

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
ВП НУБІП УКРАЇНИ «НІЖИНСЬКИЙ АГРОТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»**



АГРАРНА НАУКА ТА ОСВІТА В ХХІ СТОЛЛІТІ: ПРОБЛЕМИ, ПЕРСПЕКТИВИ ТА ІНОВАЦІЇ

ЗБІРНИК НАУКОВИХ-ПРАЦЬ

ВИПУСК №9



**Ніжин,
17-18 травня 2018 року**

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
ВП НУБІП УКРАЇНИ «НІЖИНСЬКИЙ АГРОТЕХНІЧНИЙ
ІНСТИТУТ»**

**АГРАРНА НАУКА ТА ОСВІТА В
XXI СТОЛІТТІ: ПРОБЛЕМИ,
ПЕРСПЕКТИВИ ТА ІННОВАЦІЇ**

ЗБІРНИК НАУКОВИХ-ПРАЦЬ

ВИПУСК №9

(17-18 ТРАВНЯ 2018 РОКУ М. НІЖИН)

**Ніжин
2018**

УДК 64; 65
ББК 31; 41.3; 42.2
Я432

Друкується за рішенням Вченої ради ВП НУБіП України «Ніжинський агротехнічний інститут» від 16.06.2018 протокол № 11

До збірника включені праці науково-педагогічних працівників, наукових співробітників, аспірантів, магістрів та студентів Ніжинського агротехнічного інституту, Національного університету біоресурсів і природокористування України, наукових установ НААН України, навчальних закладів України, у яких наведені результати конструкторських, теоретичних, експериментальних досліджень машин та засобів для механізації і автоматизації агропромислового виробництва, нових технологій у тваринництві, енергетиці, природокористування та підготовці фахівців для АПК. Також у збірнику представлені матеріали тези доповідей Міжнародної науково-практичної конференції «Аграрна наука та освіта в XXI столітті: проблеми, перспективи та інновації», що відбулась 17-18 травня 2018 року у ВП НУБіП України «Ніжинський агротехнічний інститут».

Редакційна комісія: В.С. Лукач (науковий редактор); І.О. Демчук (заступник наукового редактора); А.Г. Кушніренко; С.Г. Фришев; М.І. Ікальчик; О.І. Литвинов; І.І. Махмудов.

Аграрна наука та освіта в XXI столітті: проблеми, перспективи та інновації
Я432 України: Зб. наукових-праць(17-18 травня 2018 року, м.Ніжин) / За наук. Ред. В.С. Лукача [та ін.].—Ніжин, 2018—376с.

Відповідальність за інформацію, подану в науковому дослідженні, несуть автори статей.

© ВП НУБіП України
«Ніжинський агро-технічний інститут»
© автори статей

Зміст

СЕКЦІЯ 1.

Наука і освіта у розвитку сучасного сільського господарства	6
Valerii Havrysh, Antonina V. Kalinichenko	
Impact of biofuels utilization on energy security of Ukraine	7
Ачкевич О.М., Ачкевич В.І.	
Аналіз патентних рішень конструкцій колектора доїльного апарата з покращеними режим транспортування молокоповітряної суміші	14
Бондарєва Л.М., Тихонова О.М., Бондарєв М.А.	
Популяційний фітотомоніторинг стану природних кормових угідь за умов випасання та сінокошіння	17
Василенко М. О., Шаповал Л. І., Соколенко О. М.	
Використання стратегії адаптивного технічного обслуговування і ремонту енергонасиченої техніки для призначення термінів обслуговуючих робіт	23
Грабовецький О.І., Хуторна С.В, Ікальчик Н.М.	
Правове становище фермерського господарства в Україні	31
Денисенко М.І., Дев'ятко О.С.	
Порошкові металокерамічні матеріали для зміцнення поверхонь тертя робочих органів сільськогосподарських машин	35
Денисенко М.І., Дев'ятко О.С.	
Підвищення ефективності приготування кормосумішей шляхом розробки енергозберігаючих технологій і засобів механізації	41
Дудяк І.Д., Білоус А.М., Чуй Д.В.	
Вплив мінеральних добрив на врожайність і якість зерна пшениці озимої	47
Іванов Є.К., Махмудов І.І.	
Розумне сільське господарство: використання bigdata в агросекторі	52
Кобець О.М., Петренко Ю.О.	
Обґрунтування параметрів віброкопача бульбоплодів	59
Козаченко Н.В., Фурса В.Д.	
Технологічні параметри молоткових дробарок і фізико-механічні властивості кормових матеріалів та їх вплив на процес подрібнення	63
Литвинов О.І., Лукач В.С., Махмудов І.І.	
З'ясування причин відмов техніки і методи підвищення її надійності	68
Майстренко В.І., Теслюк В.В., Ікальчик М.І.	
Взаємодія робочих органів дискових борін з ґрунтом	78
Макаренко В.Д., Пабат В.О., Литвинов О.І.	
Дослідження корозійних пошкоджень випарних апаратів аграрнопереробного виробництва	80
Марченко Д.Д.	
Технології розвитку творчого потенціалу особистості як проблема сучасної освіти	90
Махмудов І.І., Степаненко С.П., Шумейко В.Ф.	
Сучасні технології зберігання зерна	96
Махмудов І.І., Єлизаров І.Ю. Мнацаканян І.К., Боровик Б.С.	
Системи технічного обслуговування ремонту машин і устаткування в тваринництві	108
Махмудов І.І., Татаренко М.В., Уваров М.Л.	
Технічне забезпечення реформованих аграрних підприємств	114
Миронов О.С., Золотовська О.В., Дмитрієв І.А.	
Аналіз сошників для традиційної та нульової технологій	118
Самойленко М.О.	
Випробування суниці ананасної при кущовій системі ведення насаджень	126

