

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПРОЕКТУВАННЯ ВИСОКОПРОДУКТИВНОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ КОМПАКТУВАННЯ БІОМАСИ

Представлені основні принципи і методика побудови математичної моделі процесів механічної обробки дисперсних матеріалів. Розглянуто приклад практичного використання розробленої моделі в технології компактування біомаси екструзією при виробництві паливних гранул. Згідно розробленої методики створена математична модель процесу компактування дисперсних матеріалів екструзією і на її основі запропоновано новий підхід до проектування вузла пресування гранулятора, досліджено вплив технологічних факторів і конструктивних параметрів вузла пресування гранулятора на закономірності процесу пресування екструзією.

Ключові слова: інформаційна технологія проектування, математичне моделювання, дисперсні матеріали, гранулювання, паливні гранули.

Постановка проблеми в загальному виді і її зв'язок з важливими науковими й практичними завданнями. Останнім часом у харчовій і переробній промисловості, виникла проблема по раціональному використанню відходів виробництва, таких, як лузга соняшника, солома, пивна дробина, деревна стружка тощо. Як правило, такі матеріали використовуються як біопаливо, комбікорм і т.п. Але, з огляду на невелику насипну густину таких матеріалів, транспортування їх є економічно не вигідним. Це обумовлює збільшення насипної густини цих матеріалів за рахунок пресування (брикетування, тюкування, гранулювання та ін.). Виходячи з аналізу різних технологій пресування, процес гранулювання - найбільш раціональний, оскільки реалізується в безперервному режимі, дозволяє одержати вироби найбільшої густини, а також забезпечує універсальність подальшого використання гранул (біопаливо, комбікорм із різною фракцією). Гранульовані матеріали в порівнянні з насипними мають більшу стійкість при зберіганні, мають кращу однорідність суміші, краще зберігають вітаміни та мікроелементи, менше підпадають під вплив навколишнього середовища й займають в 2-3 рази менший об'єм. Інтенсифікація процесів ущільнення дисперсних матеріалів, що особливо помітна останнім часом при виробництві твердого біопалива, обумовлює усе більш жорсткі вимоги до показників ефективності роботи основних технологічних систем. Тому при проектуванні такого обладнання необхідне визначення взаємозв'язку між конструктивними (розміри робочих зон машин, форма й швидкості руху робочих органів і т.п.) і технологічними (продуктивність машини, тиск, температура, фізико-механічні характеристики оброблюваного матеріалу й т.п.) параметрами. Традиційний підхід до проектування такого типу обладнання заснований на емпіричних залежностях і експериментальному досвіді [1] і не дозволяє дати кількісну оцінку взаємовпливу конструктивно-технологічних параметрів процесів обробки та структурно-механічних характеристик сировини. Тому задача по використанню сучасних методів математичного моделювання, застосована для процесу гранулювання дисперсних матеріалів екструзією, є актуальною.

Аналіз останніх досліджень в області гранулювання дисперсних матеріалів свідчить, що для ефективного проектування відповідного технологічного обладнання необхідно враховувати структурно-механічні особливості оброблюваних матеріалів і, у першу чергу, такі їх реологічні властивості, як пружність, пластичність, в'язкість. У роботах [2,3] представлено принципи побудови математичної

моделі процесу гранулювання дисперсних матеріалів екструзією. Для підвищення ефективності практичного використання даної математичної моделі необхідно подальше її вдосконалювання, спрямоване на можливість врахування максимальної кількості конструктивно-технологічних параметрів. З огляду на широку номенклатуру типів сировини, при визначенні конструктивних характеристик відповідного обладнання виникає задача знаходження взаємозв'язку між основними конструктивно-технологічними параметрами конкретного вузла пресування.

Метою даної роботи є розробка інформаційної технології проектування (ІТП) обладнання для обробки дисперсних матеріалів екструзією та використання розробленої ІТП при проектуванні вузла пресування гранулятора в технології гранулювання біомаси при виробництві паливних гранул.

Представлено ІТП типу [2]: “математична модель - інтелектуальна експертна система – система автоматизованого проектування”, яку схематично представимо на рис.1. ІТП розглядає технологічний процес екструзії у вигляді мультикомпонентної системи взаємозв'язаних об'єктів досліджень: сировинної маси, елементів технологічного обладнання, механічного навантаження та ін.



