



УДК 631.363.28:631.333.92

DOI: 10.31388/2220-8674-2018-2-8

## АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙ ШЕСТЕРЕННИХ ПРЕСІВ-ГРАНУЛЯТОРІВ

Болтянська Н. І., к.т.н.

*Таврійський державний агротехнологічний університет*

E-mail: nataliia.boltianska@tsatu.edu.ua

Тел.: +38(067)-681-32-41

**Анотація** – питання переробки пташиного посліду – одне з найактуальніших в світі з точки зору екології. У світі існує кілька напрямків переробки посліду. Кожен з цих напрямків має в більшій чи меншій мірі свої переваги. Всі вони поки не виправдані ні з економічної, ні з екологічної точки зору. Вихід з цієї проблеми можна знайти в гранулюванні посліду. З ряду причин (ціна, енергоємність, специфіка роботи з біомасою, тощо) виникає необхідність розробки прес-гранулятора власної конструкції. З метою розробки конструкції прес-гранулятора для переробки біомаси на пресоване біодобриво та паливні гранули, надана схема поділу шестеренних пресів-грануляторів за основними ознаками. Проаналізовано основні праці науковців, присвячені дослідженням роботи шестеренних пресів-грануляторів. Визначено шляхи підвищення продуктивності і надійності прес-грануляторів з кільцевої матрицею, зниження енергоємності процесу гранулювання і трудомісткості обслуговування робочих органів, забезпечення можливості регулювання якості одержуваних гранул: оптимізація числа (для пресуючих роликів) і геометричних розмірів робочих органів пресуючого механізму; оптимізація конструкції кільцевої матриці (переважно оптимізації параметрів філь'єр); вдосконалення конструктивного виконання нерівностей на циліндричній поверхні обичайки пресує ролика; вдосконалення конструкції водила пресуючих роликів; оптимізації пристроїв, що забезпечують вирівнювання шару матеріалу під пресуючими роликками; розробка систем регулювання мінімальної висоти шару пресованого матеріалу (мінімального зазору) між пресуючими роликками і кільцевої матрицею і силових навантажень на робочі органи і пресуючий механізм; вдосконалення системи кріплення кільцевої матриці до планшайби прес-гранулятора та виявлено комплекс конструктивних і технологічних недоліків конструкцій прес-грануляторів. Сформульовані вимоги, що висуваються до конструкції обмежувальних кілець при розробці прес-гранулятора з торцевим обмеженням клиновидного простору.

**Ключові слова:** гранулювання, шестеренний прес-гранулятор, конструкція, підвищення продуктивності, підвищення надійності, переваги, недоліки.

**Постановка проблеми.** Питання переробки пташиного посліду одне з найактуальніших в світі з точки зору екології. Сучасні



птахівницькі комплекси є виробниками не тільки м'яса і яєць птиці, але і

відходів, причому в кількості набагато більшому, ніж основної продукції. Найбільша питома вага серед них належить посліду.

На території птахофабрик та інших підприємств щодоби накопичується послід. Утилізація пташиного посліду перетворилась в важко вирішувану проблему, оскільки переробка вимагає грошових коштів, наявності площ під зберігання посліду і сільськогосподарських угідь під внесення отриманих добрив та ін. Птахофабрики виробляють послід-сировину, яку не можна продати дорого, але якщо випустити високотехнологічну, з високою доданою вартістю продукцію, ситуація зміниться. Залежно від утримання птиці, утворюється як твердий послід з вологістю 65-76%, так і рідкий з вологістю 95-96%. Відомо, що в середньому одна особина на добу виробляє 50-150 г і більше посліду. При вирощуванні бройлерів на кожен 1 кг отриманого м'яса додатково отримують 3 кг посліду [1-3].

Якщо за один рік від однієї курки-несучки одержують 250-300 шт. яєць (15-18 кг), то за той же період курка виділяє більше 18-55 кг посліду вологістю 65-75%. Нескладні підрахунки дозволяють визначити масу виробленого посліду. Таким чином, маса виробленого посліду на порядок перевищує масу м'ясної або яєчної продукції [1, 4].

Це природна сировина становить реальну небезпеку забруднення навколишнього середовища. У разі несвоєчасної переробки послід стає джерелом забруднення навколишнього середовища (атмосфери, водойм, ґрунтів, підземних вод). У світі існує кілька напрямків переробки посліду. Кожен з цих напрямків має в більшій чи меншій мірі свої переваги. Всі вони поки не виправдані ні з економічної, ні з екологічної точки зору. Вихід з цієї проблеми можна знайти в гранулюванні посліду. На даному етапі постає очевидне питання – який гранулятор обрати? Можна обрати вже розроблений. Але з ряду причин (ціна, енергоємність, специфіка роботи з біомасою, тощо) було вирішено розробити і виготовити гранулятор власної конструкції. З метою розробки конструкції прес-гранулятора для переробки біомаси на пресоване біодобриво та паливні гранули необхідно провести аналіз існуючих прес-грануляторів. Вирішенню цього питання присвячена дана стаття.

