярність набуває продукція в гранульованому або брикетованому вигляді, оскільки це підвищує транспортабельність сипучої сировини, знижує злежуваність, запобігає сегрегації багатокомпонентних сумішей. Провідним устаткуванням під час виробництва таких продуктів є гранулятори [1-4]. За допомогою грануляторів отримують паливні, кормові або інші види гранул діаметром 3-12 мм і довжиною 5-50 мм. Пресове обладнання застосовується у побутових умовах, на фермерських господарствах та промислових виробництвах.

Гранульовані комбікорми мають оптимальну рецептуру, забезпечується якісніше введення рідких харчових добавок та медикаментів в раціон, збільшується ступінь перетравлюваності кормів [5]. За допомогою пресових пристроїв виробляють паливні гранули, які отримують шляхом переробки торфу, деревних відходів та відходів сільського господарства [6]. Також гранулюють різноманітні матеріали, такі, наприклад, як пластик, вугільний пил, торф тощо [7]. Однак слід зазначити, що для кожної сировини необхідно розробляти свою технологію виробництва, яка відрізнятиметься в залежності від основних параметрів: складу, вологості, жирності, температури, способу зберігання тощо.

Сьогодні в Україні представлено велику кількість грануляторів для структурування різних продуктів. При всій їх різноманітності стає важко обрати оптимальний тип гранулювання, який безпосередньо відповідає типу сировини, особливо коли багато грануляторів є універсальними і можуть працювати в широкому діапазоні зміни властивостей вихідної сировини [8]. При цьому стає основним визначення витрат енергії на проведення процесу отримання гранул, що у свою чергу прямопропорційно впливає на собівартість, а отже і конкурентоспроможність готового продукту.

Широке застосування сьогодні здобули вальцеві гранулятори з плоскою матрицею [3, 6, 7]. Про конструктивно-технологічне вдосконалення цього обладнання і йтиметься далі в статті.

Аналіз останніх досліджень. Питанням вдосконалення вальцевих грануляторів з плоскою матрицею присвячені праці вітчизняних і закордонних вчених [9-13]. Модернізацією пресуючих вальців пристроїв в різні часи займалися: Овдієнко М. Л., Поліщук В. Ю., Michał Chłopek, Tomasz Dzik, Marek Hryniewicz, Горягин П. Ю., Севостьянов В. С., Якимець Н. А. Зміну будови та форм фільтр плоскої матриці досліджували: Сербіновський М. Ю., Волощук В. Г., Логінов В. Т., Roman Hejft, Глаголев С. М., Севостьянов М. В., Гридчин А. М. Ряд науковців займалися встановленням додаткових елементів, пристроїв або вдосконаленням будови існуючих, наприклад, ножа для зрізання гранул [14]: Карпов В. П., Нагайник Ф.

В. Мурахвер В. І., Тимошенко А. Н.; регульованих втулок для покращення звільнення фільтр матриці від сировини [15]: Піуновський І. І., Хмелінко А. П., Лисоконь В. П.; нагрівальних елементів матриці: Макаренков Д. А., Назаров В. І., Булатов І. А.; попереднього ущільнювача сировини [16]: Севостьянов М. В., Ільїна Т. В., Осокін А. В.

Загалом аналіз конструктивно-технологічних вдосконалень вальцевих грануляторів з моменту їх розроблення, на протязі всього періоду, підкреслює попит на них в різних галузях промисловості, в тому числі у сільському господарстві, де вони в переважній більшості застосовуються для гранулювання комбикормів [3, 5, 9].

Формулювання мети статті. Виконати аналіз наукових джерел літератури та визначити основні напрями вдосконалення вальцевих грануляторів з плоскою матрицею.

Основна частина. За період свого існування вальцеві гранулятори з плоскою матрицею зазнали ряд конструктивно-технологічних змін і на сьогодні досягли певного рівня досконалості. Проте, незважаючи на значне вдосконалення конструкції, у пристроїв залишились наступні недоліки: інтенсивне зношення поверхонь робочих органів, порівняно невисокий коефіцієнт корисної дії, високі робочі температури (через сильне тертя активних робочих органів), висока питома метало- та енергоємність.

Виділяють кілька основних напрямів вдосконалення вальцевих грануляторів з плоскою матрицею (рис. 1) [12, 13].