Рис. 1. Схема інформаційної технології проектування обладнання для компактування екструзією

При розгляданні конкретної переробної технології використовується концепція представлення дисперсних мас як двохфазних сумішей пористої або зернистої твердої деформованої структури з рідиною або газом. Для опису поведінки дисперсної маси використані поняття напружень, деформацій, щільності, а також швидкості зміни цих параметрів.

В основу аналітичної моделі покладено рівняння збереження кількості руху в макрокоординатах для:

а) твердої фази

$$\frac{\partial}{\partial t}(\alpha_1 \rho_1 \mathbf{u}) + \text{grad}(\alpha_1 \rho_1 \mathbf{u} \times \mathbf{u}) - \text{grad}(\alpha_1 \boldsymbol{\sigma}) - \mathbf{F}_1 - \mathbf{F}^{(1)} = 0 ; \quad (1)$$

б) газорідкої фази

$$\frac{\partial}{\partial t}(\alpha_2 \rho_2 \mathbf{v}) + \text{grad}(\alpha_2 \rho_2 \mathbf{v} \times \mathbf{v}) - \text{grad}(\alpha_2 \mathbf{P}) - \mathbf{F}_2 + \mathbf{F}^{(2)} = 0 , \quad (2)$$

де α_1, α_2 – об'ємні вмісти відповідно твердої та газорідкої фаз; ρ_1, ρ_2 – відповідні середні густини фаз; $\mathbf{u}, \mathbf{v}$ – вектори середньої швидкості зміщення відповідно твердих часток і рідини; $\mathbf{P}$ – гідростатичний тиск у газорідкій фазі; $\mathbf{F}_1, \mathbf{F}_2$ – вектори об'ємних сил відповідно у твердій і рідкій фазах; $\boldsymbol{\sigma}$ – тензор напружень у твердій фазі; $\mathbf{F}^{(1)}, \mathbf{F}^{(2)}$ – сили міжфазної взаємодії. Внаслідок рівності $\mathbf{Pn} = -\boldsymbol{\sigma n}$, в точках внутрішніх поверхонь поділу газорідкої і твердої фаз ($\mathbf{n}$ – вектор нормалі до поверхні розділу) виконується умова:

$$\mathbf{F}^{(2)} = \mathbf{F}^{(1)} = \mathbf{F}^0 \quad (3)$$

Формальне складання рівнянь (1) і (2) описує, очевидно, збереження кількості руху у всіх макроточках дисперсного середовища:

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial t}(\alpha_1 \rho_1 \mathbf{u} + \alpha_2 \rho_2 \mathbf{v}) + \text{grad}(\alpha_1 \rho_1 \mathbf{u} \times \mathbf{u} + \alpha_2 \rho_2 \mathbf{v} \times \mathbf{v}) - \\ & - \text{grad}(\alpha_1 \boldsymbol{\sigma} + \alpha_2 \mathbf{P}) - \alpha_2 \mu \nabla^2 \mathbf{v} - \mathbf{F}_1 - \mathbf{F}_2 = 0 \end{aligned} \quad (4)$$

Однак у практичних розрахунках зручніше розглядати баланси рівняння кількості руху окремо – у формах рівнянь відносного руху газорідкої і твердої фаз.

Якщо задати силу міжфазної взаємодії у формі

$$\mathbf{F}^0 = \mathbf{F}^{(1)} = \mathbf{F}^{(2)} = \mathbf{R} + \mathbf{P} \text{grad} \alpha_2 \quad (5)$$

і врахувати, що $\alpha_1 = 1 - \alpha_2$, то рівняння відносного руху твердої фази набуде вигляду

$$\alpha_1 \left(\rho_1 \frac{d\mathbf{u}}{dt} - \rho_2 \frac{d\mathbf{v}}{dt} \right) - \text{grad} \boldsymbol{\sigma}^f - \frac{\mathbf{R}}{\alpha_2} - \alpha_1 (\rho_1 - \rho_2) \mathbf{G} = 0 , \quad (6)$$

де $\mathbf{R} = \frac{\mu}{a^2} \alpha_1 \alpha_2 (\mathbf{v} - \mathbf{u})$ – ефективна сила в'язкого опору; μ коефіцієнт в'язкості рідкої фази; a – коефіцієнт міжфазного тертя.