*Аналіз останніх досліджень.* Широке використання для виготовлення паливних гранул у промисловості знаходять іноземні прес-гранулятори. Основним недоліком конструкції гранулятора SKJ виробництва Zhangqiu Yulong Machine є низька продуктивність (до 0,8 тон/год) та наявність ручного двоступінчастого регулювання вузла гранулювання. Значною мірою позбавлена вказаних недоліків конструкція гранулятора ОГМ 1.5, що має одноступінчасту систему



керування та більш високу продуктивність (до 3 тон/год). Конструкція гранулятора AMANDUS виробництва KANL Group має автоматичну систему керування положенням ролика відносно матриці та продуктивність до 5 тон/год. Проте зазначена конструкція вимагає окремого джерела стисненої рідини для гідроприводу системи керування, додаткових вимірювальних та силових засобів, що призводить до здороження гранулятора майже в 5 разів по відношенню до ОГМ 1.5. У сучасній класифікації пресуючих механізмів видавлюючого типу виділяють прес-гранулятори з циліндричними робочими органами, в яких виключається прослизання. Це шестеренні прес-гранулятори з внутрішнім зубчастим зачепленням колеса-матриці і пресуючих коліс [5-8].

Дослідженням роботи шестеренних пресів-грануляторів присвячені наукові праці В. І. Щербини [9], Ю.А. Сімакіна [10], А.Ф. Зоріна, С.А. Белоконова [11], Е.А. Ладигіна [12] та інших дослідників. За їхніми даними істотний інтерес і перспективність представляють шестеренні гранулятори кормів. Проте, незважаючи на накопичений практичний досвід, завдання щодо створення конкурентоспроможних конструкцій грануляторів для переробки біомаси на пресоване біодобриво та паливні гранули ще не розв'язане та потребує подальшого дослідження.

*Результати і обговорення.* Паливні гранули мають значні переваги порівняно з традиційними видами палива. Так для їх виробництва витрачається близько 3% енергії, при цьому під час виробництва нафти ці енерговитрати становлять близько 10%, а при виробництві електроенергії – 60%, їх теплотворна здатність коливається у межах від 4,5 до 5,0 кВт/кг, що в 1,5 рази більше, ніж у звичайної деревини і вугілля. При спалюванні 2000 кг паливних гранул виділяється стільки ж теплової енергії, як і при спалюванні 3200 кг деревини, 957 м<sup>3</sup>газу, 1000 л дизельного палива та 1370 л мазуту. Горіння паливних гранул в топці котла відбувається більш ефективно – кількість залишків (золи) не перевищує меж від 0,5 до 1,0% від загального об'єму використаного палива. При спалюванні паливні гранули не впливають негативно на оточуюче середовище [8, 13-16].

Разом з тим пресове гранулювання - це енергоємний процес і актуальність його вдосконалення досить висока. Одним з доцільних шляхів вдосконалення процесу пресового гранулювання є розробка нових і оптимізація існуючих конструкцій прес-грануляторів.

В Україні і за кордоном найбільш поширені вальцьово-матричні прес-гранулятори з активною кільцевою матрицею і пасивними пресуючими роликками. Однак за останнє двадцятиріччя конструкції таких пресуючих механізмів хоча і досягли більш високого технічного



рівня, але за структурними ознаками змінилися незначно. Шестеренні гранулятори виділені окремо, так як вони поєднують безперервний процес порційного гранулювання матеріалу. Найбільш детальна схема поділу шестеренних пресів-грануляторів за основними ознаками приведена в відомих роботах С.В. Щербини [9]. Ними запропоновано поділ пресів:

- за способом формування гранул - на ті, що формують і ті, що видавлюють;

- за способом приводу робочих органів - на преси з колесами що поєднують функції гранулювання матеріалу і передачі ім обертального моменту та преси з відокремленою функцією обертання коліс від паралельної передачі;

- за способом зачеплення шестерень на два типи – з внутрішнім і зовнішнім зачепленням;

- за типом впливу зубів коліс гранулятора на матеріал - на преси лопатевого і плунжерного типів. Зубчасті колеса з лопатевим впливом на корм упресовують його боковою поверхнею зуба, а з плунжерним – головкою зуба;

- по розташуванню пресуючих коліс - на преси з вертикальним або горизонтальним компонуванням робочих органів.

Шестеренні гранулятори здійснюють переробку великого набору сировини, при цьому у багатьох з них немає можливості здійснювати регулювання каналу пресування, через що енергоємність у таких пристроїв завищена.

У брикетуванні рослинних матеріалів Ю.А. Сімакін [10] першим застосував зубчасті колеса. Одночасно з пресуванням зубчасті колеса його преса передавали обертальний момент (рис. 1).

