

The solution to this problem will ensure the financial stability of the carrier and services development of bus transportation in general.

The limit of additional types of transportation have the right to debate and can have different forms and character but always main it should leave economic feasibility. While providing the regulatory authority a clear delineation of the types of traffic on certain eligibility criteria and conditions of execution of each kind, the conditions of self-regulation in the formation of a common route network of regular services, as the most commercially attractive. For the sustainable development of such conditions, the desired mobility of the network a message which will allow the carrier to respond quickly to the needs of consumers of services without the consent of the regulator. This option will be subject to the cancellation policy of the state register long-distance route network and the status information for consumers. Subject to regulator these conditions, and eliminating the contradictions between the two entities and the increased commercial interest carriers will get the bus, the economic status of which directly depends on the number of arrivals of buses.

Key words: passenger transport, transport process, economy, road transport, route

УДК 666.62

АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ МАТЕРІАЛУ, ЩО ПРЕСУЄТЬСЯ

В. Н. Зубко, кандидат технічних наук

С. П. Соколік, інженер

Сумський національний аграрний університет

В. В. Чуба, кандидат технічних наук

***Національний університет біоресурсів і
природокористування***

e-mail: slovs@list.ru

Анотація. У статті виконано аналіз досліджень фізико-механічних властивостей рослинних матеріалів, як сировини для отримання паливних брикетів. Досліджено вплив даних властивостей на параметри і режими роботи устаткування для формування гранул та брикетів.

Величина продуктивності процесу просування суміші в циліндрі прес-екструдера в великій мірі залежить від сил тертя,

© В. Н. Зубко, С. П. Соколік, В. В. Чуба, 2016

що виникають між матеріалом, поверхнею циліндра і шнека. При цьому значення коефіцієнта тертя суміші по циліндру повинно перевищувати величину тертя суміші по шнеку, що також підтверджується і на практиці.

Фізико-механічні властивості рослинної маси непостійні в часі і просторі. Вони неоднаково виявляють себе в залежності від параметрів стану: температури, гранулометричного складу, вологості та ін.

У зв'язку з цим врахування всіх фізико-механічних властивостей рослинних матеріалів в аналітичних залежностях ускладнене не тільки через множинність, а й через непостійність їх значень в часі і просторі.

Більшість фізико-механічних властивостей рослинного матеріалу прямо обумовлені вологістю, температурою, масовою часткою компонентів і гранулометричним складом. Необхідно знайти такий стан рослинного матеріалу, при якому з найменшими витратами енергії можна отримати гранули, що задовольняють якісними показниками. Дослідникам процесу гранулювання доводиться рахуватися з вологістю, температурою і довжиною частинок пресованої маси. Існує таке їх поєднання, при якому можуть бути мінімальними енергоємність пресування і крихкість отриманих гранул.

Процес гранулювання складається з декількох послідовних етапів: стиснення, витримки під тиском, зняття тиску, релаксації напружень, витримки без тиску, випресування і пружного розширення гранули після вилучення з камери. Основні витрати енергії припадають на перший етап стиснення порції рослинного матеріалу до необхідної щільності. Отже, оцінку стану вихідної рослинної маси з енергетичних витрат з достатньою достовірністю можна здійснити за питомою роботою стиснення.

Ключові слова: *гранула, брикет, пресування, фізико-механічні властивості, рослинна маса, коефіцієнт тертя*

Постановка проблеми. Останніми роками як у світі, так і в Україні зокрема, в зв'язку з подорожчанням енергоносіїв, все більше уваги почали приділяти біопаливу, що виробляється з високопродуктивних енергетичних культур.

Виробництво енергії з відновлювальних джерел, включаючи біомасу, динамічно розвивається в більшості європейських країн. Наприклад, основною сировиною для виробництва біопалива у Бразилії є цукрова тростина, у США – кукурудза (з 1 т соняшнику на силос можна отримати від 200 до 400 м³ біогазу). В європейських країнах, а особливо в Німеччині, постійно збільшується виробництво біопалива з цукрових буряків.

Одним із найперспективніших альтернативних джерел енергії на сьогодні є тверда біомаса органічного походження, в тому числі і рослинного, яка є екологічно чистим відновлювальним джерелом енергії. Енергія біомаси еквівалентна 2 млрд т у. п./рік, що становить близько 13–15% загального використання первинних енергоресурсів світу. Частка України, за деякими оцінками, становить близько 50 млн т у. п., але економічно доцільний потенціал біомаси оцінюється у 27 млн т у. п./рік [1].