Рівняння відносного руху рідкої фази можна зобразити у формі

$$\rho_2 \frac{d\mathbf{v}}{dt} = -\text{grad} \mathbf{P} - \frac{\mathbf{R}}{\alpha_2} + \rho_2 \mathbf{G} , \quad (7)$$

де $\mathbf{G}$ – вектор прискорення вільного падіння.

Зазначимо, що для процесів, які проходять повільно, (немає інерційних ефектів:

$\rho_2 \frac{d\mathbf{v}}{dt} = 0; \rho_2 \mathbf{G} = 0$), рівняння (7) відображає закон фільтрації в ізотропному пористому середовищі:

$$\mathbf{v} - \mathbf{u} = -\frac{a^2}{\mu \alpha_1} \text{grad} \mathbf{P} \quad (8)$$

Як показують експериментальні дослідження, при невеликих градієнтах тиску або швидкостях фільтрації виконується лінійний закон Дарсі:

$$\mathbf{v} - \mathbf{u} = -\frac{k^p}{\alpha_1} \text{grad} \mathbf{P} , \quad (9)$$

де k^p – коефіцієнт проникності середовища.

Щоб замкнути отриману систему рівнянь (1) – (9), треба сформулювати режим деформування твердої фази (визначальні співвідношення) та відповідні режими просторово-часової зміни граничних умов. Визначальні співвідношення приймаємо в рамках реологічної моделі пружно-в'язко-пластичного тіла. При цьому врахування деформування рідкої фази здійснюємо завданням кінетики зміни об'ємних вмістів фаз, зумовлених фільтраційний механізмом (7).

Алгоритмічна модель складається із наступних основних частин:

- розв'язок сформульованої задачі оснований на принципі розкріплення проекційно-сітковими методами: скінчених елементів по просторовим змінним та скінчених різниць за часовим аргументом.
- обчислювальні алгоритми, які реалізують найбільш типові реологічні процеси екструзії дисперсних систем.

Розроблені алгоритми реалізовані у вигляді програмного обчислювального комплексу “PLAST-GRN” (цифрова модель) [4]. Програмний комплекс призначений для моделювання нерівноважних процесів деформування дисперсних двофазних структур при заданому технологічному режимі їх оброблення.

У межах розробленої ІТП розглянуто процес гранулювання дисперсних мас екструзією з метою виробництва паливних гранул [5].

Основний вплив на процес гранулювання має конструкція гранулятора (особливо профіль отворів у матриці вузла гранулювання) [6,7] і реологія речовини [8,9], що гранулюється.

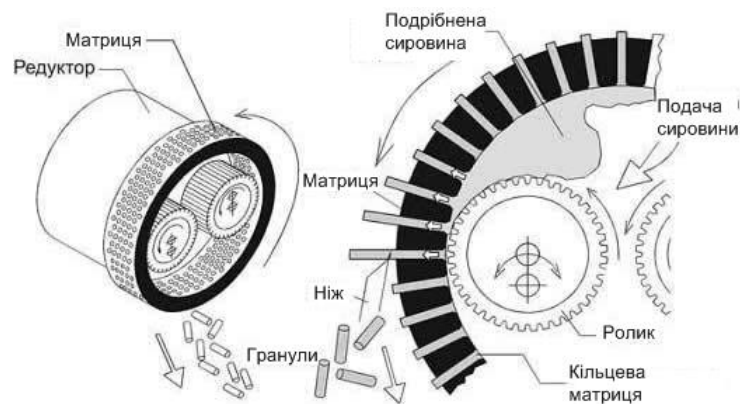


Рис. 2. Вузол пресування гранулятора з кільцевою матрицею.

Розглянуто одну з типових конструктивних схем гранулювання екструзією, у якій пресуючий ролик розташований всередині кільцевої матриці (рис. 2.)

Для прийнятої конструктивної схеми гранулятора можна виділити наступні основні параметри, які визначають протікання процесу: геометричні розміри роликів і матриці, геометричні розміри отворів у матриці, шорсткість поверхні отворів, частота обертання матриці гранулятора, тиск при екструзії крізь отвір, реологічні властивості сировини, продуктивність і якість готової продукції.

Ключова технологічна операція, що відбувається в пресуючому вузлі гранулятора – це операція гранулювання екструзією сировини через отвори в матриці. На рис. 4. представлені розрахункові схеми процесу гранулювання екструзією.