Ім отримана залежність щільності пресованого матеріалу від кута повороту пресуючих коліс, яка має вигляд:

$$\rho = \gamma \frac{r_e^2 \left( \frac{\pi}{2z} + \sin \alpha_e - \operatorname{inv} \alpha \right) - \frac{r_0^2}{3} (\alpha_e + \operatorname{inv} \alpha_e) -}{r_0^2 \left[ \frac{\pi}{z} \varphi^2 - \frac{2\pi}{z} \left( \operatorname{tg} \alpha - \frac{\pi}{z} \right) \varphi + \frac{\pi}{z} \left( 1 + 2 \operatorname{tg}^2 \alpha - \frac{2\pi}{z} \operatorname{tg} \alpha + \frac{4\pi^2}{3z^2} \right) - \frac{1}{3} \operatorname{tg}^3 \alpha_e \right] -} \\ \frac{-r_3^2 \left( \frac{\pi}{2z} - \operatorname{inv} \alpha \right)}{-r_e^2 \left( \frac{\pi}{2z} + \operatorname{inv} \alpha - \operatorname{inv} \alpha_e \right) - z_3^2 \left( \frac{\pi}{2z} - \operatorname{inv} \alpha \right)}$$

де  $\gamma$  – насипна маса корму, кг / м<sup>3</sup>;

$r_e, r_0, r_3$  – радіуси кіл відповідно верхніх зубів, основний і заходу зубів у западини коліс, м;

$z$  – число зубів коліс;

$\alpha$  – кут зачеплення зубчастих коліс, рад.;

$\alpha_e$  – кут радіус-вектору евольвенти в вершині зуба колеса, рад.;

$\varphi$  – кут повороту зубчастих коліс, рад..

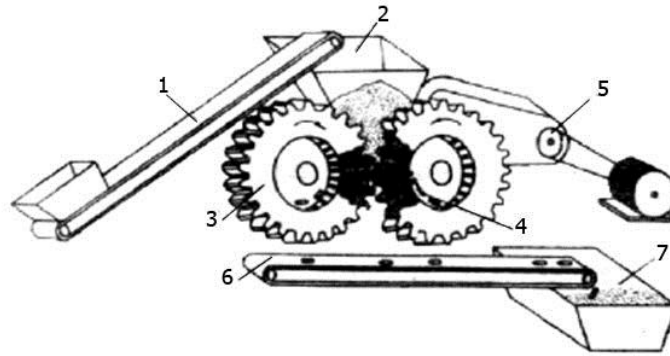


Рис. 1. Схема лабораторно-виробничої установки Ю.А. Сімакіна:  
 1 і 6 – завантажувальний і вивантажувальний стрічковий транспортери; 2 – завантажувальний бункер; 3 – пресувальні зубчасті колеса; 4 – ніж обламувальний; 5 – привід преса;  
 7 – ємність накопичувача.

Зусилля стиснення за його даними варіює відповідно зміни площі западин між зубами:

$$q_{см} = \gamma \frac{k_0 \gamma S_b}{\rho_k \left( S_{зп} - \frac{\gamma}{\rho_k} S_b \right)}$$

де  $S_b$  і  $S_{зп}$  – первісна і поточна площі поперечного перерізу западин, м<sup>2</sup>.

Пропускную здатність такого зубчастого гранулятора пропонується їм визначати за формулою:

$$\varphi = Vz\omega\gamma K_3 K_6 \frac{1}{\pi} \left[ r_e^2 \left( \frac{\pi}{2Z} + inv \alpha_e - inv \alpha \right) - \frac{r_0^2}{3} (\alpha_e - inv \alpha_e)^2 - r_0^2 \left( \frac{\pi}{2Z} - inv \alpha \right) \right]$$

де  $B$  – ширина, м;

$\omega$  – кутова швидкість зубчастих коліс, с<sup>-1</sup>;

$K_3$  – коефіцієнт заповнення западин;

$K_6$  – коефіцієнт брикетування (частка готових гранул від маси поданого корму).

Відомо також вираз і для визначення довжини пресувальних отворів:

$$L_0 = \frac{S_b}{U f \delta}$$

де  $S_0$  – площа перетину, м<sup>2</sup>;

$U$  – периметр перетину, м;

$f$  – коефіцієнт тертя;

$\delta$  – коефіцієнт бокового тиску.

У дослідженнях Ю.А. Сімакіна застосовувалася нова компоновка філь'єр в западинах – строго радіальний отвір подовжено округлий,



що підвищує коефіцієнт живого перетину. Зубчастий вінець пресуючих коліс був стандартним евольвентним, зміщення профілю рейки не передбачалося. На пресі застосовувалися рівновеликі зубчасті колеса. Визначено закономірність зміни питомої енергоємності гранулятора кормів від швидкості обертання пресуючих коліс, модуля зачеплення і кількості зубів. За результатами досліджень Ю.А. Сімакіна використання такого преса знижує енергоємність пресування люцерни на 30%.

Певний інтерес в аналізі роботи пресів представляє і робота Е.А. Ладигіна [12], присвячена так само шестеренним грануляторам. У ній розглядалося виробництво кормових гранул із суміші лікарських препаратів і подрібненого зерна. Вперше Е.А. Ладигін визначив стадії пресування: лінійного стиснення зубами і стиснення корму в міжзубовому просторі матриць. Автором було відзначено явище розширення втиснутої порції матеріалу в каналі пресування при виході її з каналу пресування.