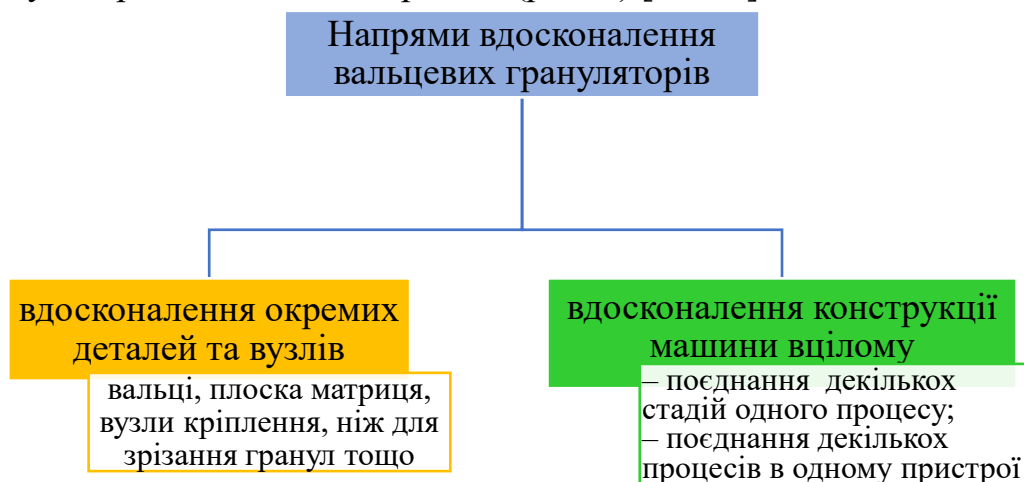
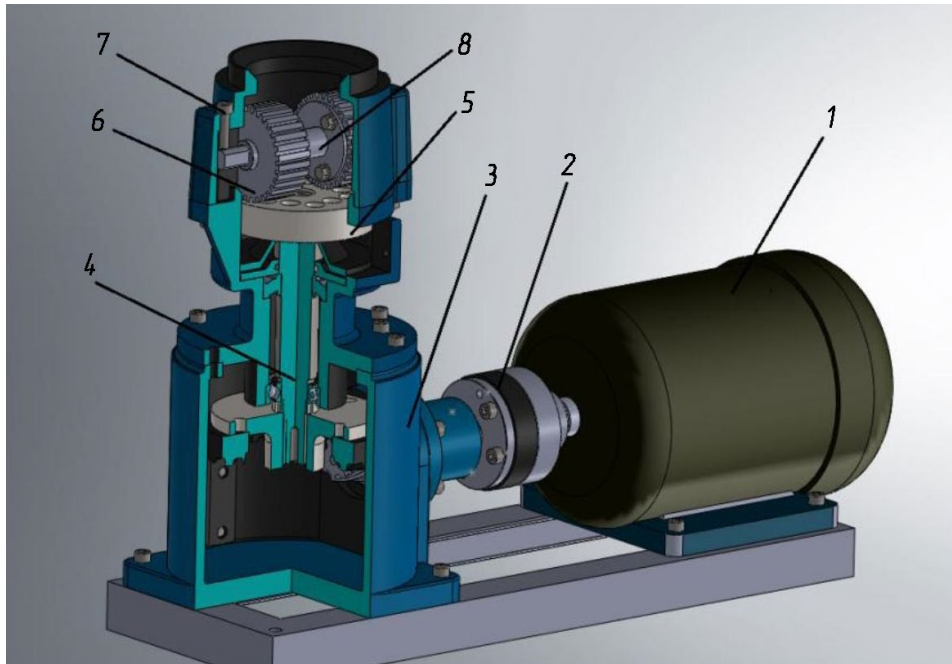


Рисунок 1. Напрями вдосконалення вальцевих грануляторів з плоскою матрицею

Компактну конструкцію вальцевого гранулятора з плоскою матрицею зображено на рисунку 2. Дані пристрої користуються попитом в різних галузях промисловості, в тому числі і на невеликих сільськогосподарських підприємствах з виробництва продукції рослинництва та тваринництва [6].



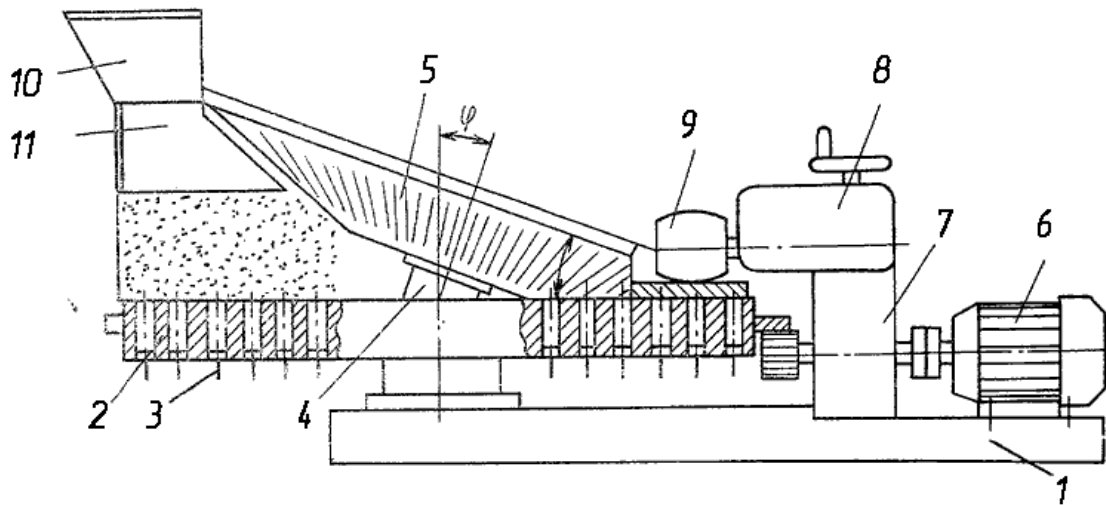
1 – електродвигун, 2 – муфта, 3 – редуктор; 4 – вал; 5 – плоска матриця, 6 – вальці, 7 – регулювальні гвинти, 8 – вал вальців