Самойленко Т. Г., Бушилов В. Д. Визначення асиміляційної поверхні клонової підщепи пуміселект аналітичним способом	131
Скібчик В.І., Днесь В.І. Передумови моделювання виникнення предметно-агрометеорологічних подій в технологічних процесах вирощування зернових культур	137
Стремоухов А.Б. Измерение расхода газа при испытаниях газодизеля	144
Теслюк В.В., Барановський В.М., Теслюк В.В. Грибні препарати в підвищенні стійкості зернових до негативних впливів	150
Теслюк В.В., Барановський В.М., Шведик М.С. Дослідження удосконаленого комбінованого ґрунтообробного знаряддя	154
Теслюк В.В., Редько В.В., Ковбасенко В.М., Застосування грибних полісахаридів в технологіях вирощування овочевих культур	158
Теслюк В.В., Шведик М.С., к.т.н., Ікальчик М.І. Обґрунтування обробітку важких ґрунтів під сівбу цукрових буряків	161
Уваров М. Л., Бондарева О. Б., Єлизаров І. Ю. Вдосконалені конструкції бункера-накопичувача	164
Федорина Т.П., Бабюк Г.Ф. Складова екологічної безпеки – використання альтернативних видів палива	172
Чеберячко О.В., Вельчев Б.В., Шабат В.В. Стенд для дослідження розпилюючих пристроїв машин для внесення агрохімікатів	184
Шимко Ю.М., Теслюк В.В., Пугач О.М. Аналіз застосування автотранспорту з нульовими викидами	190

СЕКЦІЯ 2.

Сучасні тенденції використання технологій та техніки для виробництва продукції АПВ

Волик Б.А., Брижаний І.Ю., Коновий А.В. Моделні уявлення ґрунту як елемент загальної математичної моделі роботи ґрунтообробного знаряддя	194
Гаврильченко О.С., Мицик О.В., Алієв Е.Б. Обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів колектора адаптивного доїння	199
Гаврильченко О.С., Дерун С.Ю., Алієв Е.Б., Доруда С.О. Обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів бункера-дозатора комбікормів	209
Єремейчук І.О. Удосконалення української чорно-рябої молочної породи за господарсько корисними ознаками	221
Мащенко Ю. В., Гайденко О. М. Урожайність та економічна ефективність вирощування соняшнику залежно від систем удобрення та мікробних препаратів в умовах Північного Степу України	226
Самохіна Е. А. Продуктивність підсисних свиноматок залежно від параметрів мікроклімату, створеного різними системами вентиляції в осінній період	235
Семеняка І.М. Слуцька, О.І. Сіємо кукурудзу вчасно	241
Сова Н. А., Луценко М. В., Терещенко Т. В. Дослідження технологічних властивостей обрушеного насіння промислових конопель	248