Їм отримана математична модель пресування досліджуваної кормової суміші зубчастими колесами при варіюванні модуля зубів в межах 8...16 мм, вологості 13...21% і числа обертів зубчастих коліс 20...40 хв<sup>-1</sup>:

$$\mathcal{E} = 30,79321 + 1,57431m + 0,6n - 575,379 Q - 17,95875mQ - 6,4125nQ + 4863,2Q^2$$

де  $\mathcal{E}$  – енергоємність пресування, кВт/кг;

$m$  – модуль зубів, мм;

$n$  – частота обертання робочих коліс, хв<sup>-1</sup>;

$Q$  – подача суміші, кг/с.

За нею оптимальними співвідношеннями параметрів є: частота обертання пресуючих коліс 29,05 ... 31,45 хв<sup>-1</sup>, модуль 16 мм, а подача матеріалу 0,0969 ... 0,1053 кг/с.

Е.А. Ладигін запропонував і залежність для визначення моменту опору обертання робочих органів досліджуваного преса:

$$M_c = \frac{aB D^2 \varphi P_0 f}{4e^{2a\rho_0}} e^{2a\rho_0 \lambda}$$

де  $B$  – ширина колеса, м;

$a, P_0$  – постійні;

$D$  – діаметр колеса, м;

$\varphi$  – кут повороту, рад;

$f$  – коефіцієнт тертя;

$\lambda$  – ступінь стиснення;

$\rho_0$  – щільність (насіпна маса) кормової суміші, кг/м<sup>3</sup>.



Необхідно відзначити, що в основному відомі дослідження шестеренних пресів-грануляторів присвячені зубчастим колесам з традиційним евольвентним зачепленням.

Робота С.А. Белоконова [11] присвячена також вивченню процесу гранулювання кормів шестеренним пресом, приготування гранул з кормових сумішей зернових культур. Їм отримана регресійна математична модель стиснення кормів у вигляді рівнянь для визначення роботи стиснення (питомої):

$$W_{\text{уд}} = 122,2323 - 3,69221 - 0,2824l - 0,2183T - 0,6902B - (53,71il - 64,12iT + 38,46Bi - 13,44lT + 12,70lB - 18,75TB - 853,6i^2 - 12,11B^2)10^{-4}$$

та розкрошуваності гранул:

$$K = 18,18 - 0,6169i - 0,0438l - 0,0174T - 0,3259B - 0,0175Bi + 0,019i^2 + 9,637 \cdot 10^{-4}B^2$$

де  $B$  – вологість суміші;

$l$  – довжина частинок матеріалу;

$T$  – температура;

$i$  – масова частка комбікорми.

Отримані залежності дозволяють визначити ступінь зволоження вихідної сировини для зниження роботи його стиснення. За його даними використання криволінійних камер пресування прискорює релаксацію напружень в стислом матеріалі і дозволяє підвищити пропускну здатність шестеренного преса на 32...36%.

Одержувані ним при температурі 70°C, вологості вихідної сировини 19...21%, довжини частинок кормів 0,5...0,7 см і масової, максимально можливої за рецептурою, частки комбікорми, гранули відповідали встановленим стандартами показниками якості.

Аналіз роботи А.Ф. Зоріна [11] по дослідженню процесу стиснення кормового матеріалу шестеренним пресом з лопатевим впливом на кормосуміш показав, що можливе підвищення його продуктивності за рахунок збільшення щільності в западину корми і сумарного об'єму цих западин. При цьому необхідно застосування максимального значення модуля, позитивного зміщення вихідного профілю зубів і максимальної висоти зуба.

Збільшення питомої пропускну здатності преса на 20...23% з зубчастими колесами при поєднанні функцій А.Ф. Зорін пояснює підвищенням маси матеріалу, що подається в матричний канал, поліпшенням конструкції зубчастого вінця і траєкторії переміщення зуба в западині. Для зубчастих коліс з відокремленої функцією збільшення пропускну здатності отримано їм в межах 35 ... 45%.

Він рекомендує роботу преса при наступних параметрах: діаметр зубчастого колеса по ділильній окружності 0,45...0,48 м; модуль зуба



15...16 мм; кут їх зачеплення  $15^\circ$ ; висота головки зуба - максимальна; зміщення вихідного профілю зубів  $+0,25$ ; матричний канал з кутом нахилу  $21^\circ$ ; частота обертання матриць  $26,8$  в  $\text{хв}^{-1}$  при розкрошуваності гранул до 20%. Ці параметри зубчастих матриць забезпечують енергоємність стиснення матеріалу не більше  $36$  кДж/кг, причому вона практично незмінна була для досліджених їм конструктивних варіантів зубчастих коліс.