Рисунок 2. 3D-модель вальцевого гранулятора с плоскою матрицею

Вальцевий гранулятор працює наступним чином. Від електродвигуна 1 обертова сила через муфту 2 передається до понижуючого редуктора 3. Від редуктора через вал 4 обертання передається на плоску матрицю 5, яка закріплена з валом за допомогою шпонкового з'єднання. Матриця має багато формувальних фільтер, тобто циліндричних каналів з зенкуванням. При обертовому русі матриці розпочинають рухатися вальці 6, які притискаються до матриці за допомогою регулювальних гвинтів 7. Вальці в свою чергу, обертаються на валу вальців 8. При обертанні матриці та вальців сировина продавлюється через фільтери плоскої матриці і формуються джгути, які відрізаються спеціальним ножом та отримуються гранули необхідної довжини. Далі готові гранули через вивантажувальний патрубок надходять ємність, після чого їх охолоджують та пакують.

Відома конструкція гранулятора № 858649 (рис. 3) авторів В. П. Карпова і Ф. В. Нагайника в якій науковці підвищили продуктивність однієї з перших моделей [14].

Поставлена мета досяглася тим, що гранулятор забезпечений скребком, який розташований над матрицею і механізмом виштовхування гранул, виконаним у вигляді поршнів, кожен з яких має шток з пружиною та встановлений в пресуючому каналі матриці і горизонтального циліндра, розташованого під матрицею, який взаємодіє зі штоками, причому циліндр розміщений між місцем



1 – рама, 2 – плоска матриця, 3 – поршні, 4 – колінчаста вісь, 5 – конічний валець, 6 – електродвигун, 7 – редуктор, 8 – механізм регулювання зазору між матрицею і вальцем, 9 – притискний валець, 10 – завантажувальна горловина, 11 – розподільник

Рисунок 3. Гранулятор

контактування вальця з матрицею та скребком.

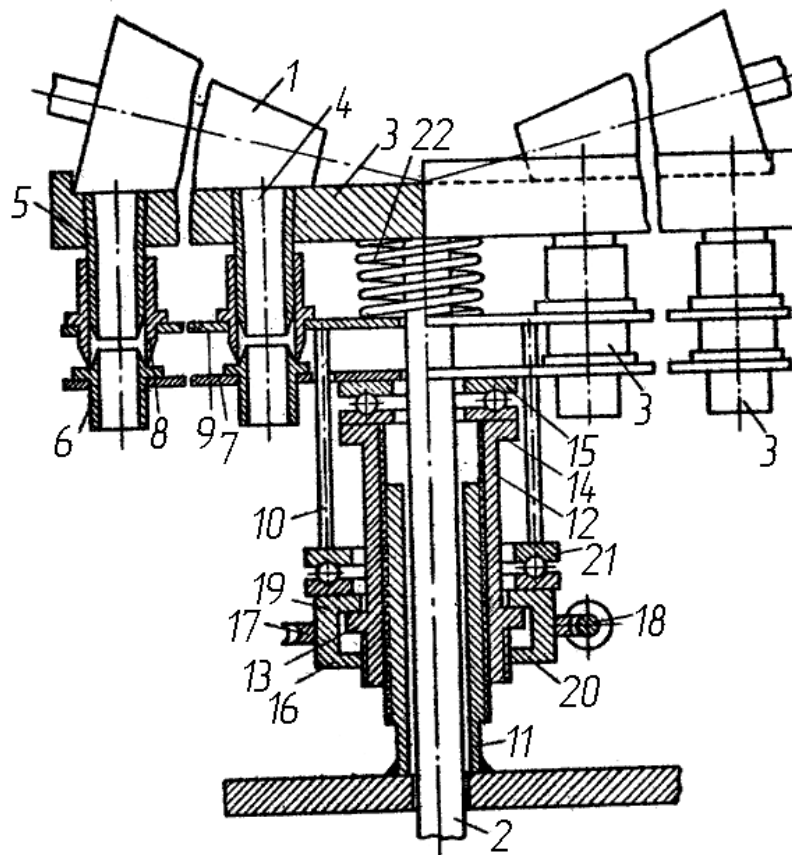
Крім того, гранулятор оснащено ножем, який встановлено над матрицею між місцем контактування її з вальцем і циліндром. Така конструкція забезпечує захоплення та пресування товстого шару корму за один оберт матриці.

Наступний етап вдосконалення конструкції вальцевих грануляторів відображений у авторському свідоцтві № 1007603 [15].

Дана конструкція гранулятора (рис. 4) складається з пресуючих конічних вальців з активним приводом, встановленої на валу матрицею з каналами, що утворюються втулками, одні з яких закріплені в матриці, а інші на диску, що переміщується виконавчим механізмом.