Соколовська І. М. Вплив кліматичних умов на формування урожаю картоплі у північному степах України	254
Ікальчик М.І., Тонконог Д.В. Вправдження нових технологій у тваринництві	261
СЕКЦІЯ 3.	
Новітні електротехнології в агропромисловому виробництві	267
Василенко В.В. Використання тепловізійних систем діагностування для попередження аварій електрообладнання	268
Герасименко В.П., Майбородіна Н.В., Ожема В.Ф. Моделювання режимів роботи та елементів трифазної лінії в MATCAD	276
СЕКЦІЯ 4.	
Актуальні питання охорони праці в агропромисловому виробництві	284
Алієв Е.Б. Фізико-математичний апарат гранульованого газу шару насінневого матеріалу	285
Бутенко А.О., Данильченко О.М., Літвін А.О. Оцінка продуктивності однорічних кормосумішок в умовах північно-східного лісостепу України	295
Дем'яненко А.Г. Стан та деякі тенденції сучасної інженерної аграрної освіти в Україні	301
Деркач О.Д. Організація філій кафедр на виробництві як необхідність якісної аграрної освіти	307
Дубко В. О. Моделювання розповсюдження домішок у середовищі з центрами затримки, за допомогою індикаторних функцій	313
Кресан Т.А. Конструювання розгортних поверхонь в різних системах координат	317
Кропивко С.В. Використання нетрадиційних джерел енергії у закладах вищої освіти України	323
Савченко І.Є., Педагогічні умови формування екологічної культури студентів-аграрників	328
Федорина Т.П., Кобзар О.М. Органічне сільське господарство як складова екологічної безпеки	336
Хуторна С.В., Клочко А. Законодавство України та ЄС щодо використання ГМО при вирощуванні продукції рослинного походження	345
Хуторна С.В., Кошовий О. Законодавче забезпечення тваринництва в Україні	351
Хуторна С.В., Нікітін А. Аграрне право	357
Хуторна С.В., Халецький С. Охорона довкілля під час збройних конфліктів	363
Чередник С.А., Ікальчик Н.М. Здоровий спосіб життя	369

УДК 631.362.3: 531.01

ФІЗИКО-МАТЕМАТИЧНИЙ АПАРАТ ГРАНУЛЬОВАНОГО ГАЗУ ШАРУ НАСІННЕВОГО МАТЕРІАЛУ

Алієв Е.Б.

канд. техн. наук, завідувач відділом
Інститут олійних культур НААН, м. Запоріжжя

Анотація. Підвищення ефективності аналітичних досліджень процесу переміщення насінневого матеріалу під механічною дією шляхом розробки фізико-математичного апарата гранульованого газу. Теоретичний аналіз зводиться до методів кінетичної теорії газів і гідродинаміки рідин, які основані на рівнянні Больцмана для гладких неупругих твердих сфер. Вирішено рівняння Больцмана для гранульованого газу шару насінневого матеріалу. Представлено відповідну рівноважну максвеллівську функцію розподілу швидкостей насіння під час руху. Створено фізико-математичний апарат дисипативного гранульованого газу шару насінневого матеріалу у стаціонарному стані, керованому вібраційними межами, для опису якого використані класичні кінетичної теорії молекулярного газу. Введено поняття «температури» гранульованого газу шару насінневого матеріалу, яке характеризує енергоємність процесу переміщення насінневого матеріалу під механічною дією.

Ключові слова: насіння, переміщення, механічна дія, гранульований газ, розподіл, швидкість, кінетична енергія, температура.

Постановка проблеми. Насінневий матеріал може бути представлений у вигляді моделі гранульованого матеріалу, як конгломерат дискретного твердого тіла, макроскопічних частинок, що характеризуються втратою енергії під час взаємодії [1]. Коли середня енергія окремих частинок гранульованого матеріалу низька, а частинки нерухомі щодо один одного, гранульований матеріал діє як тверде тіло. Якщо контакти між частинками гранульованого матеріалу стають дуже рідкісними, матеріал надходить у газоподібний стан [2].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Оскільки потік шару насінневого матеріалу характеризується локальною дисипацією, досі немає задовільної теорії. Більшість гранульованих теорій отримують з

локальної рівноваги та моделювання, використовуючи припущення про континуум [3–8]. Однак ці ідеї не є дійсними для гранульованого шару насінневого матеріалу [9]. Тому запропоновано для гранульованого шару насінневого матеріалу використовувати кінетичну теорію в нерівноважній системі та рівняння гідродинаміки.