У дослідженні Ж.В. Матвейкіної [17] розроблена технологія і обґрунтовані параметри преса для приготування жирозбагачених гранул. Зроблено обґрунтування геометрії і кінематики робочих органів гранулятора, що забезпечують зниження енергоємності процесу і збільшення питомої продуктивності шестеренного гранулятора. Ж.В. Матвейкіна показала можливість отримання гранул з межею міцності при стисненні  $1,6...2,0$  МПа і щільності їх  $1000...1100$   $\text{кг}/\text{м}^3$  при прийнятному рівні розкрошуваності. Об'ємна питома подача суміші зубчастими колесами за її даними оптимальна при поєднанні наступних параметрів: модуль зуба (евольвентного)  $0,013$  м, кут їх зачеплення  $10^\circ$ , коефіцієнт зміщення профілю рейки в діапазоні  $0,14...0,18$ . При цьому коефіцієнт висоти у головки зуба рекомендований близько  $0,5$ .

Однак процес гранулювання у них має ряд істотних особливостей, які ще недостатньо досліджені, і такі прес-гранулятори серійно не випускаються. З метою підвищення продуктивності прес-гранулятора, зниження енергоємності процесу, збільшення довговічності робочих органів і поліпшення якості готового продукту Кириленко А.С. і Ковріков І.Т. [18] розробили конструкцію прес-гранулятора, в якій запобігається прослизання пресуючих роликів щодо контактної поверхні матриці при збереженні переваг торцевого обмеження клиновидного простору.

У даній конструкції до планшайби і конусного пристрою також прикріплені змінні обмежувальні кільця, але вони виконані у вигляді зубчастих вінців з внутрішніми зубами, а кожен пресуючий ролик, встановлений на водилі з можливістю обертання щодо своєї нерухомої осі, з боку торців оснащений жорстко з'єднаними з ним змінними циліндричними шестернями. Таким чином, обмежувальні кільця і циліндричні шестерні утворюють внутрішнє зубчасте зачеплення, забезпечуючи жорсткий кінематичний зв'язок між матрицею і пресуючими роликами прес-гранулятора. При цьому зміна мінімального зазору між контактними поверхнями матриці і пресуючих роликів в процесі роботи прес-гранулятора визначається можливостями зубчастого зачеплення обмежувальних кілець і циліндричних шестерень і здійснюється системою регулювання





зазору в межах допустимих відхилень величини міжосьової відстані в зубчастому зачепленні.

Завдання щодо підвищення продуктивності і надійності прес-грануляторів з кільцевої матрицею, зниження енергоємності процесу гранулювання і трудомісткості обслуговування робочих органів, забезпечення можливості регулювання якості одержуваних гранул вирішуються в основному за рахунок: оптимізації числа (для пресуючих роликів) і геометричних розмірів робочих органів пресуючого механізму; оптимізації конструкції кільцевої матриці (переважно оптимізації параметрів філь'єр); вдосконалення конструктивного виконання нерівностей на циліндричній поверхні обичайки пресує ролика; вдосконалення конструкції водила пресуючих роликів; оптимізації пристроїв, що забезпечують вирівнювання шару матеріалу під пресуючими роликками; розробки систем регулювання мінімальної висоти шару пресованого матеріалу (мінімального зазору) між пресуючими роликками і кільцевої матрицею і силових навантажень на робочі органи і пресуючий механізм; вдосконалення системи кріплення кільцевої матриці до планшайби прес-гранулятора.

Морфологічний аналіз конструкцій, аналіз результатів параметричного синтезу існуючих і знову проєктованих прес-грануляторів з кільцевої матрицею, а також аналіз результатів експериментальних досліджень робочого процесу в них, дозволяє виявити комплекс конструктивних і технологічних недоліків і вирішити окремі завдання структурного синтезу з удосконалення конструкцій розглянутих прес-грануляторів.

Так, одним із суттєвих недоліків в робочому процесі прес-грануляторів з кільцевої матрицею є бічне видавлювання пресованого матеріалу (переміщення матеріалу в напрямку торців робочих органів і його видавлювання за межі області контакту), яка зумовлена тим, що контактні поверхні матриці і кожного з пресуючих роликів утворюють незамкнутий клиновидний простір. Як впливає з аналізу напружено-деформованого стану пресованого матеріалу в клиновидному просторі, бічне видавлювання особливо виражено в зоні відставання і менш інтенсивно - в зоні видавлювання в філь'єри матриці. Однак в теорії і методиці розрахунку прес-грануляторів з кільцевої матрицею бічне видавлювання не враховується.

В результаті бокового видавлювання значно знижується продуктивність прес-гранулятора. Частина матеріалу, видавленого за межі робочої області, надходить на повторне стиснення, що збільшує енерговитрати на гранулювання. Через бокове видавлювання має місце нерівномірний розподіл контактних напружень по ширині робочих органів, яке є причиною погіршення умов надходження



пресованого матеріалу в зону відставання різної продуктивності в крайніх і центральних філь'єрах матриці, неоднакової якості гранул в них і нерівномірного експлуатаційного зносу по ширині матриці і обичайок пресуючих роликів. Процес пресування без бокового видавлювання можливий тільки в умовах, коли контактні поверхні робочих органів прес-гранулятора утворюють замкнутий контур поперечного перерізу шару продукту. Це може бути забезпечено шляхом створення додаткових торцевих контактних поверхонь, що дозволяють реалізувати в клиновидному просторі схему плоского деформованого стану пресованого матеріалу.