Основною метою такої конструкції є підвищення ефективності регулювання протидії при гранулюванні кормів з різними реологічними властивостями. Це досягається тим, що втулки каналів матриці оснащені встановленою на їх зовнішній поверхні з можливістю переміщення в вертикальній площині проміжною втулкою (8), закріпленою на додатковому диску (9), зв'язаними за допомогою штовхачів з виконавчим механізмом (10), враховуючи те, що втулки каналів матриці мають рівний прохідний переріз.

Виконавчий механізм виконаний у вигляді нерухокої ступиці (11) вільно встановленої на валу, з закріпленою на ній різьбовим з'єднанням втулкою з упором, що взаємодіє верхнім торцем (14) з диском.



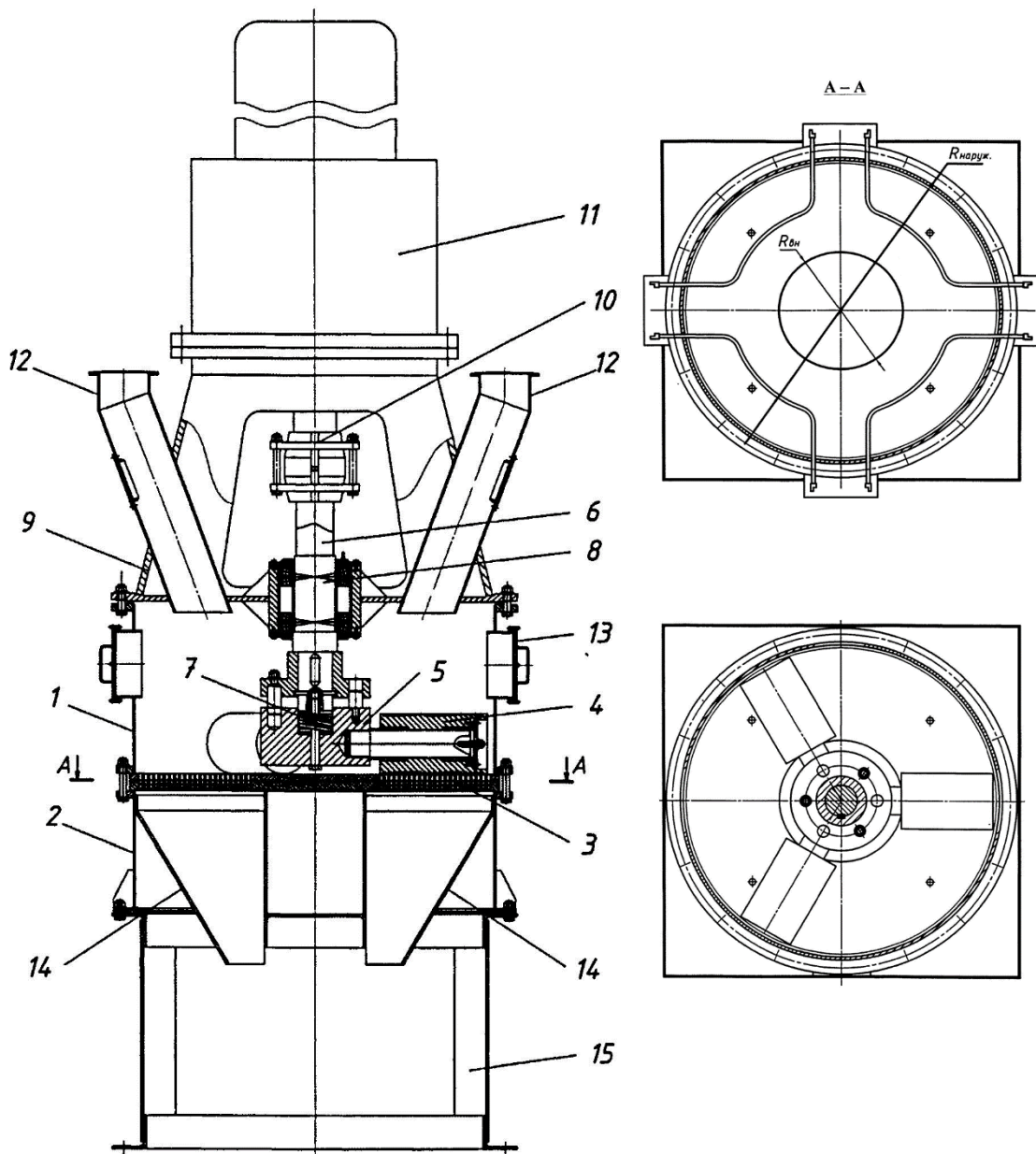
1 – конічні вальці, 2 – вал, 3 – матриця, 4 – канали матриці, 5 – верхні втулки, 6 – нижні втулки, 7 – диск, 8 – проміжні втулки, 9 – додатковий диск, 10 – штовхачі з виконавчим механізмом, 11 – нерухома ступиця, 12 – втулка, 13 – упор, 14 – верхній торець, 15 – підшипник, 16 – втулка гайки, 17 – зубчасте колесо, 18 – черв'як, 19 – верхній упор, 20 – нижній упор, 21 – підшипник

Рисунок 4. Гранулятор кормів

Крім того, втулка оснащена механізмом її переміщення по висоті, виконаним у вигляді встановленої на втулці гайки (16), що взаємодіє за допомогою закріпленою на її зовнішній поверхні гвинтової пари з упором втулки і з штовхачами (10).