Аналіз останніх досліджень. Сільськогосподарське виробництво України як і більшості європейських країн, поступово перетворюється з споживача енергії в її виробника. В Європі на сьогоднішній день близько 50% поновлюваних джерел енергії виробляється з біомаси, що становить 4% від загального попиту енергетичних ресурсів.

Сьогодні біомаса – четверте за значенням паливо у світі, яке дає близько 2 млрд. т. у. п. енергії в рік, що становить близько 14% загального споживання первинних енергоносіїв у світі. Світовий досвід показує, що найбільш перспективною і популярною категорією енергетичних ресурсів є тверді біопалива.

Біоенергетична забезпечення сільської місцевості базується на вирощуванні енергетичних культур і використанні інших місцевих ресурсів. Для України цей напрям дуже актуальний, враховуючи високу природну родючість ґрунтів.

Ефективність біоенергетики в значній мірі залежить від раціональних технологій вирощування і переробки вирощеної біомаси [1]. В Україні основні ресурси біомаси зосереджені в сільському господарстві. Тільки в рослинництві рослинні залишки складають 50-60 млн. Тонн, а в тваринництві накопичується більше 220 млн. т гною і посліду [2].

Але в межах таких аграрних країн як Україна не слід забувати про потенційні можливості рослинної маси. Тут споживається 230...300 млн. Тонн умовного палива на рік, основна частка якого припадає на вугілля, нафту і природний газ. Аналіз розвитку технологій енергетичного споживання сільськогосподарської продукції в Україні показує, що рослинна маса є одним з найбільш перспективних поновлюваних джерел для отримання біопалива [3]. У межах нашої країни щорічний надлишок соломи та стебел основних сільськогосподарських культур становить близько 15–20 млн. т., що з енергетичної точки зору можна вважати еквівалентним значній кількості умовного палива [4].

Використання рослинної маси в енергетичних цілях можливо лише при її більш компактному зберіганні в ущільненому вигляді [5]. Класифікація способів ущільнення стеблової частини врожаю

пресуванням може бути зроблена за видом кінцевих продуктів. При цьому розрізняють способи пресування в тюки (звичайні або підвищеної щільності), рулони, брикети, гранули та ін.

Найбільш досконалыми способами пресування є брикетування і гранулювання, що дозволяють отримати найбільш високий ступінь ущільнення.

Фізична суть пресування зводиться до зближення і зчеплення частинок твердої фази, тобто до ущільнення і зміцнення розпушеної маси шляхом механічного тиску.

Рослинна маса є об'єктом пресування. Тому ефективність даного процесу у вирішальній мірі залежить від фізико-механічних властивостей пресованого матеріалу.

Аналіз технологій виробництва брикетів з рослинних матеріалів показав, що нині виникла потреба в дослідженнях, спрямованих на зниження енергоємності процесу перероблення рослинних відходів на тверде біопаливо на стадіях сушіння та пресування; удосконалення конструкцій існуючих машин для ущільнення сировини з метою підвищення їх надійності, розширення функціональних можливостей у забезпеченні пресування різних видів рослинних матеріалів, а також вивчення оптимальних параметрів сировини для отримання високої щільності брикетів.

Вчені Г. Г. Гелетуша, В. А. Герасимович, В. О. Дубровін, Т. А. Железна, Д. П. Кіндзера та інші зробили значний внесок щодо перспектив використання біомаси для виготовлення газоподібного, рідкого і твердого палива. Ці вчені досліджували параметри технологічних процесів і режими роботи обладнання, показники ефективності використання біопалива.

Рослинна маса може складатися з декількох компонентів, різних навіть за природою походження і структурою.

На процес стиснення істотно впливають пружні, в'язкі і фрикційні властивості рослинного матеріалу. До них в першу чергу відносяться модуль Юнга, коефіцієнт Пуассона, коефіцієнти в'язкості і тертя. Велике значення має пористість, співвідношення компонентів в суміші, частка фазових складових (тверда речовина, рідина і газова фаза). Багато дослідників враховували такі властивості як релаксація напружень гранули та її пружне розширення, точка адсорбції води на поверхні частинок, критична щільність, теплоємність, теплопровідність та ін. властивості гранул безпосередньо пов'язані зі специфічними властивостями рослинного матеріалу і його сумішей, і від них залежать режими роботи пресового устаткування.