З цією метою Кириленко А.С. і Ковріковим І.Т. була запропонована конструкція прес-гранулятора, в якому до планшайби і конусному пристрою для подачі сировини прикріплені змінні кільця, що обмежують торцеві поверхні шару пресованого матеріалу. Бічні поверхні обмежувальних кілець, звернені до торців пресуючих роликів, які контактують з продуктом, утворюють з внутрішньої циліндричної поверхнею матриці кільцеву порожнину з вхідними всередину неї пресуючими роликами [18].

При розробці прес-гранулятора з торцевим обмеженням клиновидного простору були сформульовані вимоги, що висуваються до конструкції обмежувальних кілець: обмежувальні кільця не повинні бути пов'язані з матрицею прес-гранулятора; повинна бути забезпечена можливість зміни висоти торцевих контактних поверхонь обмежувальних кілець для однієї і тієї ж матриці (шляхом швидкої заміни кілець); повинна бути забезпечена можливість регулювання зазору між бічними поверхнями обмежувальних кілець і торцями пресуючих роликів; повинна бути забезпечена можливість зміни опору видавлювання матеріалу через вищевказаний зазор за рахунок регулювання величини або оптимізації його форми (контактна поверхня обмежувальних кілець вертикальна, похила, циклоїдальних і ін.); контактні поверхні обмежувальних кілець повинні бути шорсткими або мати некрізну перфорацію; пристрій не повинно ускладнювати експлуатацію прес-гранулятора.

Крім того, важливо відзначити, що в прес-грануляторах, оснащених обмежувальними кільцями, стає більш актуальним застосування автоматичних систем регулювання мінімального зазору між пресуючими роликами і кільцевої матрицею.

В результаті торцевого обмеження клиновидного простору додатковими контактними поверхнями у вигляді змінних обмежувальних кілець забезпечується:

- підвищення продуктивності прес-гранулятора за рахунок повного або часткового запобігання бічного видавлювання при сталому процесі роботи;



- підвищення продуктивності прес-гранулятора в умовах плоскої деформації пресованого матеріалу за рахунок збільшення окружної протяжності області його контакту з робочими органами, створення оптимальних умов його надходження в зону відставання і розширення меж зони видавлювання в філь'єри матриці при тому ж опорі філь'єр;
- зниження енергоємності процесу пресового гранулювання за рахунок виключення енерговитрат на повторне стиснення частини матеріалу, що видавлюється за межі робочої області в прес-грануляторі з незамкнутим клиноподібним простором;
- збільшення довговічності робочих органів, вирівнювання продуктивності в крайніх і центральних філь'єрах матриці і механічного якості гранул в них за рахунок вирівнювання епюри контактних напружень по ширині кільцевої матриці і обичайок пресуючих роликів, а також внаслідок вирівнювання шару пресованого матеріалу перед пресуючими роликками.

Іншим суттєвим недоліком прес-грануляторів з кільцевої матрицею є можливість прослизання пресуючих роликів щодо контактної поверхні матриці (працює в режимі буксування), що обумовлено фрикційною передачею обертання від активної матриці пасивним пресуючим роликам через шар пресованого матеріалу [18].

Прослизання передбачає, що дійсна кутова швидкість пресуючого ролика менше його теоретичної кутової швидкості.

Явище ковзання сприяє накопиченню пресованого матеріалу перед пресуючими роликками, перешкоджає формуванню стійкого валика сировини, що гранулюється на вході в зону відставання, внаслідок чого знижується продуктивність прес-гранулятора. Процес гранулювання в цьому випадку характеризується додатковим перетиранням сировини (що має визначену відповідно до технологічних вимог ступінь подрібнення), а також підвищеної ділатансії пресованого матеріалу. В результаті збільшуються енерговитрати на гранулювання, знижується однорідність структурно-механічних властивостей сировини, погіршуються якісні показники гранул. Прослизання робочих органів викликає інтенсивний і нерівномірний знос їх контактних поверхонь.

Біомаса в процесі гранулювання є суцільною реологічною системою, яка передбачає можливість часткового відновлення форми і розмірів матеріалу після зняття навантаження. Під час інтенсивного ущільнення до 30-40 МПа в каналах матриці протікають процеси внутрішнього тертя і сухої дифузії між частинками розмірами 1-5 мм, в результаті підвищується температура до 90-100 °С, а лігнін, що міститься в біомасі, розм'якшується, склеює частинки у щільні вироби циліндричної форми та сприяє утворенню захисної плівки на поверхні гранул [1-6]. Для виготовлення паливних гранул необхідно



забезпечити такі режимні параметри: тиск, температура, витрати води та пари. Разом з тим, в прес-гранулятори часто надходять сировинні компоненти, які різняться фізичним походженням, фракційним складом, вологістю тощо. Отже, ретельне виконання технологічних процесів є запорукою отримання переваг і подальшого розвитку виробництв біопаливних гранул. Проведений нами аналіз шестеренних пресів-грануляторів та експериментальні дані дають змогу зробити висновок, що шестеренні преси-гранулятори мають певні недоліки при роботі з біомасою і їх не доцільно використовувати для виготовлення паливних гранул з біомаси і подальші дослідження треба проводити по матричним прес-грануляторам.