Макаренков Д. А., Назаров В. І. та ін. запатентували розробку № 2527998 пресового гранулятора з плоскою матрицею [17]. Винахід спрямовано на збільшення міцності та щільності гранульованого матеріалу за рахунок скорочення трудомісткості і вартості підготовки.

Пресовий гранулятор (рис. 5) містить корпус з встановленими в ньому перфорованою матрицею з профільованими каналами, прикочувальні вальці, що закріплені на вертикальному приводному валу за допомогою втулки з пружним елементом, і патрубку для завантаження вихідної сировини і вивантаження гранул. Матриця пристрою виконана роз'ємною та складається з двох скріплених між



1 – корпус, 2 – опорної обичайка, 3 – плоска матриця, 4 – три вальці, 5 – втулка, 6 – привідний вал, 7 – пружний елемент, 8 – вузол підшипника, 9 – опори, 10 – муфта, 11 – привід, 12 – патрубکی завантаження сировини, 13 – оглядові люки, 14 – патрубکی вивантаження гранул, 15 – опорна спідниця

Рисунок 5. Пресовий гранулятор з плоскою матрицю

собою перфорованих дисків з пазами в нижньому диску та забезпечена гнучкими нагрівальними елементами, встановленими в пазах у кільцевій зоні матриці по дузі з радіусом $(R_{зов.} + R_{внут.})/2$, де $R_{зов.}$, $R_{внут.}$ – зовнішній та внутрішній радіуси кільцевої перфорованої зони матриці, при цьому у верхньому диску матриці профільовані канали виконані циліндричними, а в нижньому диску канал виконаний у вигляді двох конічних та однієї циліндричної



калібруючої ділянки.

Пресовий гранулятор з плоскою матрицю має три прикочувальні вальці. Співвідношення між діаметрами вальців і матриці становить $0,2 \div 0,5$.

При поєднанні кількох процесів в одному пристрої, екструзійне гранулювання може бути основною або підготовчою операцією. Процес гранулювання також може бути кінцевим, який випереджає підготовча операція, наприклад, як це здійснено у винаході № 135539 [16]. Гранулятор волокнистих матеріалів (рис. 6), забезпечений попередньо-ущільнювальним пристроєм, основними робочими органами якого є внутрішній рухомий і зовнішній нерухомий конуси з гладкими або ребристими поверхнями, причому перший з них встановлений в підшипниках ексцентрично вертикального валу, а другий закріплений нерухомо в пустотілому корпусі та утворює із корпусом гранулятора резервуар для зберігання та подачі рідини або пари через отвори, розташовані по колу нерухомого конуса, при цьому у верхній його частині встановлена вібруюча лійка, і похилими бортами для направлення матеріалу під пресувальні вальці та зменшення застійної зони.

Рухомий конус встановлюється з ексцентриситетом, що забезпечує необхідний робочий зазор і ступінь ущільнення матеріалу, який визначається виходячи з властивостей матеріалів, що гранулюються.

