

Міністерство  
освіти і науки  
України



Міністерство освіти і науки України

Національний університет біоресурсів і  
природокористування України  
Механіко-технологічний факультет

Представництво Польської академії наук в Києві  
Відділення в Любліні Польської академії наук  
Академія інженерних наук України  
Українська асоціація аграрних інженерів



**ЗБІРНИК ТЕЗ ДОПОВІДЕЙ  
II МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ  
КОНФЕРЕНЦІЇ**

**"Агроінженерія:**

**сучасні проблеми та перспективи розвитку"**

**(7–8 листопада 2019 року)**

**присвячена**

**90-й річниці з дня заснування**

**механіко-технологічного факультету НУБіП України**



**Київ – 2019**

УДК 662.113/81:662.8.055

## **АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ УЩІЛЬНЕННЯ БІОМАСИ ШНЕКОВИМ РОБОЧИМ ОРГАНОМ**

*Єременко О. І., Зубок Т. О., Василенков В. Є.*

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

Теоретичний опис руху біомаси при формуванні паливних брикетів шнековим робочим органом є аналітичним підґрунтям для визначення раціональних параметрів брикетного преса. При розрахунку і конструюванні машин необхідно розглядати деформацію сировинної біомаси з урахуванням її фізико-механічних і реологічних її властивостей, а також взаємодії зі шнековим механізмом у процесі утворення брикетів

Вторинна біомаса для виготовлення паливних брикетів є двокомпонентною дисперсною системою, що включає дві складові: тверду з заданою вологістю і газоподібну. Механічні властивості дисперсної біомаси обумовлюються тим, що рослинні частинки по ділянках розділені прошарком повітря і через ці прошарки діють сили молекулярного притягання. Ці сили і визначають міцність дисперсної біомаси у брикетах, проте їх міцність суттєво знижена у порівнянні з міцністю зчеплення самих частинок. В залежності від щільності дисперсної речовини змінюються і механічні властивості паливної

біомаси. Так, при зміні дисперсної речовини, наприклад, при зменшенні прошарку повітряного середовища молекулярні притягання частинок (тобто зчеплення) збільшуються, що веде до ослаблення молекулярних сил зчеплення по ділянках, а виходить, і до зменшення потрібної енергії на деформацію у вигляді інтенсивного ущільнення та виготовлення брикетів.

Енергія шнекового пресування витрачається не тільки на подолання молекулярних сил зчеплення по ділянках, але і на орієнтацію частинок по поверхнях дії максимальних напруг зрушення. Крім того, при в'язко-пружній деформації сировинної біомаси, паралельно процесам руйнування шляхом зсуву, що супроводжується внутрішнім тертям окремих видів зв'язку системи, йде процес виникнення нових зв'язків. Тому строго розділити ці сили на сили тертя і сили зчеплення не уявляється можливим.

Процес ущільнення біомаси шнековим механізмом до стану моноліту відбувається у три етапи. На першому етапі в момент надходження сировини в робочу зону шнека виникають напруги, що призводять до деформації біомаси, причому приріст деформації не пропорційний приросту напруги, що говорить про нелінійний характер протікання процесу даної системи. При умові зняття навантаження в деякому діапазоні спостерігається відновлення деформацій. На другому етапі зростаюче навантаження призводить до критичної комбінації напруг, при якій встановлюється гранична рівновага між внутрішніми силами опору біомаси і зовнішнім навантаженням, що називається граничним напруженим станом. На третьому етапі подальше, навіть незначне, збільшення навантаження призводить до розвитку пластичних деформацій.

Результати проведених досліджень [1, 2] фізичного явища переміщення сировинної біомаси у процесі ущільнення шнековим робочим органом брикетного преса є підґрунтям для розробки декількох методик розрахунку техніко-технологічних параметрів процесу. Дані розрахункові роботи ґрунтуються на наступних положеннях:

- силовий аналіз шнекового механізму брикетного преса;
- теорії подоби.

В основу розроблення методики [1] покладено взаємодії виникаючих сил зі шнековим робочим органом брикетної машини. Розглядається рух сировинної біомаси як фізичного тіла з пружно-пластичними властивостями і на яке діють певні сили з боку шнека та стінок робочої камери.

Методика [2], заснована на теорії подоби, припускає застосування експериментального і теоретичного методів визначення загальних закономірностей протікання процесу шнекового брикетування. Приведені приклади теорії подоби при розрахунку брикетних машин, однак прийняті допущення і виключення, а також неврахування другорядних фізико-механічних факторів, вносять істотні неточності у фактичне явище ущільнення біомаси шнековим робочим органом брикетного преса.