Мета дослідження. Підвищення ефективності аналітичних досліджень процесу переміщення насінневого матеріалу під механічною дією шляхом розробки фізико-математичного апарата гранульованого газу.

Виклад основного матеріалу. Теоретичний аналіз результатів [10–13] зводиться до методів кінетичної теорії газів і гідродинаміки рідин, які ґрунтуються на рівнянні Больцмана для гладких неупругих твердих сфер. Функція розподілу швидкостей отримується у формі $\exp(-Av^4)$, де $A \sim \epsilon/g^2$, $\epsilon = (1+\alpha)(3-\beta_1)/6$ – коефіцієнт реституції, α , β – емпіричні коефіцієнти. Для поставленої задачі Больцмана-Енскога було прийнято однорідне припущення про стан «охладження» з постійним коефіцієнтом реституції ϵ .

Побудова нормального рішення для рівняння Больцмана засноване на розкладанні, що розроблено Чепменом і Енскогом [14]. Її нормальне рішення є функцією термодинамічних змінних, які використовують зв'язки потоків в просторових похідних термодинамічних змінних. Нехай f_L позначає місцеву рівноважну функцію розподілу, тобто локально максвеллівську:

$$f_L = n \left(\frac{m}{2\pi kT} \right)^{3/2} \exp \left[-\frac{m}{2kT} (\bar{v} - \bar{u})^2 \right], \quad (1)$$

де \bar{v} – швидкість насінини, м/с; \bar{u} – середня швидкість потоку насінин, м/с; n – кількісна щільність; m – маса насінини, кг; k – коефіцієнт «теплопровідності» гранульованого газу, $\text{кг} \cdot \text{м}^2 / (\text{К} \cdot \text{с}^2)$; T – «температура» гранульованого газу, К.

Всі параметри, так як і у термодинамічних змінних, є похідними від розподілу швидкостей f_L . Можна замінити розподіл швидкостей на f_L , якщо ці параметри ще можуть бути отримані з f за допомогою однієї і тієї ж форми рівняння. Наприклад, кількісна щільність

$$n = \int d^3v f_L = \int d^3v f. \quad (2)$$

Для того, щоб отримати більш точну оцінку f , можна спробувати виразити f в залежності від f_L , і записати, як

$$f = f_L (1 + \Phi), \quad (3)$$

де $\Phi = 0$ – рівноважна функція розподілу (в 0-му порядку); $\Phi = \Phi^{(1)} +$

$\Phi^{(2)} + \Phi^{(3)} + \dots$ – нерівноважна функція розподілу.

Тоді, в першому наближенні можуть бути отримані коефіцієнт «охолодження» ζ і коефіцієнти переносу η , κ , μ . Ці параметри, в свою чергу функції «температури», густини і мікроскопічних параметрів, таких як розмір і маса насінини і коефіцієнта реституції.

Поліноми Соніна також називають асоційованими многочленами Лагерра. У літературі це метод, який використовується для вирішення рівняння Больцмана-Енсога через набір наближень. Це стосується особливого випадку однорідного стану «охолодження»; припускається, що поле швидкості зникає через довгий час, щільність n є просторово однорідною, а «температура» $T(t)$ в часі зменшується [15].

Для початку розглянемо нелінійне рівняння Больцмана для непружних твердих сфер. Існує багато способів, щоб отримати рівняння Больцмана [16]. Таким чином, розподіл швидкостей для непружного гранульованого газу шару насіння можна представити у вигляді:

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} f(\bar{v}_1, t) = \sigma^2 \int d\bar{v}_2 \int \bar{e} \Theta(-\bar{v}_{12} \cdot \bar{e}) |\bar{v}_{12} \cdot \bar{e}| \times \\ \times \left[\chi f(\bar{v}_1'', t) f(\bar{v}_2'', t) - f(\bar{v}_1, t) f(\bar{v}_2, t) \right] \equiv I(f, f), \end{aligned} \quad (4)$$