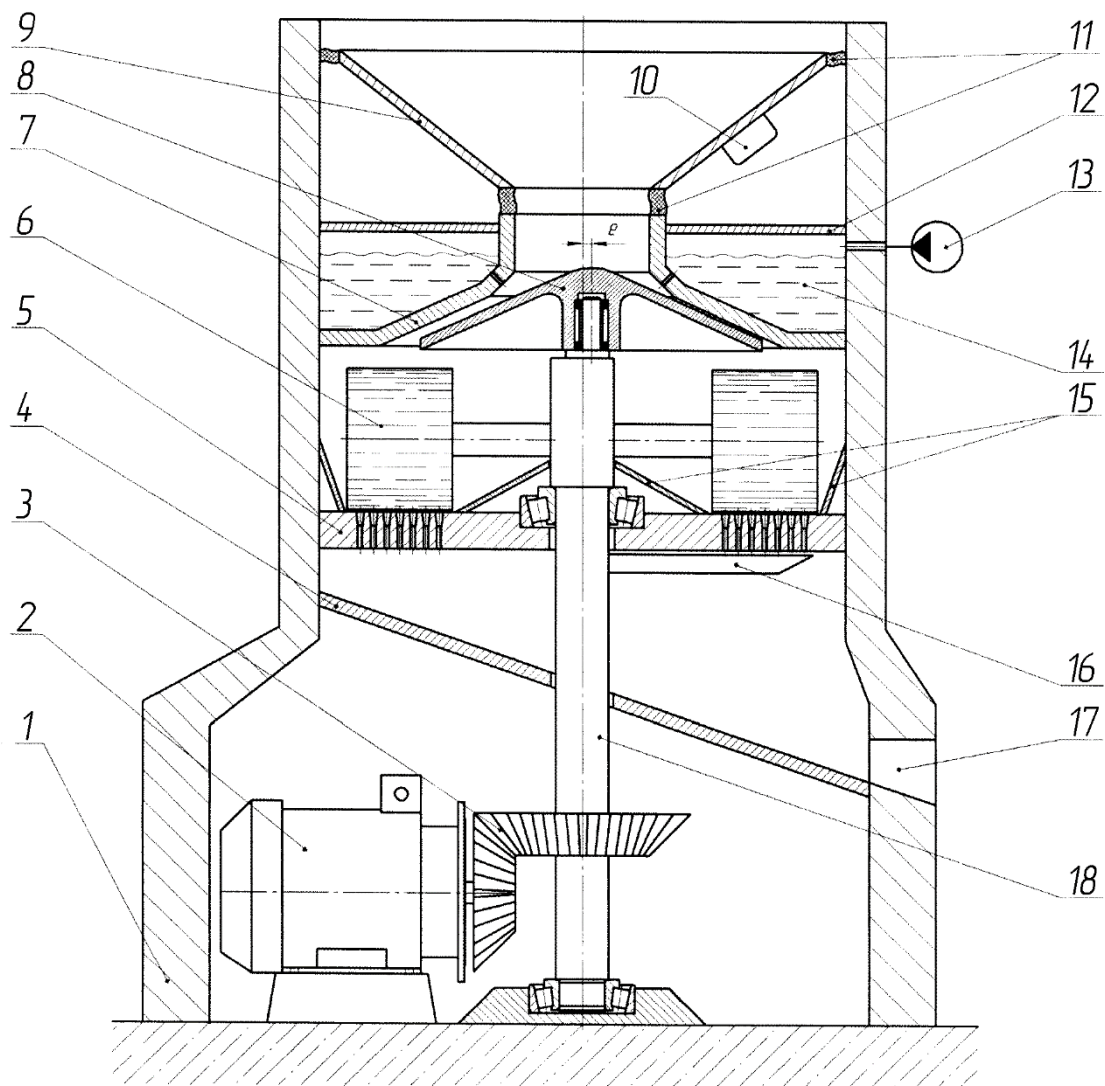
Установка рухомого конуса на підшипниках дозволяє йому ущільнювати матеріал обкаткою без ефекту перетирання.

Залежно від характеристик матеріалу, що переробляється, кут рухомого і нерухомого конусів може бути різним, але зі збереженням зони паралельності.

Внутрішня поверхня нерухомого конуса утворює з корпусом гранулятора резервуар, у якому може бути технологічна рідина (наприклад, вода) для зволоження матеріалу. Подача рідини може здійснюватися крапельним способом, або під тиском, що утворюється насосом.

На внутрішній поверхні нерухомого конуса можуть укладатися термонагрівальні елементи, якщо за технологією матеріал необхідно зволожувати паром або ж підсушувати перезволожений матеріал.

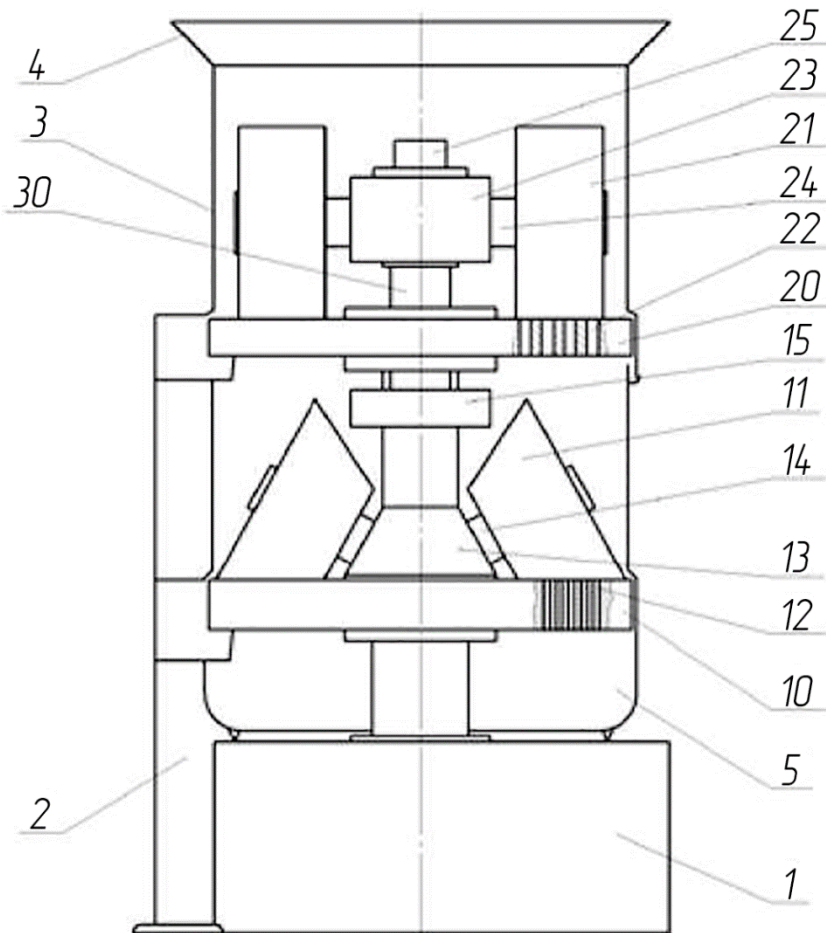
За рахунок ущільнення матеріалу в спеціальному передущільнюючому пристрої, енергія вальців витрачається безпосередньо на продавлювання матеріалу через фільтри, завдяки цьому збільшується швидкість гранулювання і, як наслідок, продуктивність машини. Таким чином авторський склад своїм винаходом намагався підвищити продуктивність машини і ефективність процесу гранулювання.