Величина продуктивності процесу пресування суміші в циліндрі прес-екструдера в великій мірі залежить від сил тертя, що

виникають між матеріалом, поверхнею циліндра і шнека. При цьому значення коефіцієнта тертя суміші по циліндру повинно перевищувати величину тертя суміші по шнеку, що також підтверджується і на практиці.

Слід зазначити, що в процесі руху суміші по поверхні циліндра прес-екструдера спостерігається два види тертя: внутрішнє тертя – між шарами суміші і зовнішнє тертя суміші по поверхні циліндра [6, 7]. В процесі екструзії суміші відбувається руйнування її компонентів в зазорі між кромкою гвинтової лінії шнека і ребрами циліндра.

На вибір конструктивних параметрів прес-екструдера і оптимальних технологічних режимів його роботи вирішальне значення мають показники, що характеризують зсувні властивості шарів вихідної сировини матеріалу, до них відносять: пружність, в'язкість, пластичність матеріалу [8, 9].

Мета досліджень. Основним завданням на даному етапі досліджень є вивчення впливу фізико-механічних властивостей рослинної маси на кількісні і якісні показники процесу пресування.

Рішення поставленого питання дозволить почати роботи по обґрунтуванню конструктивних параметрів прес-екструдера і визначення оптимальних технологічних режимів процесу брикетування.

Результати досліджень. У роботах [10, 11], автори досліджують реологічні властивості рослинних кормо сумішей для брикетування, в роботі [11] на основі дослідження побудували механічну модель процесу деформації стеблових рослинних матеріалів, також відзначено що в порівняно вузькому інтервалі напруг зсуву ефективна в'язкість різко зменшується.

Лихачов Ф. С. в своїй роботі зазначає, що в'язкість і максимальне напруження зсуву досліджуваної суміші різко змінюються при зміні температурного режиму. При зниженні температури рослинної суміші з $+333^{\circ}\text{K}$ до $+290^{\circ}\text{K}$ в'язкість збільшилася майже вдвічі [12].

Визначенням коефіцієнтів тертя зерна об різні поверхні при різних умовах ковзання займалися як вітчизняні так і зарубіжні вчені.

В роботі [14] визначили коефіцієнт тертя в залежності від режимів ковзання. Для різних видів зерна значення коефіцієнтів тертя коливаються в межах 0,25–0,6. Помічено, що зі збільшенням швидкості ковзання коефіцієнт тертя зменшується, а зі збільшенням вологості зерна коефіцієнт тертя зростає [13, 14]

Ширші дослідження коефіцієнта тертя провів на спеціально сконструйованому приладі автор роботи [15], яким виявлено, що коефіцієнт тертя при різних режимах ковзання змінюється в інтервалі 0,35–0,5. У цій роботі було відзначено, що зі збільшенням

чистоти поверхні ковзання f_{mp} зменшується, але зростає при зменшенні розміру подрібнених частинок матеріалу. Наведені роботи по визначенню коефіцієнта тертя маси проводились для умов, в яких не враховувалося нормальний тиск матеріалу на поверхню ковзання.

Симанович В. С. в роботі [16] наводить результати визначення коефіцієнта тертя в залежності від вологості комбікорми швидкості ковзання і нормального тиску. При цьому характер зміни f_{mp} в залежності від вологості було отримано таку. Зі збільшенням вологості комбікорми до 20% f_{mp} зменшується з 0,48 до 0,4 при подальше збільшення вологості до 35% f_{mp} , збільшується до 0,43. Автор також визначив, що зі збільшенням швидкості ковзання до 2 м/с f_{mp} зменшується від 0,48 до 0,45, а при зміні нормального тиску з 0,75 до 3 кПа, f_{mp} зменшується від 0,5 до 0,38.

Єгоров В. Т. [17] зазначає, що з підвищенням вологості комбікорму і його температури коефіцієнт тертя його зменшується до 0,25. Також як і автор роботи [18] Гриб В.К. підтверджує зменшення f_{mp} рослинного матеріалу зі збільшенням нормального тиску і збільшенням вологості вище 30%, Наприклад, при збільшенні нормального розподілу від 1117,2 Па до 3351,6 Па f_{mp} падає при відповідних значеннях вологості: $W = 12,37\%$, $f_{mp} = 0,2256 - 0,35$; $W = 35\%$ $f_{mp} = 0,13 - 0,19$. Автор вважає, що при подальшому зростанні нормального тиску до 7840 Па f_{mp} залишається постійним $f_{mp} = 0,20$.