де $f(\bar{v}_1, t)$ – розподіл швидкостей насінин, c^3/m^3 ; \bar{v}_1 – швидкість насіння, м/с; \bar{e} – одиничний вектор між парою насінин, що стикаються; $\bar{v}_{12} \equiv \bar{v}_1 - \bar{v}_2$ – відносна швидкість насінин, м/с; σ – це відстань між парою насінин, що стикаються, м; $\chi = 1/\epsilon^2$ для випадку коли коефіцієнт реституції $\epsilon = \text{const}$; $I(f, f)$ – інтеграл зіткнень, ϵ функція розподілу за швидкостями; Θ – це крок-функція Хевісайда,

$$\Theta(x) \equiv \begin{cases} 1, & x \geq 0, \\ 0, & x < 0. \end{cases} \quad (5)$$

Тут використовуються дві апроксимації або гіпотези:

1. Передбачається бінарне зіткнення. Колізій з трьома тілами або ефекти більшої кількості тіл ігноруються.

2. Функція розподілу двох насінин $f(\bar{v}_1, \bar{v}_2, \bar{r}_{12}, t)$ є продуктом двох одночастинкових розподілів $f(\bar{v}_1, t)$ і $f(\bar{v}_2, t)$, тобто немає кореляційного ефекту між насінинами.

Це називається гіпотезою молекулярного хаосу в якій

пропонується наближення, що пояснює глобальний однорідний ефект кінцевого обсягу. Тоді рівняння Больцмана (4) змінюється на рівняння Больцмана-Енскога:

$$\frac{\partial}{\partial t} f(\bar{v}_1, t) = g_2(\sigma) I(f, f), \quad (6)$$

де $g_2(\sigma)$ – контактне значення функції кореляції парної рівноваги. У слабконепружному $\epsilon < 1$ розподіл швидкості можна масштабувати за формою:

$$f(\bar{v}_1, t) = \frac{n}{v_T^3(t)} f\left(\frac{\bar{v}}{v_T(t)}\right) = \frac{n}{v_T^3(t)} \tilde{f}(\bar{c}), \quad (7)$$

де $\bar{c} \equiv \frac{\bar{v}}{v_T(t)}$ – масштабована швидкість; $v_T(t) = \sqrt{\frac{3kT}{m}}$ – «теплова» швидкість.

З рівнянням (7), $\frac{\partial}{\partial t} f(\bar{v}_1, t)$ можна виразити як:

$$\frac{\partial}{\partial t} f(\bar{v}_1, t) = \left(-\frac{3n}{v_T^4} \tilde{f}(\bar{c}_1) + \frac{n}{v_T^3} \frac{\partial \tilde{f}}{\partial c_1} \frac{\partial \bar{c}_1}{\partial v_T} \right) \frac{\partial v_T}{\partial t}. \quad (8)$$

Інтеграл зіткнень може бути записаний як

$$I(f, f) \equiv \sigma^2 n^2 v_T I(\tilde{f}, \tilde{f}). \quad (9)$$

Використовуючи швидкість розпаду часу, \tilde{f} задовольняє наступне рівняння:

$$\frac{\mu_2}{3} \left(3 + c_1 \frac{\partial}{\partial c_1} \right) \tilde{f}(\bar{c}_1) = \tilde{I}(\tilde{f}, \tilde{f}) \quad (10)$$

У цій ситуації очікується замкнений гаусовський розподіл для $\tilde{f}(\bar{c}_1)$. Прагнемо до розв'язання рівняння (10), використовуючи багаточлени Соніна. Систематичне наближення ізотропної функції $\tilde{f}(\bar{c}_1)$ можна знайти шляхом розширення в множині поліноми Соніна, тобто

$$\tilde{f}(\bar{c}_1) = \phi(c) \left[1 + \sum_{p=1}^{\infty} a_p S_p(c^2) \right], \quad (11)$$

де

$$\phi(c) \equiv \pi^{3/2} \exp(-c^2) \quad (12)$$

– є гауссовським розподілом для масштабної швидкості \bar{c} .

Набір S_p задовольняє ортогональні відносини

$$\int dc \phi(c) S_p(c^2) S_{p'}(c^2) = \delta_{pp'} N_p \quad (13)$$

де $\delta_{pp'}$ – дельта Кронекера; N – константа нормалізації.

Перші кілька членів багаточлена Соніна

$$S_0 = 1, \quad (14)$$

$$S_1 = -x + \frac{1}{2} d, \quad (15)$$

$$S_2 = -\frac{1}{2} x^2 - \frac{1}{2} (d+2)x + \frac{1}{8} d(d+2), \quad (16)$$

де d – розмірність простору.