1 – корпус, 2 – електродвигун, 3 – механічна передача, 4 – похилий стіл, 5 – нерухома дискова матриця з формуючими отворами (фільєрами), 6 – циліндричні вальці, 7 – зовнішній нерухомий конус, 8 – внутрішній рухомий конус, 9 – завантажувальна лійка, 10 – високочастотний генератор, 11 – пружні елементи, 12 – герметизуюча кришка, 13 – підживлювальний насос, 14 – резервуар, 15 – похилі борти, 16 – ніж, 17 – вивантажувальний отвір, 18 – вал

Рисунок 6. Гранулятор волокнистих матеріалів

Німецький вчений Бенсон В. пішов далі і розробив конструкцію двоступінчастого гранулятора (рис. 7) [18]. У даній конструкції верхні циліндричні вальці додатково виконують функцію доподрібнення сировини, що подається до завантажувальної горловини. Товщина нижньої плоскої матриці виконана більш товщою від верхньої. Кількість циліндричних вальців у пристрої – 2; конічних – 2-4.



1 – редуктор, 2 – опорні колони, 3 – захисний кожух, 4 – завантажувальна горловина, 5 – камера для прийому готових гранул, 10 – прес-матриця другого ступеня, 11 – конічні вальці другої стадії, 12 – фільтри прес-матриці другого ступеня, 13 – головка циліндричних прес-вальців, 14 – вісь конічного прес-вальця, 15 – притискний пристрій конічних прес-вальців, 20 – прес-матриця першого ступеня, 21 – циліндричні прес-вальці першої стадії, 22 – фільтри прес-матриці першого ступеня, 23 – головка конічних прес-вальців, 24 – вісь циліндричного прес-вальця, 25 – притискний пристрій циліндричних прес-вальців, 30 – приводний вал. (описано не всі позиції рисунка)

Рисунок 7. Двоступінчастий гранулятор

Таке конструкторське рішення, на думку розробників, дозволить скоротити витрати на виробництво, заощадити робочий простір та трудовитрати, а на виході отримати більш якісніші гранули.

Даний двоступінчастий гранулятор має складну конструкцію і низьку ремонтпридатність, а двигун на приводі повинен мати підвищену потужність. Крім того на другій ступені пристрою використовуються конічні вальці, які складніші у виготовленні.

Також до недоліків даного пристрою слід віднести відсутність



можливості гранулювання матеріалів з малою насипною щільністю (наприклад, подрібнених екскрементів тварин, відходів сільськогосподарського виробництва), а також складність конструкції.

Висновки. Таким чином, дослідження показують, що загальним недоліком всіх розглянутих рішень є те, що вальцеві гранулятори розраховані, в першу чергу, на сипучі матеріали із середньою та високою насипною щільністю (понад 250 кг/м³). Процес гранулювання сировини волокнистої структури з малою насипною щільністю (20-250 кг/м³), зокрема, подрібненні підсушені екскременти і підстилка тварин та птиці, на машинах даного типу є малодослідженим та вимагають всебічного вивчення, а вальцеві гранулятори, для здійснення цього процесу, потребують подальшого конструктивно-технологічного вдосконалення. При цьому необхідно враховувати специфічні особливості волокнистих матеріалів, такі як: насипна щільність і мала сипкість, коефіцієнт внутрішнього тертя і високе вологопоглинання, нерівномірний розподіл сировини по робочій камері пристрою, підвищена схильність до злежування тощо.

Список використаних джерел

1. Novelli, L.R. (2006). Equipment focus: Granulators. 63. Pp. 109–113.
2. Sevostyanov M., Osokin, A. (2022). Methodological Principles and Algorithm for Forming Technogenic Fibrous *Materials with Low Bulk Density in a Flat-Matrix Extruder*. 10.1007/978-3-030-81289-8_5.
3. Болтянська Н. І. Огляд способів ущільнення порошкоподібних та дрібних сипких матеріалів. Матеріали І Міжнар. наук.-практ. Інтернет-конференції «Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі». Мелітополь: ТДАТУ, 2020. С. 238–243.
4. Boltianska N. I., Manita I. Y. Justification of the energy saving mechanism in the agricultural sector. *Engineering of nature management*. (1(19), 2021. Pp. 7–12.
5. Комар А. С. Доцільність гранулювання і брикетування кормів для тварин і птиці. Матеріали VII-ї Науково-технічної конференції «Технічний прогрес у тваринництві та кормовиробництві». Глеваха, 2019. С. 47–49.
6. Комар А. С., Болтянська Н. І. Гранулювання органічних відходів рослинного походження на прикладі очерету. *Науковий вісник ТДАТУ*. Мелітополь: ТДАТУ, 2020. Вип. 10, том 1. №21. DOI: 10.31388/2220-8674-2020-1-21. URL: <https://oj.tsatu.edu.ua/index.php/visnik/issue/view/10>
7. Litster Jim, Ennis Bryan. (2004). Mixer Granulators. 10.1007/978-



94-017-0546-2_10.