За описом протікання процесу встановлено [1], дискретна біомаса під дією витка шнека і його вала захоплюється і отримує обертовий рух, в результаті якого створює опір тертя біомаси об внутрішню порожнину робочої камери преса і вал шнекового механізму. Подальшому обертанню маси у пресі

перешкоджають сили тертя об внутрішню порожнину нерухомого циліндра. Виникає момент, що утримує біомасу від обертання та протидіє моменту від витка шнека.

Момент пресувальний  $M_{пр}$ , що є результатом дії робочої грані витка шнека, визначають за формулою [1]:

$$M_{пр} = 0,5 Q_{бр} F_{ш} \operatorname{tg}(\alpha + \gamma) D_{ср}, \quad (1)$$

де  $F_{ш}$  - площа робочої грані витка шнека, м<sup>2</sup>;

$\alpha$  - кут підйому витка шнека, град.;

$\gamma$  - кут тертя біомаси о поверхню витка, град.;

$D_{ср}$  - середній діаметр витка шнека, м.

Підставивши відповідні величини у розрахункові формули сил, що діють на масу в каналі шнека, та провівши математичні перетворення, отримуємо наступне диференціальне рівняння:

$$\frac{dp}{p} = \frac{f_s(2h+b+f_z b \sin \alpha) - f_z b \cos \alpha}{bh \sin \varphi} dL, \quad (2)$$

де  $p$  - тиск в каналі шнекового робочого органу, Па;

$L$  - довжина шнека, м;

$b = \pi D \sin \varphi$  - ширина шнекового каналу, м;

$D$  - діаметр витка шнека, м;

$\varphi$  - кут підйому гвинтової лінії, град.;

$\alpha$  - кут між напрямком переміщення біомаси і площиною, що перпендикулярна осі шнека, град.;

$f_s$  - коефіцієнт тертя біомаси об шнек;

$f_z$  - коефіцієнт тертя біомаси об внутрішні стінки корпуса.

Провівши інтегрування з граничною умовою  $p \approx p_0$  при  $L = 0$ , отримуємо формулу для розрахунку тиску в каналі шнека:

$$p = p_0 \exp \left( \frac{f_s(2h+b+f_z b \sin \alpha) - f_z b \cos \alpha}{bh \sin \varphi} L \right). \quad (3)$$

Одержані рівняння 2 і 3 визначають зв'язок тиску  $p$  в каналі шнекового робочого органу з його довжиною  $L$ . Тиск зростає за експоненціальною залежністю за напрямом просування біомаси від завантажувального бункера до вихідного пристрою преса. Наведені вирази достовірні з точністю до прийнятих допущень про сталість коефіцієнтів тертя та кута  $\alpha$ , а також про справедливість моделі переміщення матеріалу, що пресується, без зворотних потоків.

Відомо [1, 2], що продуктивність  $Q_{шн}$  шнекового брикетування пропорційна швидкості переміщення матеріалу в каналі, діаметру  $D$  шнека, частоті його обертання  $n$ , площі прохідного перетину  $bh$  шнекових каналів, а також залежить від кута підйому  $\varphi$  гвинтової лінії та форми лопатей шнека. Особливістю процесу є те, що одні й ті ж параметри впливають на щільність брикетів і продуктивність у протилежних напрямках, тобто якісно-кількісна характеристика шнекового механізму  $Q_{шн} = Q(p)$  наближається до зворотно пропорційної, а саме: при  $Q_{шн} \rightarrow Q_{max}$ ,  $p \rightarrow 0$ ; при  $p \rightarrow p_{max}$ ,  $Q_{шн} \rightarrow 0$ .

Отже, за мірою віддалення від витка шнека і збільшені поверхні тертя, сумарна величина стримуючого моменту зростає. Це призводить до повертання між шарами біомаси, причому кожний наступний шар обертається повільніше

попереднього. Отже, безпосередньо біля витка швидкість обертання частинок біомаси найбільша, а на деякій відстані вона зменшується і маса переміщується тільки поступово. В реальному процесі біомаса з низьким коефіцієнтом тертя (наприклад, солома) може ковзати відносно витка шнека і можливе потрапляння її в зазор між циліндром робочої камери та витком.

#### Список літератури

1. *Єременко О. І.* Метод розрахунку шнекового робочого органу для брикетування рослинних матеріалів. Матеріали VII-ї Всеукраїнської науково-технічної конференції «Технічний прогрес у тваринництві та кормовиробництві». 2018. С. 31-34.

2. *Субота С.В.* Результати експериментальних досліджень роботи гвинтового прес-брикетувальника для виробництва паливних брикетів із рослинної сировини. Міжвідомчий тематичний науковий збірник «Механізація та електрифікація сільського господарства». 2013. Вип. 97, т. 2. С. 40-46.