Ігнатьевскій Н. Ф. і Острецов В. Н. проводили дослідження з визначення коефіцієнта тертя рослинного матеріалу методом планування експерименту. Досліди проводилися на установці, розробленій в лабораторії брикетування рослинного матеріалу. Робочими органами установки є матриця, пластина з нагрівальним елементом, верхній і нижній пуансон [19].

Для розрахунку коефіцієнта тертя використовували формулу:

$$f = P_T / (P_o * 2F).$$

де: P_T – горизонтально спрямоване зусилля на протягування пластини, Н; P_o – осьовий тиск, МПа; F – площа пластини в матриці, м².

Склад рослинної суміші: солом'яна різка – 40%, комбікорм – 40%; трав'яна мука – 20%. Для оцінки ступеня впливу факторів на коефіцієнт тертя ними був реалізований багатофакторний експеримент. Були прийняті чотири фактори, що впливають на величину коефіцієнта тертя: вологість рослинного матеріалу суміші, %; тиск пресування, МПа; температура матричного каналу, К; швидкість переміщення рослинної суміші, м/с.

Після реалізації багатофакторного експерименту ними було отримано рівняння регресії, яке після розкодування мало вигляд:

$$f = 0,1366 - 0,132 \times 10^{-4}W^2 - 0,726 \times 10^{-7}T^2 - 0,38 \times 10^{-5}WP.$$

Дослідні дані досить близько збігаються з розрахунковими. З отриманих результатів досліджень випливає, що для мінімізації коефіцієнта тертя, а отже, отримання можливості збільшення часу перебування рослинного матеріалу в матричному каналі необхідно (в розглянутих межах варіювання факторів) прагнути до збільшення вологості рослинної суміші та температури матриці. При цьому слід враховувати енерговитрати на створення високої температури матриці. Також були визначені деякі характеристики фізико-механічних властивостей повнораціонних соломистих кормосумішей Челишева С. В. [20]. До складу гранульованих кормосумішей для великої рогатої худоби і овець включається солома, подрібнена до частинок розміром від 0,001 до 0,050 м в кількості 30–60% по вазі, дроблене зерно із середнім розміром частинок 0,001–0,003 м від 20 до 50%, трав'яне борошно від 10 до 20%, білкові, мінеральні мікро- і макродобавки до 3–5%. Вологість таких кормосумішей на різних етапах обробки коливається від 12% до 20% і більше.

Необхідною умовою вирішення завдань, пов'язаних з тертям, є встановлення області, в якій протікають цілком певні процеси, які обумовлюють ті чи інші види взаємодії контактуючих матеріалів і середовища. Іншими словами «закони тертя» без вказівки меж їх застосування втрачають будь-який сенс. Це положення дуже істотно, особливо в даному випадку екструдювання, тому що тертя в цьому процесі відіграє важливу роль. Це полягає в тому, що маса в процесі обробки змінює свою фізико-хімічну структуру, піддається змінним впливам тиску і температури. Крім того, тертя істотно впливає на продуктивність прес-екструдера, його тепловий режим, на правильний вибір оптимальної геометрії шнека і підбір конструктивних матеріалів для виготовлення шнека і корпусу циліндра.

Ілюстрацією мінливості коефіцієнта тертя при сталості певних факторів, що впливають на зерно, може служити результат наступного досвіду (рис. 1).

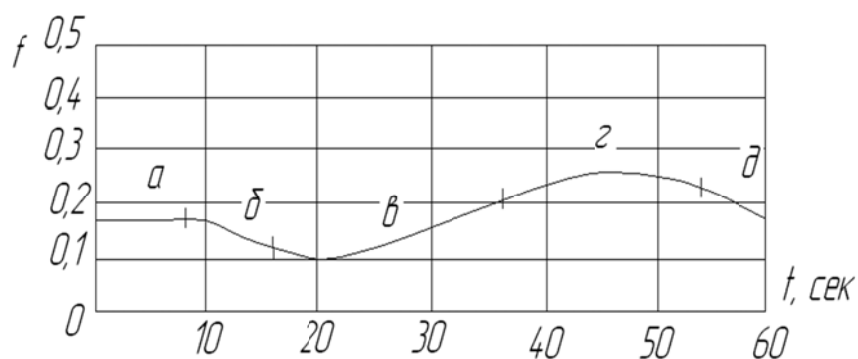


Рис. 1. Залежність сили тертя від часу ковзання по поверхні.