Коефіцієнти a_p – поліноміальні моменти функції масштабування:

$$a_p = \frac{1}{N_p} \int dc S_p(c^2) \tilde{f}(c). \quad (17)$$

Тепер, коли розподіл швидкостей отриманий з малою нееластичністю, можна скористатися рівнянням (11), коли розподіл по суті є розподілом Максвелла $\exp(-v^2/v_0^2)$, і якщо серія многочленів Соніна швидко сходиться. Це означає також, що весь набір наближень, зроблених для написання рівняння (11), правильний.

Розподіл швидкості в гранульованому газі шару насіння відрізняється від розподілу Максвелла в низькій і високій частині. Для великої негативної та великої позитивної частини швидкості це називається швидкістю хвоста, яка є перенаселеною, оскільки $\exp(-v/v_0)$ зменшується повільніше, ніж $\exp(-v^2/v_0^2)$ при досить великому v . Отже, для цього потрібно порівняти асимптотичні форми функції розподілу швидкості з відповідною формою гаусового розподілу, використовуючи, наприклад, логічно-лінійний метод.

Для низькошвидкісної частини слід вивчити поведінку ексцесів або деяких вищих сукупностей. Отже, у рівняння (9) інтеграл зіткнень є

$$\begin{aligned} \tilde{I}(\tilde{f}, \tilde{f}) &= \int dc^2 \int d\bar{e} (-\bar{c}_{12} \cdot \bar{e}) |\bar{c}_{12} \cdot \bar{e}| \times \\ &\times \left[\frac{1}{e^2} f\left(\frac{\bar{v}_1''}{v_1}, t\right) f\left(\frac{\bar{v}_2''}{v_2}, t\right) - f(\bar{v}_1, t) f(\bar{v}_2, t) \right] = \end{aligned} \quad (18)$$

$$\begin{aligned} &= \int dc^2 \int d\bar{e} (-\bar{c}_{12} \cdot \bar{e}) |\bar{c}_{12} \cdot \bar{e}| \times \frac{1}{e^2} f\left(\frac{\bar{v}_1''}{v_1}, t\right) f\left(\frac{\bar{v}_2''}{v_2}, t\right) - \\ &- \int dc^2 \int d\bar{e} (-\bar{c}_{12} \cdot \bar{e}) |\bar{c}_{12} \cdot \bar{e}| \times f(\bar{v}_1, t) f(\bar{v}_2, t) \end{aligned} \quad (19)$$

Отже, необхідно оцінити, коли $c_1 \gg 1$, а $\bar{c}_{12} \approx \bar{c}_1$. Більше того, внесок у високу швидкість з першого члену рівняння (19) невеликий. Отже, першим членом рівняння (19) можна знехтувати. Використання нормалізації

$$\int \tilde{f}(\bar{c}_2) d\bar{c}_2 = 1 \quad (20)$$

і інтегралу

$$\int d\bar{e} \Theta(-\bar{c}_1 \cdot \bar{e}) - \bar{c}_1 \cdot \bar{e} = \int_0^{2\pi} d\varphi \int_{\pi/2}^{\pi} \sin \Theta \cos \Theta d\Theta = \pi \quad (21)$$

інтеграл зіткнень може бути записаний:

$$\tilde{I}(\tilde{f}, \tilde{f}) \approx -\pi c_1 \tilde{f}(\bar{c}_1). \quad (22)$$

Тоді, з рівнянням (22), рівняння (10) зводиться до:

$$\mu_2 \tilde{f}(\bar{c}_1) + \frac{1}{3} \mu_2 c_1 \frac{d}{dc_1} \tilde{f}(\bar{c}_1) = -\pi c_1 \tilde{f}(\bar{c}_1). \quad (23)$$

Для $c_1 \gg 1$, отримуємо

$$\frac{d\tilde{f}}{dc_1} = -\frac{3\pi}{\mu_2} \tilde{f}. \quad (24)$$

Розподіл швидкостей стає остаточним:

$$\tilde{f}(c) = A \exp\left(-\frac{3\pi}{\mu_2} c\right). \quad (25)$$

Порівняно з розподілом Максвелла $\exp(-c^2)$, перенаселення високої швидкості відбувається, коли коефіцієнт експоненти $\left(-\frac{3\pi}{\mu_2} c\right)$ в рівнянні (25) більше, ніж $-c^2$. Оскільки μ_2 вводить коефіцієнт $1 - \epsilon^2$, перенаселення відбувається при $c \geq 1/(1 - \epsilon^2)$. Брей [17] вважає, що ця теорія добре узгоджується з результатами моделювання. Він використовує його для однорідної теорії стану «охолодження».