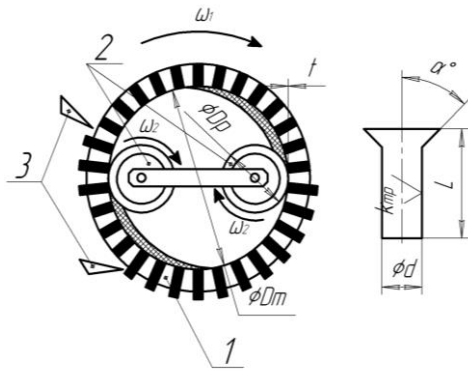


Рис. 3. Схема роботи вузла пресування (1- кільцева матриця с отворами; 2- ролик; 3- ніж)

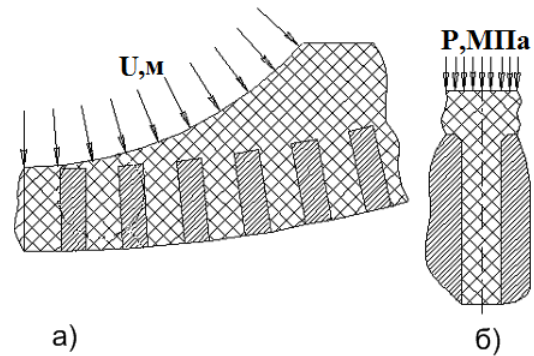


Рис. 4. Розрахункові схеми процесу гранулювання екструзією.

Розрахункова схема, що представлена на рис. 4. (а) відображає частину матриці гранулятора з отворами, де відбувається нагнітання сировини пресуючим роликом. Схема враховує геометрію як матриці гранулятора (її діаметр, та відстань між отворами) так і діаметр пресуючого ролика і відстань (зазор) між матрицею гранулятора та пресуючим роликом.

Друга розрахункова схема рис. 4. (б) – канал в матриці гранулятора. В схемі враховано геометричні розміри каналу: довжину, діаметр, величину фаски. Використання цих розрахункових схем дозволяє дослідити процеси які відбуваються безпосередньо під час екструдювання сировини у різних отворах матриці гранулятора з метою визначення отвору з найбільшою інтенсивністю пресування сировини.

Результати обчислювальних експериментів дозволили отримати діаграми розподілення переміщень по осі Y та X. Аналіз результатів дозволяє виділити отвір де рух матеріалу відбувається з максимальною швидкістю (отвір 3, рис. 5.).

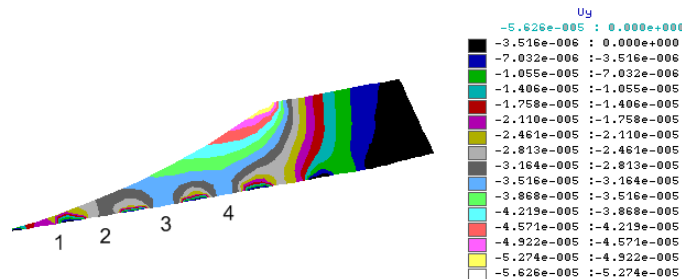


Рис. 5. Діаграма розподілу переміщень по осі Y.

Діаграма розподілу тиску дає можливість визначити тиски нагнітання сировини у отвори матриці. Таким чином, результати отримані при обчисленні тисків нагнітання використані при побудові наступної моделі (розрахункова схема рис. 4.б).

В даному випадку нас цікавить поведінка сировини в отворі матриці, що дасть можливість визначити залежності між геометрією отворів і поведінкою сировини при гранулюванні.

Приклад отриманих результатів чисельного моделювання процесу екструзії матеріалу скрізь отвори матриці представлений на рис.6.

Базуючись на отриманих даних, як приклад, побудовано графіки залежності густини гранул від основних конструктивно-технологічних параметрів вузла пресування гранулятора при різних тисках пресування. Так для лушпиння соняшника маємо залежності, що наведені на рис.7.

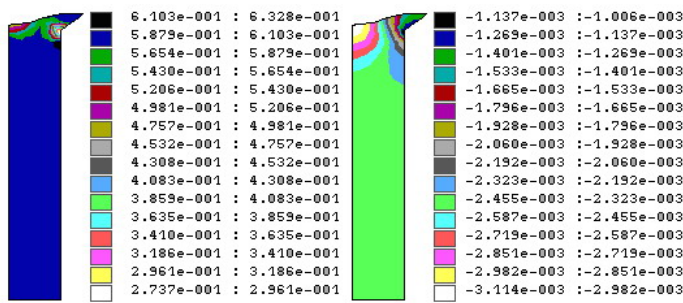


Рис.6. Розподілення а) переміщень (м) та б) пористості в об'ємі дисперсного матеріалу.