Сила тертя, що виникає при ковзанні зерна ячменю вологістю 15%, при впливі нормального тиску в 3 кПа і швидкості ковзання по сталі, що дорівнює 3 м/с, змінюється в часі таким чином. У перші десять секунд (зона «а») вона майже постійна, але в міру згладжування шорсткості поверхні зерна - падає (зона «б»). Надалі сила тертя збільшується, з огляду на фізико-механічні перетворення на поверхні тертя зерна внаслідок збільшення температури за рахунок тертя матеріалу об поверхню ковзання (зона «в»). Потім сила тертя зменшується (зона «г») і після 53 з дещо вирівнюється (зона «д»).

При дослідженні випробуваного зерна на мікроскопі МІМ-7, виявлено, що з зони «г» поверхню тертя починає ставати склоподібною і в зоні «д» цей процес сповільнюється.

Отже, в кожній із зон в площині тертя протікають процеси цілком певні для кожної з них, але відмінні між собою. Тому і закони тертя в цих зонах різні.

Так як процес екструзії триває не більше 20 секунд, ми обмежилися дослідженням коефіцієнта тертя тільки в зоні «а» вважаючи, що процеси, що відбуваються в площині тертя визначені і постійні. Це дозволяє досягти достовірності в визначенні закономірностей зміни коефіцієнта тертя в залежності від різних факторів. З наведених вище робіт по визначенню коефіцієнта тертя рослинних матеріалів видно, що представлені різними авторами значення коефіцієнта тертя при однакових умовах досвіду різні. Наприклад, значення коефіцієнта тертя зерна коливається від 0,2 до 0,5, а комбікормів від 0,2 до 0,47.

Певною мірою, розбіжності в вищенаведених значеннях коефіцієнта тертя зерна і комбікорми можна пояснити, так як ці речовини анізотропні і різні за своїм хімічним складом навіть в межах одного сорту.

Висновки

Фізико-механічні властивості рослинної маси непостійні в часі і просторі. Вони неоднаково виявляють себе в залежності від параметрів стану: температури, гранулометричного складу, вологості та ін.

У зв'язку з цим врахування всіх фізико-механічних властивостей рослинних матеріалів в аналітичних залежностях ускладнене не тільки через множинність, а й через непостійність їх значень в часі і просторі.

У той же час більшість фізико-механічних властивостей рослинного матеріалу, особливо важливих в процесі пресування, прямо обумовлені вологістю, температурою, масовою часткою компонентів і гранулометричним складом. Вони в переважній мірі

визначають поведінку рослинного матеріалу в процесі стиснення, витримки порції під тиском, при релаксації напружень і в умовах пружного розширення гранул після їх вилучення з камери.

В силу неможливості обліку всіх фізико-механічних властивостей, що впливають на процес гранулювання, необхідно знайти такий стан рослинного матеріалу, при якому з найменшими витратами енергії можна отримати гранули, що задовольняють якісними показниками.

Оптимізацію стану рослинного матеріалу здійснюють за її основними параметрами. Дослідникам процесу гранулювання доводиться рахуватися з вологістю, температурою і довжиною частинок пресованої маси.

Ці параметри значною мірою визначають стан вихідної рослинної маси. Очевидно, існує таке їх поєднання, при якому можуть бути мінімальними енергоємність пресування і крихкість отриманих гранул.

Процес гранулювання складається з декількох послідовних етапів: стиснення, витримки під тиском, зняття тиску, релаксації напружень, витримки без тиску, випресування і пружного розширення гранули після вилучення з камери.

Ефективність всього процесу залежить від ступеня досконалості здійснення кожного етапу. Оцінка стану вихідної рослинної маси по кожному етапу окремо з узагальненням результатів по всьому процесу є найбільш повною. Однак основні витрати енергії припадають на перший етап стиснення порції рослинного матеріалу до необхідної щільності. Отже, оцінку стану вихідної рослинної маси з енергетичних витрат з достатньою достовірністю можна здійснити за питомою роботою стиснення.