У випадку експериментів знайдено експоненціальний розподіл швидкостей у випадку гравітаційного газового експерименту в мікрогравітації [18]. Більше того, Лозерт [19] представляє експериментальні розподіли швидкості, описані за допомогою $\exp(-|v/v_0|^{1.5})$ для великого діапазону параметрів.

Для отримання однорідного потоку, «температура» визначається як:

$$\int \frac{1}{2} m v^2 f(\bar{v}, t) d\bar{v} = \frac{3}{2} n T, \quad (26)$$

коли середнє значення v становить 0. «Температура» – це поняття рівноважної системи. Однак, гранульована система вже відхиляється від стану рівноваги термодинаміки через дисипацію нееластичного зіткнення та енергії, а також завдяки ефекту пам'яті.

У будь-якому випадку, тепер вводимо «температуру» гранульованого газу шару насіння. У стаціонарному стані загальна кінетична енергія коливається з простором і часом навколо незалежного від часу середнього значення. Припускаючи розподіл швидкостей $f(\vec{r}, \vec{v})$, визначають дві компоненти гранульованої «температури» (2D):

$$T_{i=x,y}(\vec{r}) = \frac{m}{\rho} \int_R dv_x \int_R dv_y f(\vec{r}, \vec{v}) (v_i - U_i(\vec{r}))^2, \quad (27)$$

де R – об'єм малих клітин, розташований на \vec{r} ; ρ – щільність насінин; $U_i(\vec{r})$ – середнє поле швидкості:

$$U(\vec{r}) = \frac{1}{\rho(\vec{r})} \int_R dv_x \int_R dv_y f(\vec{r}, \vec{v}) \vec{v}, \quad (28)$$

Загальна «температура» $T(\vec{r}) = [T_x(\vec{r}) + T_y(\vec{r})] / 2$. $U_i(\vec{r}) = 0$ у стаціонарному стані, отже, «температура» отримана лаконічно, як $T_x = \langle \sum v_x^2 \rangle$.

Висновки. Створено фізико-математичний апарат дисипативного гранульованого газу шару насінневого матеріалу у стаціонарному стані, керованому вібраційними межами, для опису якого використані класичні кінетичної теорії молекулярного газу. Введено поняття «температури» гранульованого газу шару насінневого матеріалу, яке характеризує енергоємність процесу переміщення насінневого матеріалу під механічною дією.

Список використаних джерел

1. Richard G. Holdich. Fundamentals of Particle Technology. Midland Information Technology and Publishing. Shepshed, Leicestershire, U.K. 2002. 173 p.
2. Mester L. The new physical-mechanical theory of granular materials. Homonnai. 2009. 73 p.
3. Gheorghe Voicu, Tudor Casandroi, Constantin Tarcolea. Testing Stochastic Models for Simulating the Seeds Separation Process on

the Sieves of a Cleaning System, and a Comparison with Experimental Data. *Agric. conspec. sci.* Vol. 73. No. 2. 2008. P. 95–101.

4. Adel F Alenzi. Modeling of consolidation and flow of granular material under varying conditions. This dissertation Doctor of Philosophy. University of Pittsburgh. 2012. 144 p.

5. S'andor Fazekas. Distinct Element Simulations of Granular Materials. PhD Thesis. Budapest University of Technology and Economics Budapest. Hungary. 2007. 144 p.

6. Gunaji Ashok Sawant, V. Murali Mohan, Sandip Ashok Sawant. Study and Analysis of Deck inclination angle on Efficiency of Vibration Screen. *International Journal of Engineering Development and Research.* Volume 4. Issue 1. 2016. P. 631-635.

7. Jahani M., Farzanegan A., Noaparast M. Investigation of screening performance of banana screens using LIGGGHTS DEM solver. M. Jahani et al. *Powder Technology.* No. 283. 2015. P. 32–47.

8. Cleary P.W., Fernandez J.W., Sinott M.D., Morrison R.D. Using DEM and SPH to model wet Industrial Banana Screens. Conference: Comminution '10, At Cape Town, South Africa. 2010. P. 1–24.