*Висновки.* В результаті проведених досліджень з метою розробки конструкції прес-гранулятора для переробки біомаси на пресоване біодобриво та паливні гранули, проаналізовані основні праці науковців, присвячені дослідженням роботи шестеренних пресів-грануляторів, визначені шляхи підвищення продуктивності і надійності прес-грануляторів з кільцевої матрицею, зниження енергоємності процесу гранулювання і трудомісткості обслуговування робочих органів, забезпечення можливості регулювання якості одержуваних гранул; виявлені комплекс конструктивних і технологічних недоліків і вирішені окремі завдання структурного синтезу з удосконалення конструкцій прес-грануляторів. Сформульовані вимоги, що висувуються до конструкції обмежувальних кілець, при розробці прес-гранулятора з торцевим обмеженням клиновидного простору.

Аналіз шестеренних пресів-грануляторів та експериментальні дані дають змогу зробити висновок, що шестеренні преси-гранулятори мають певні недоліки при роботі з біомасою і їх не доцільно використовувати для виготовлення паливних гранул з біомаси і подальші дослідження треба проводити по матричним прес-грануляторам.

#### *Література*

1. Скляр О. Г. Механізація технологічних процесів у тваринництві: навч. посібник / О. Г. Скляр, Н. І. Болтянська. – Мелітополь: Колор Принт, 2012. – 720 с.

2. Болтянская Н. И. Анализ основных направлений ресурсосбережения в животноводстве / Н. И. Болтянская, О. В. Болтянский // Motrol. Commission of motorszation and energetycs in agriculture. – 2016. – Vol.18, No.1. – P. 49-54.

3. Біоенергія в Україні – розвиток сільських територій та можливості для окремих громад: науково-методичні рекомендації / В. О. Дубровін [та ін.]. – К: НУБіП України, 2009. – 122 с.



4. Болтянська Н. І. Забезпечення високоефективного функціонування технологічного процесу приготування і роздавання кормів у тваринництві / Н. І. Болтянська // Науковий вісник ТДАТУ. – Мелітополь, 2014. – Вип. 4. т.1, – С. 16-22.

5. Болтянська Н. І. Показники оцінки ефективності застосування ресурсозберігаючих технологій в тваринництві / Н. І. Болтянська // Вісник Сумського НАУ. – Суми, 2016. – Вип. 10/3 (31). – С. 118-121. – (Механізація та автоматизація виробничих процесів).

6. Братішко В. В. Узгодження конструкційних параметрів матриць гвинтових грануляторів кормів за тиском та пропускну здатністю / В. В. Братішко // Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. – 2014. – Вип. 27. – С. 187-191.

7. Машины и оборудование для производства комбикормов: справочное пособие / В. А. Шаршунов [и др.]. – Минск: Экоперспектива, 2005. – 487с.

8. Курка Р. Р. Особливості технології формування паливних гранул з подрібненої деревини листяних порід / Р. Р. Курка // Науковий вісник НЛТУ України. – Львів, 2011. – Вип. 21. – С. 132-136.

9. Щербина В. И. Ресурсосберегающие процессы гранулирования и брикетирования кормов шестеренными прессами: дис. ... докт. техн. наук : 05.20.01 / В. И. Щербина. – зерноград, 2004. – 376 с.

10. Симакин Ю. А. Исследование процесса брикетирования кормов зубчатым рабочим органом: дис. ... канд. техн. наук / Ю. А. Симакин. – зерноград, 1977. – 201 с.

11. Белоконов С. А. Анализ факторов производительности шестеренного гранулятора / С. А. Белоконов, А. Ф. Зорин, В. И. Щербина // Совершенствование процессов и технических средств в АПК. – зерноград, 1999. – С. 48–51.

12. Ладыгин Е. А. Технология и пресс для гранулирования кормолекарственных смесей: дис. ... канд. техн. наук / Е. А. Ладыгин. – зерноград, 1992. – 159с.

13. Альтернативна енергетика: навч. посібник / М. Д. Мельничук [та ін.]. – К.: Аграр Медіа Груп, 2011. – 612 с.

14. Болтянська Н. І. Показники оцінки ефективності застосування ресурсозберігаючих технологій в тваринництві / Н. І. Болтянська // Вісник Сумського НАУ. – Суми, 2016. – Вип. 10/3 (31). – С. 118-121. (Механізація та автоматизація виробничих процесів).