Список літератури

1. Захарків Г. 2010: Виробництво рідких біопалив в умовах модельного господарства / Г. Захарків // Мотрол. – Люблін. – 12Б. – Р. 189–193.
2. Таргоня Б. 2010: Визначення залежності виходу біогазу и ступеня біоконверсії органічної речовини від типу и часу ферментації в біотехнологічному процесі метанового зброджування відходів тваринництва / Б. Таргоня // Мотрол. – Люблін. – 12Б. – Р. 86–90.
3. Пуговиця М. 2006: Зелені технології, або як створити еколого-енергетичну безпеку країни / М. Пуговиця // Пропозиція. – № 4. – С. 126–128.
4. Мельничук М. 2006: Тенденции развития био-енергетики в Украине / М. Мельничук, В. Таргоня, Г. Гелетуха // Зерно. – Іюнь. – С. 84–87.
5. Жовмир Н. 2007: Солома обогрее села / Н. Жовмир, Е. Олейник, С. Чаплыгин // Агро-сектор. – № 5 – С. 28–30.
6. Кукта Г. Машины и оборудование для приготовления кормов / Г. Кукта. – М.: Агропромиздат, 1987. – 303 с.: ил.
7. Кулаковский И. Машины и оборудование для приготовления кормов : Справочник в 2 частях 4 1: / И. Кулаковский, Ф. Кирпичников, Е. Резник. – М.: Росагропромиздат, 1987. – 289 с.: ил.

8. *Макаров Е.* Определение параметров процесса экструзии кормов и разработка методики расчета пресс-экструдера : дис... к.т.н. – М., 1985. – 190 с.
9. *Новиков В.* Исследование рабочего процесса и обоснования параметров пресс-экструдера для приготовления карбамидного концентрата : дис... к.т.н. – Саратов: СИМСХ, 1981. – 157 с.
10. *Машины и аппараты для пищевых производств / В 2 кн. 1 : учеб. для вузов / С. Антипов, И. Кретов, А. Остриков и др. ; под ред. акад. РАСХН В. Панфилова.* – М.: Высшая школа, 2001. – 703 с.: ил.
11. *Методика (основные положения) определения экономической эффективности использования в народном хозяйстве новой техники, изобретений и рационализаторских предложений.* – М.: ВНИИПИ, 1986. – 56 с.
12. *Лихачев Ф.* Исследование физико-механических свойств брикетируемых кормов / *Ф. Лихачев // Записки ЛСХИ.* – Т. 311. – 1976. – С. 15–25.
13. *Симанович Б.* Исследование и обоснование параметров шнековых дозаторов для раздачи комбикормов на молочно-товарных фермах КРС : Автореферат на соискание ученой степени к.т.н. – Минск, 1975. – 26 с.
14. *Мельников С.* Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов / *С. Мельников, В. Алешкин, П. Рошхин.* – Л.: Колос, 1980. – 168 с.
15. *Ханин В.* Ресурсосберегающий процесс экструзионной обработки зернового сырья : Дис... к.т.н. – Оренбург, 1999. – 142 с.
16. *Егоров В.* Методы и приборы для определения коэффициента сопротивления сдвигу и коэффициента внутреннего трения зерновых продуктов / *В. Егоров // Труды ВНИИЗ.* – Вып. 79. – 1974. – С. 46–48.
17. *Гриб В.* Определение коэффициента трения комбикормов / *В. Гриб // Научные труды БИМСХ.* – Вып. 14. – 1970. – С. 14–16.
18. *Корма / Справочная книга под ред. М. Сурыгина.* – М.: Колос, 1977. – 368 с.
19. *Челышев С.* Коэффициенты трения комбикормов при режимах процесса гранулирования / *С. Челышев // Труды Горк. с.-х. ин-та.* – 1974. – Т. 30. – С. 132.
20. *Мельников С.* Механизация и автоматизация животноводческих ферм / *С. Мельников.* – Л.: Колос, 1978. – 560 с.