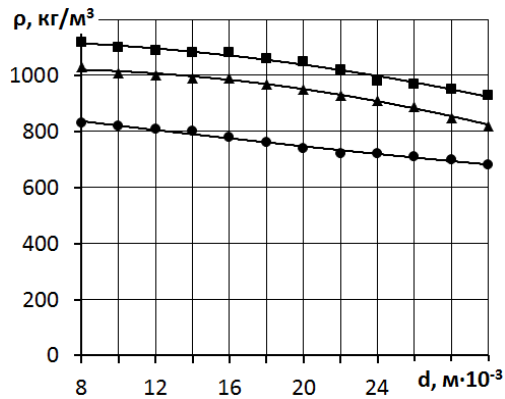


Рис.7.а. Залежність густини гранули ρ від діаметру d отвору: ● - 50МПа, ■ - 100МПа, ▲ - 150МПа

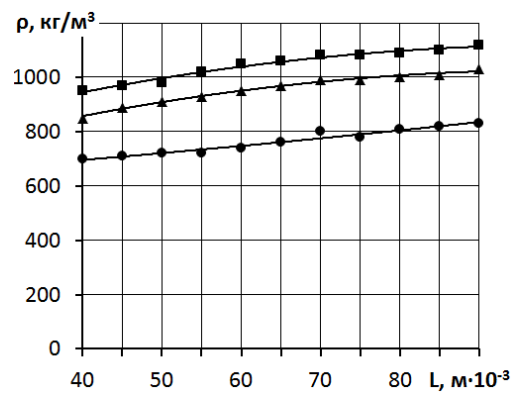


Рис.7.б. Залежність густини гранули ρ від довжини L отвору матриці: ● - 50МПа, ■ - 100МПа, ▲ - 150МПа

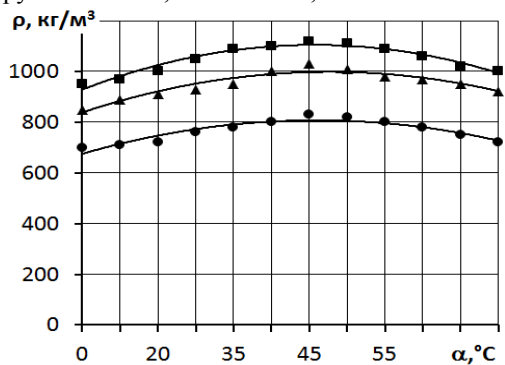


Рис.7.в. Залежність густини гранули ρ від кута α отвору матриці: ● - 50МПа, ■ - 100МПа, ▲ - 150МПа

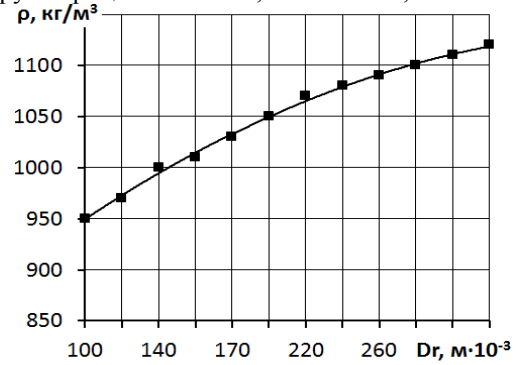


Рис.7.г. Залежність густини гранули ρ від діаметра D_r ролика: ● - 50МПа, ■ - 100МПа, ▲ - 150МПа

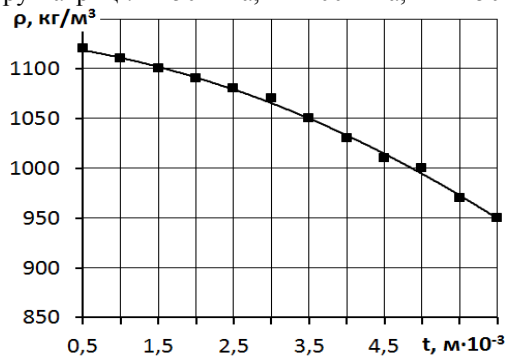


Рис.7.д. Залежність густини гранули ρ від величини зазору t між роликом та матрицею