8. Комар А. С. Сучасні запатентовані способи переробки посліду птахів. *Науковий вісник ТДАТУ*. Мелітополь: ТДАТУ, 2021. Вип. 11, том 2. №15. DOI: 10.31388/2220-8674-2021-2-15. URL: <https://oj.tsatu.edu.ua/index.php/visnik/issue/view/20>

9. Chłopek, M. & Dzik, Tomasz & Hryniewicz, Marek. (2014). Determining the grip angle in a granulator with a flat matrix. *Eksploatacja i Niezawodnosc*. 16. Pp. 337–340.

10. Hejft Roman Selected problems in construction of granulators for plant materials. Part 2. – granulating and briquetting matrix. *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering*. 2019. Vol. 64, nr 1. Pp. 30–35.

11. Komar A. S. Advantages of pelleting organic waste of plant and animal origin. *Аграрна галузь сучасної України: проблеми та перспективи розвитку*: матер. І Міжн. наук.-практ. конф. Луганськ, 2021. С. 363–365.

12. Shkarpetkin, E & Osokin, A. (2019). Features of fibrous materials agglomeration in flat-matrix granulators. IOP Conference Series: *Materials Science and Engineering*. 698. 066047. 10.1088/1757-899X/698/6/066047.

13. Болтянська Н. І. Взаємодія пресуючого ролика і матеріалу в прес-грануляторі [DOI: 10.31388/2078-0877-19-4-260-269]. Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. Мелітополь: ТДАТУ, 2019. Вип. 19, т. 4. С. 260–269.

14. 1. Гранулятор: авт. свид. 858649 СССР: МПК А01F15/02. № 2915418/30-15; заявл. 16.03.80; опубл. 30.08.83, Бюл. № 32. 3 с.

15. 2. Гранулятор кормов: авт. свид. 1007603 А СССР: МПК А01F15/00. № 3319914/30-15; заявл. 10.07.81; опубл. 30.03.83, Бюл. № 12. 4 с.

16. 4. Гранулятор волокнистых материалов: пат. № 135539 РФ: МПК В01J2/20. № 2013130468/05; заявл. 02.07.2013; опубл. 20.12.13, Бюл. № 35. 7 с.

17. 3. Прессовой гранулятор с плоской матрицей: пат. № 2527998 РФ: МПК В01J2/20. № 2013106371/05; заявл. 14.02.2013; опубл. 10.09.14, Бюл. № 25. 12 с.

18. 5. Севостьянов М. В., Осокин А. В., Гиенко Е. А., Лагутин И. И. Основные направления конструктивно-технологического совершенствования пресс-валковых агрегатов с плоской матрицей для экструдирования волокнистых материалов. *Молодой ученый*. Ч.3. 2015. № 12 (92). С. 288–294.

Стаття надійшла до редакції 18.04.2023 р.



A. Komar, B. Boltianskyi
Dmytro Motornyi Tavria state agrotechnological university

STRUCTURAL AND TECHNOLOGICAL IMPROVEMENT OF GRANULATORS WITH CYLINDRICAL ROLLERS AND FLAT MATRIX

Summary

Analysis of constructive and technological solutions for the improvement of granulators with cylindrical rollers and flat matrix are presents in the article. A review of patents, copyrights and articles related to the granulation and briquetting of raw materials with different bulk densities for devices of this type was carried out. The principle of operation and advantages of constructive innovations at various stages of development of granulation equipment are briefly described. Each of the mentioned granulators with cylindrical rollers has visible advantages and somewhat hidden defects.

With the help of granulators, fuel, fodder or other types of pellets with a diameter of 3-12 mm and a length of 5-50 mm are obtained. The press equipment is used in household conditions, on farms and industrial productions. Granulators with cylindrical rollers and flat matrix are widely used today.

The main areas of improvement of roller-type granulators are aimed at:

- increasing the reliability and efficiency of devices;
- increasing productivity and quality of pellets;
- reduction of the metal capacity of the structure;
- reduction of wear and tear of working bodies;
- reduction of energy consumption for granulation;
- expansion of technological capabilities and optimization of work modes during granulation of raw materials with higher physical and mechanical properties.

Press devices are also technical means for the preparation of granulated products and can be used in the production of fuel briquettes from sawdust and vegetable waste (pellets), compound feed, from grain crops and food waste, pellets from brewing waste, household briquettes and shredded car tires, as well as in the production of granulated stabilizing additives in construction.

Key words: roller granulator, flat matrix, improvement, device, granulation, briquetting