15. Стратегия энергосбережения Украины: Аналитико-справочные материалы в 2-х т: Общие основы энергосбережения. – К: Академперіодика, 2006. – Т1. – 510 с.

16. Гришко В. В. Енергозбереження в сільському господарстві (економіка, організація, управління) / В. В Гришко, В. І. Перебийніс, В. М. Рабштина. – Полтава, 1996. – 280 с.

17. Матвейкина Ж. В. Совершенствование технологии и параметров гранулятора для приготовления жирообогащенных кормов: дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / Ж.В. Матвейкина. – зерноград, 2004. – 148 с.

18. Кириленко А. С. Структурное совершенствование вальцово-матричных пресс-грануляторов с кольцевой матрицей / А. С. Кириленко, И. Т. Ковриков // Технические науки –от теории к практике: сб. ст. по матер. VII междунар. науч.-практ. конф.– Новосибирск: СибАК, 2012. – Часть II. – С. 73-78.

## **АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИЙ ШЕСТЕРЕННЫХ ПРЕСС-ГРАНУЛЯТОРОВ**

Болтянская Н. И.

### **Аннотация**

Вопрос переработки птичьего помета один из самых актуальных в мире с точки зрения экологии. В мире существует несколько направлений переработки помета. Каждое из этих направлений имеет в большей или меньшей степени свои преимущества. Все они пока не оправданы ни с экономической, ни с экологической точки зрения. Выход из этой проблемы можно найти в гранулировании помета. По ряду причин (цена, энергоёмкость, специфика работы с биомассой и т.д.) возникает необходимость разработки пресс-гранулятора собственной конструкции. С целью разработки конструкции пресс-гранулятора для переработки биомассы на прессованное биоудобрение и топливные гранулы, предоставлена схема разделения шестеренных прессов-грануляторов по основным признакам, проанализированы основные труды ученых, посвященные исследованию работы шестеренных прессов-грануляторов, определены пути повышения производительности и надежности пресс-грануляторов, снижение энергоёмкости процесса гранулирования и трудоёмкости обслуживания рабочих органов, обеспечение возможности регулирования качества получаемых гранул: оптимизации числа (для прессующих роликов) и геометрических размеров рабочих органов прессующего механизма; оптимизации конструкции кольцевой матрицы (преимущественно оптимизации параметров фильеры) совершенствование конструктивного исполнения неровностей на цилиндрической поверхности обечайки прессует ролика; совершенствование конструкции водила прессующих роликов оптимизации устройств, обеспечивающих выравнивание слоя материала под прессующими роликами; разработки систем регулирования минимальной высоты слоя прессованного материала (минимального зазора) между прессующими роликами и кольцевой матрицей и силовых нагрузок на рабочие



органы, прессующего механизма; совершенствование системы крепления кольцевой матрицы к планшайбе пресс-гранулятора и выявлены комплекс конструктивных и технологических недостатков и решены отдельные задания структурного синтеза по совершенствованию конструкций пресс-грануляторов. Сформулированы требования, предъявляемые к конструкции ограничительных колец при разработке пресс-гранулятора с торцевым ограничением клиновидного пространства.

## ANALYSIS OF CONSTRUCTIONS OF GEARS PRESS-GRANULATORS

N. Boltyanska

### Summary

The issue of processing bird droppings is one of the most urgent in the world from the point of view of ecology. In the world there are several directions for processing litter. Each of these areas has more or less its advantages. All of them are not justified either economically or ecologically. The way out of this problem can be found in the granulation of litter. For a number of reasons (price, energy intensity, specificity of work with biomass, etc.), it becomes necessary to develop a press granulator of its own design. In order to develop the design of a press granulator for processing biomass for pressed biofertilizer and fuel pellets, a scheme for separating gear pellet presses by the main features is presented, the main works of scientists devoted to the investigation of the operation of gear presses-granulators are analyzed, ways of increasing the productivity and reliability of press granulators, a decrease in the energy intensity of the granulation process and labor input of the working bodies, the possibility of regulating the quality of the obtained pellets: optimization of the number (for pressing rollers) and the geometric dimensions of the working bodies of the pressing mechanism; optimizing the design of the ring matrix (mainly optimizing the parameters of the spinneret), improving the design of unevenness on the cylindrical surface of the shell compresses the roller; improvement of the carrier structure of the pressing rollers of the optimization of the devices, which ensure the leveling of the material layer under the pressing rollers; development of systems for regulating the minimum height of the layer of compacted material (minimum gap) between the pressing rollers and the ring matrix and the force loads on the working bodies, the pressing mechanism; perfection of the system of fastening the ring matrix to the faceplate of the press granulator, and a complex of structural and technological drawbacks was identified and individual tasks of structural synthesis for improving the design of press granulators were solved. The requirements imposed on the construction of the restraining rings in the development of a press granulator with an end stop of the wedge-shaped space are formulated.

*Keywords:* pelletizing, gears pregranulator, design, performance enhancement, reliability improvement, advantages, disadvantages