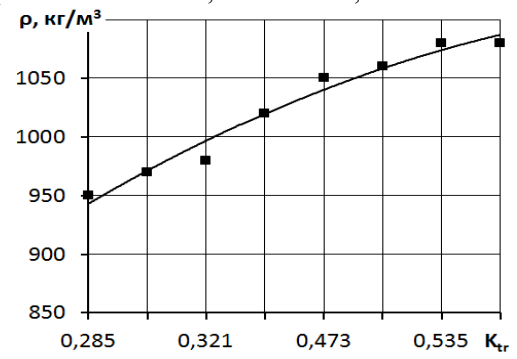


Рис.7.е. Залежність густини гранули ρ від коефіцієнта тертя між ДМ та матрицею

Висновки: Розроблено математичну модель, яка дозволяє визначити взаємозалежності між основними конструктивно-технологічними параметрами прес-гранулятора з урахуванням структурно-механічних параметрів сировини. Отримані результати доцільно використати як рекомендації при проектуванні грануляційного обладнання.

Список використаної літератури:

1. Штефан Є.В. Моделирование поведения дисперсных систем у неравноважных процессах харчових виробництв//Наукові праці УДУХТ,2000,- № 8, с.63-66.
2. Штефан Є.В. Информационная технология проектирования технологического оборудования для механической обработки дисперсных материалов// Межд.период.сб. науч.тр. «Обработка дисперсных материалов и сред. Теория, исследования, технологии, оборудование».Выпуск №12.-Одесса: НПО «ВОТУМ», 2002.- с.72-78.
3. Штефан Е.В., Блаженко С.И. Построение аналитической модели процессов деформирования дисперсных материалов // Межд.период.сб. науч. тр. Обработка дисперсных материалов и сред. Теория, исследования, технология, оборудование. Выпуск №13.-Одесса: НПО «ВОТУМ», 2003.-с.26-33.
4. Риндюк Д.В., Штефан Є.В. Розробка метода визначення оптимальних конструктивно-технологічних параметрів преса-гранулятора // Наукові праці Одеської національної академії харчових технологій / Міністерство освіти і науки України.-Одеса: 2006.-Вип.28.-Т.2, с.202-205.
5. Патент на корисну модель № 30058 МПК(2006), B01J2/00 Спосіб визначення оптимальних конструктивно-технологічних параметрів преса-гранулятора //Штефан Є.В., Риндюк Д.В., зареєстровано 11.02.2008.
6. Штефан Є.В., Заєць Ю.О., Риндюк Д.В. Визначення конструктивно-технологічних параметрів процесів переробки харчових матеріалів холодною екструзією/ Комбікормова промисловість України. №5(18),2006,с.16-20.
7. Штефан Є.В., Риндюк Д.В. Використання методів математичного моделювання для проектування вузлів преса-гранулятора, “Механіка та інформатика” Збірник наукових праць молодих вчених, Хмельницький ,ХНУ 2005 -С.172-175.
8. Валентас К.Д. Пищевая инженерия: справочник с примерами расчетов: Пер.с англ./К.Д. Валентас, С. Ротштейн, Р.П. Сингх. – С.Пб.: Профессия, 2004.-848с.
9. Фенгел Д., Вегенер Г. Древесина : Перевод с английского А.В. Оболенской и З.П. Ельницкой. Под редакцией доктора технических наук, профессора А.А. Леоновича, МОСКВА "ЛЕСНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ", 1988.-540с.

Стаття надійшла до редакції 5.06.13

Информационная технология проектирования высокопродуктивного оборудования для компактирования биомассы

Штефан Е. В., Риндюк Д. В., Блаженко С. И.

Национальный университет пищевых технологий, Киев, Украина.

Представлены основные принципы и методика построения математической модели процессов механической обработки дисперсных материалов. Рассмотрен пример практического использования разработанной модели в технологии гранулирования биомассы при производстве топливных гранул.

Ключевые слова: информационная технология проектирования, математическое моделирование, дисперсные материалы, гранулирование, топливные гранулы.

Information technologies of design highly productive equipment for the compacting of biomass

Shtefan E., Ryndyuk D., Blazhenko S.

National University of Food Technologies, Kiev, Ukraine.

The main principles and technique of mathematical model construction of disperse materials processes of machining are presented. The example of developed model practical using in pelletizing biomass technology by manufacture of fuel granules is considered.

Key words: granulation process optimization, mathematical modeling, extrusion, disperse materials