9. Evesque P. Statistical mechanics of granular media: An approach laboltzmann. *Poudre & Grains.* 1999. Vol. 6. P. 13–19.

10. Chapman S. Cowling T. G. The mathematical theory of non-uniform gases. Cambridge University Press. 1970.

11. Brilliantov N. V., P'oschel T. Kinetic Theory of Granular Gases. Oxford University Press. New York. 2004.

12. Goldshtein A. Shapiro M. Mechanics of collisional motion of granular materials. Part 1. General ydrodynamic equations. *J. Fluid Mech.* 1995. Vol. 282. P. 75–114.

13. Sergei E. Esipov, Thorsten P'oschel. The granular phase diagram. *J. Stat. Phys.* 1997. Vol. 86. P. 13–85.

14. McLennan J. A. Introduction to nonequilibrium statistical mechanics. Prentice Hall. London. 1989.

15. T. P. C. van Noije, M. H. Ernst, and R. Brito, Ring knetic theory for an idealized granular gas. *Physica A.* Vol. 251. P. 266–283. 1998.

16. P. P. J. M. Schram. Kinetic Theory of Gases and Plasmas. Kluwer Academic Publishers. AA Dordrecht. 1991.

17. J. Javier Brey, Cubero D. Ruiz-Montero M. J. High energy tail in the velocity distribution of a granular gas. *Phy. Rev. E.* 1999. Vol. 59. P. 1256–1258.

18. Hou M., Liu R., Zhai G., Sun Z., Lu K., Garrabos Y., Evesque P. Velocity distribution of vibration-driven granular gas in knudsen regime in microgravity. *Microgravity Sci Technol.* 2008. Vol. 20. P. 73–80.

19. Losert D. G., Cooper W., Delour J., Kudrolli A., Gollub J. P., Velocity statistics in excited granular media. *chaos.* 1999. Vol. 9. P. 682–690.

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЙ АППАРАТ ГРАНУЛИРОВАННОГО ГАЗА СЛОЯ СЕМЕННОГО МАТЕРИАЛА

Алиев Э.Б.

канд. техн. наук, заведующий отделом
Институт масличных культур НААН

Аннотация. Повышение эффективности аналитических исследований процесса перемещения семенного материала в результате механическим воздействием путем разработки физико-математического аппарата гранулированного газа. Теоретический анализ сводится к методам кинетической теории газов и гидродинамики жидкостей, основанные на уравнении Больцмана для гладких неупругих твердых сфер. Решено уравнения Больцмана для гранулированного газа слоя семенного материала. Представлены соответствующая равновесная максвелловская функция распределения скоростей семян во время движения. Создан физико-математический аппарат диссипативного гранулированного газа слоя семенного материала в стационарном состоянии, управляемым вибрационными пределами, для описания которого использована классическая кинетическая теория молекулярного газа. Введено понятие «температуры» гранулированного газа слоя семенного материала, которое характеризует энергоёмкость процесса перемещения семенного материала в результате механическим воздействием.

Ключевые слова: семена, перемещение, механическое воздействие, гранулированный газ, распределение, скорость, кинетическая энергия, температура.

PHYSICO-MATHEMATICAL APPARATUS OF GRANULATED GAS LAYER OF SEED MATERIAL

Aliev E.B.

Cand. tech. in Science, Head of Department
Institute of Oilseed Crops NAAS

Annotation. Increase the effectiveness of analytical studies of the process of moving seed material as a result of mechanical action by developing a physical and mathematical apparatus of granulated gas. Theoretical analysis reduces to the methods of the kinetic theory of gases and fluid hydrodynamics, based on the Boltzmann equation for smooth inelastic hard spheres. The Boltzmann equation for a granulated gas layer of a seed material is solved. The corresponding equilibrium Maxwellian distribution function of seed velocities during the motion is presented. A physico-mathematical apparatus of a dissipative granular gas of a layer of seed material in a stationary state controlled by vibrational limits has been created, for the description of which the classical kinetic theory of a molecular gas is used. The concept of "temperature" of the granulated gas of the seed layer is introduced, which characterizes the energy consumption of the process of moving the seed material as a result of mechanical action.

Keywords: seeds, movement, mechanical action, granulated gas, distribution, velocity, kinetic energy, temperature.