References

1. *Zakharkiv, H.* (2010). Vyrobnyt-stvo ridkykh biopalyv v umovakh model'noho hospodarstva [The production of liquid biofuels in terms of model farms]. Motrol. Lyublin, 12B, 189–193.
2. *Tarhonya, B.* (2010). Vyznachennya zalezhnosti vykhodu biohazu y stupenya biokonversiyi orhanichnoyi rehovyny vid typu y chasu fermentatsiyi v biotekhnolohichnomu protsesi metanovoho zbrodzhuvannya vidkhodiv tvarynnystva [The estimation of the biogas yield and the degree of bioconversion of organic substances by the type and time of fermentation in biotechnological process of methane fermentation of animal waste]. Motrol. Lyublin, 12B, 86–90.
3. *Puhovytsya, M.* (2006). Zeleni tekhnolohiyi, abo yak stvoryty ekoloho-enerhetychnu bezpeku krayiny [Green technology, or how to create environmental and energy security of the country]. Offer, 4, 126–128.
4. *Mel'nychuk, M., Tarhonya, V., Heletukha, H.* (2006). Tendentsyy razvytyya byo-enerhetyky v Ukrainy [Trends of bioenergy development in Ukraine]. Grain, Yyun', 84–87.
5. *Zhovmyr, N., Oleynyk, E., Chaplyhyn, S.* (2007). Soloma obohreet sela [Straw will warm the village]. Agro-sector, № 5, 28–30.

6. *Kukta, H.* (1987). Mashyny y oborudovanye dlya pryhotovlenyya kormov [Machines and equipment for preparation of feed]. M.: Ahropromyzzdat, 303, yl.
7. *Kulakovskyy, Y., Kyrpychnykov, F., Reznik, E.* (1987). Mashyny y oborudovanye dlya pryhotovlenyya kormov : Spravochnyk v 2 chastyax 4 1: [Machines and equipment for preparation of feed : Reference book in 2 parts 4 1]. M.: Rosahrompromyzzdat, 289. yl.
8. *Makarov, E.* (1985). Opredelenye parametrov protsessa ekstruzyy kormov y razrabotka metodyky rasscheta press-ekstrudera [Determination of the parameters of the extrusion process feeds the development of the methodology calculation of the press-extruder] : dys... k.t.n. M., 190.
9. *Novykov, V.* (1981). Issledovanye rabocheho protsessa y obosnovanyya parametrov press-ekstrudera dlya pryhotovlenyya karbamidnoho kontsentrata [The study process and study parameters press-extruder for the preparation of carbamide concentrate] : dys... k.t.n. Saratov: SYMSX, 157.
10. *Antypov, S., Kretov, Y., Ostrykov, A.* (2001). *Mashyny y apparaty dlya pyshchevyx proyzvodstv* [Machines and apparatus for food production] / V 2 kn. 1 : ucheb. dlya vuzov y dr. ; pod red. V. Panfylova. M.: Vysshaya shkola, 703.
11. *Metodyka* (1986) (osnovnye polozhenyya) opredelenyya ekonomycheskoy efektyvnosti yspol'zovanyya v narodnom hozyaystve novoy texnyky, yzobretenyy y ratsyonalizatorskyx predlozhenyy [Methodology (basic provisions) of the definition of economic efficiency of use in the national economy of new equipment, inventions and innovations]. M.: VNYYPY, 56.
12. *Lyxachev, F.* (1976). Issledovanye fyzyko-mexanycheskyx svoystv bryketyruemyx kormov [The study of physical and mechanical properties of briquetted feed]. Zapysky LSXY, T. 311, 15–25.
13. *Symanovych, B.* (1975). Yssledovanye y obosnovanye parametrov shnekovyx dozatorov dlya razdachy kombykormov na molochno-tovarnyx fermax KRS [Research and substantiation of parameters of the screw dispensers for dispensing animal feed on dairy farms cattle] : Avtoreferat na soyskanye uchenoy stepeny k.t.n. Mynsk, 26.
14. *Mel'nykov, S., Aleshkyn, V., Roshkhyn, P.* (1980). Planyrovanye eksperymenta v yssledovanyyax sel'skoxozyaystvennyx protsessov [Experiment planning in researches of agricultural processes]. L.: Kolos, 168.
15. *Xanyn, V.* (1999). Resursosberehayushchyy protsess ekstruzyonnoy obrabotky zernovoho syrya [Sustainable process extrusions processing of grain raw material] : Dys... k.t.n. Orenburh, 142.
16. *Ehorov, V.* (1974). Metody y prybory dlya opredelenyya koeffytsyenta soprotyvlenyya sdvyhu y koeffytsyenta vnutrenneho trenyya zernovyx produktov [Methods and devices for the determination of the shear resistance and coefficient of internal friction of grain products]. Trudy VNYYZ, Vyp. 79, 46–48.
17. *Hryb, V.* (1970). Opredelenye koeffytsyenta trenyya kombykormov [Determination of coefficient of friction of feed]. Nauchnye trudy BYMSX, Vyp. 14, 14–16.
18. *Korma* (1977). [Feed] / Spravochnaya pod red. M. Suryhyna, M.: Kolos, 368.
19. *Chelyshev, S.* (1974). Koeffytsyenty trenyya kombykormov pry rezhymax protsessa hranulyrovanyya [The coefficients of friction of feed in the modes of pelletizing process]. Trudy Hork. s.-x. yn-ta, T. 30, 132.
20. *Mel'nykov, S.* (1978). Mexanyzatsyya y avtomatyzatsyya zhyvotnovodcheskyx ferm [Mechanization and automation of livestock farms]. L.: Kolos, 560.

АНАЛИЗ ИССЛЕДОВАНИЙ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛА, ПРЕССУЕТСЯ

В. Н. Зубко, С. П. Соколик, В. В. Чуба

Аннотация. В статье выполнен анализ исследований физико-механических свойств растительных материалов, как сырья для получения топливных брикетов. Исследовано влияние данных свойств на параметры и режимы работы оборудования для формирования гранул и брикетов.

Величина производительности процесса продвижения смеси в цилиндре пресс-экструдера в большой степени зависит от сил трения, возникающих между материалом, поверхностью цилиндра и шнека. При этом значение коэффициента трения смеси по цилиндру должно превышать величину трения смеси по шнеку, что также подтверждается и на практике.

Физико-механические свойства растительной массы непостоянны во времени и пространстве. Они неодинаково проявляют себя в зависимости от параметров состояния: температуры, гранулометрического состава, влажности и др.

В связи с этим учет всех физико-механических свойств растительных материалов в аналитических зависимостях затруднено не только множественностью, но и через непостоянство их значений во времени и пространстве.

Большинство физико-механических свойств растительного материала прямо обусловлены влажностью, температурой, массовой долей компонентов и гранулометрическим составом. Необходимо найти такое состояние растительного материала, при котором с наименьшими затратами энергии можно получить гранулы, которые удовлетворяют качественным показателям. Исследователям процесса гранулирования приходится считаться с влажностью, температурой и длиной частиц прессуемой массы. Существует такое их сочетание, при котором могут быть минимальными энергоёмкость прессования и хрупкость полученных гранул.

Процесс гранулирования состоит из нескольких последовательных этапов: сжатия, выдержки под давлением, снятие давления, релаксации напряжений, выдержки без давления, выпрессування и упругого расширения гранулы после извлечения из камеры. Основные затраты энергии приходятся на первый этап сжатия порции растительного материала до требуемой плотности. Следовательно, оценку состояния исходной растительной массы из энергетических затрат с достаточной достоверностью можно произвести по удельной работе сжатия.

Ключевые слова: *гранула, брикет, прессование, физико-механические свойства, растительная масса, коэффициент трения*

ANALYSIS OF RESEARCHES OF PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF MATERIAL ARE PRESSED

V. N. Zubko, S. P. Sokolik, V. V. Chuba

Abstract. *The paper analyzes the research of physical and mechanical properties of plant materials, which are the raw material for production of fuel briquettes. The effect of these properties on the parameters and modes of operation of the equipment.*

Process performance size promote mixture in the cylinder of the extruder press heavily depends on the frictional forces generated between the material and the surface of the screw cylinder. The value of the coefficient of friction of the mixture in the cylinder must be greater than the friction mixture screw, which is also confirmed in practice.

Physical and mechanical properties of the plant mass are unstable in time and space. They manifest themselves differently depending on state parameters of temperature, size distribution, moisture content etc.

In this regard, a record of all the physical and mechanical properties of the plant material in the analytic dependency difficult not only because of the multiplicity, but also from the variability of their values in time and space.

Most of the physical and mechanical properties of plant material directly caused by humidity, temperature, mass fraction of components and size distribution. It is necessary to find a state of the plant material, in which the lowest energy consumption possible to obtain pellets satisfying quality indicators. Researchers granulation process to be reckoned with humidity, temperature and length of the compressed mass of particles. There is a combination in which the energy consumption can be minimized brittleness and pressing the resulting granules.

The process of granulation consists of several stages: compression, holding pressure, removing the pressure, the stress relaxation exposure without pressure, removing and elastic expansion of the granules after removal from chamber. Basic energy costs accounted for the first stage of compression portion of plant material to required density. So, the initial assessment of plant mass on energy costs with reasonable certainty can be achieved for a specific work of compression.

Key words: *granule, cake, pressing, physical and mechanical properties, plant mass, coefficient of friction*