

Abstract

PLACING OF REPAIR-ATTENDANT ENTERPRISES: METHODICAL ASPECT

G. Maznev

For a location placing repair-attendant repair-attendant enterprise an objective function is formulated from the terms of a minimum of expenses on transporting of machines, requiring technical service and repair. Transcendent equalizations the decision of which is got an iteration method are got. The coordinates of placing of repair-attendant enterprise are certain on territory of region.

УДК 532:631.362

О КОЛЕБАНИЯХ СКОРОСТИ ПОТОКА ЗЕРНА НА РЕШЕТЕ ВИБРОЦЕНТРОБЕЖНОГО СЕПАРАТОРА

**Тищенко Л.Н. д.т.н., проф., ч.-кор. НААНУ,
Ольшанский В.П. д.ф.-м.н., проф., Ольшанский С.В. асп.**

*Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства
имени Петра Василенко*

В функциях Кельвина определены амплитуды колебаний скорости потока зерна как слоя линейно-неоднородной вязкой жидкости при его вертикальном движении вдоль образующей виброцентробежного решета. С помощью затабулированных цилиндрических функций выражены также другие дифференциальные и интегральные характеристики потока.

Постановка проблемы. Для интенсификации виброрешетного сепарирования зерновых смесей нужно знать зависимости технологических характеристик процесса сепарирования от параметров вибраций решета и механико-технологических параметров зерновой смеси. Их позволяют определить натурные эксперименты, а также надлежащие математическое и физическое моделирование процесса разделения зернового материала. При этом менее затратным обычно оказывается использование теории, к тому же оно приводит к более универсальным результатам. Поэтому математическое моделирование движения зерновой смеси по решету остается актуальной задачей.

Анализ последних исследований и публикаций. Установившееся течение виброоживленного зернового слоя вдоль образующей цилиндрического решета виброцентробежного сепаратора рассматривалось в [1-4]. Осесимметричная задача гидродинамики решалась без учета инерционных членов, поскольку определялась усредненная за период колебаний скорость движения. В [5] вычисляли изменение скорости потока зерна во времени,

вызванное осевыми вибрациями вращающегося цилиндрического решета в установившемся режиме его работы. Решение поставленной задачи гидродинамики представлено с помощью функций Бесселя и Неймана комплексного аргумента. Отмечены трудности использования его для вычислений. В данной статье предлагается другая форма аналитического решения, сформулированной в [5], краевой задачи.

Целью работы является получение и апробация расчетами формул для вычисления скорости потока псевдооживленной зерновой смеси с учетом ее колебаний, возникающих вследствие осевых вертикальных вибраций вращающегося цилиндрического решета вибросепаратора.

Аналитическое решение задачи гидродинамики в цилиндрических функциях. Исходим из опубликованных в [5, стр. 149-153] постановки задачи и расчетной схемы (см. рис. 1).

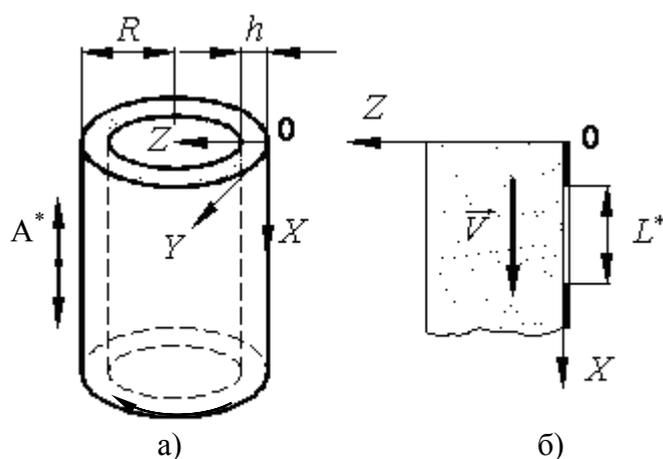


Рис. 1 – Расчетная схема:

а) цилиндрическое решето с движущимся по его внутренней поверхности слоем сыпучей смеси; б) продольное сечение слоя

В указанной монографии проекция скорости движения смеси $v(z, t)$ на ось ox определена суммой:

$$v(z, t) = v_{\Pi}(z) + v_{\kappa}(z, t), \quad (1)$$

где:

$$v_{\Pi}(z) = \frac{g v_0}{\kappa^2} \ln \left(1 - \frac{\kappa z}{a} \right) + \frac{g z}{\kappa}; \quad (2)$$

где: $v_0 = a - \kappa h$;

g – ускорение свободного падения;

h – толщина зернового слоя;

t – время;

a, κ – положительные постоянные, характеризующие линейное изменение эффективной кинематической вязкости смеси ν по координате z :

$$\nu = a - \kappa z. \quad (3)$$

Второе слагаемое в (1) $v_\kappa(z, t)$ удовлетворяет дифференциальному уравнению:

$$\frac{\partial}{\partial z} \left(v \frac{\partial v_\kappa}{\partial z} \right) - \frac{\partial v_\kappa}{\partial t} = 0 \quad (4)$$

и граничным условиям:

$$v_\kappa(0, t) = A^* \omega \cos(\omega t); \quad \left. \frac{\partial v_\kappa}{\partial z} \right|_{z=h} = 0, \quad (5)$$

в которых A^*, ω – соответственно амплитуда и частота гармонических колебаний решета.

Решение краевой задачи, представленной выражениями (4) и (5), ищем в виде:

$$v_\kappa(z, t) = \operatorname{Re} [w(z) e^{i\omega t}] = \operatorname{Re} w(z) \cdot \cos(\omega t) - \operatorname{Im} w(z) \cdot \sin(\omega t), \quad (6)$$

где: $i = \sqrt{-1}$.

При этом комплексная функция вещественного аргумента $w(z)$ должна удовлетворять дифференциальному уравнению:

$$v \frac{d^2 w}{dz^2} - \kappa \frac{dw}{dz} - i\omega w = 0 \quad (7)$$

и граничным условиям:

$$\operatorname{Re} w(0) = A^* \omega; \quad \operatorname{Im} w(0) = 0; \quad (8)$$

$$\left. \frac{d}{dz} \operatorname{Re} w(z) \right|_{z=h} = \left. \frac{d}{dz} \operatorname{Im} w(z) \right|_{z=h} = 0.$$

Учитывая, что v и z связаны линейной зависимостью (3), перейдем от переменной z к переменной v . Поскольку

$$\frac{dw}{dz} = -\kappa \frac{dw}{dv}; \quad \frac{d^2 w}{dz^2} = \kappa^2 \frac{d^2 w}{dv^2},$$

то используя (7) и (8), далее вместо $w(z)$ будем определять $w(v)$, решая краевую задачу:

$$\frac{d^2 w}{dv^2} + \frac{1}{v} \frac{dw}{dv} - \frac{i\omega}{v\kappa^2} w = 0; \quad (9)$$

$$\operatorname{Re} w(a) = A^* \omega; \quad \operatorname{Im} w(a) = 0; \quad (10)$$

$$\left. \frac{d}{dv} \operatorname{Re} w(v) \right|_{v=v_0} = \left. \frac{d}{dv} \operatorname{Im} w(v) \right|_{v=v_0} = 0.$$

Общее решение уравнения (9) имеет вид:

$$w(v) = (c_1 + ic_2) \cdot I_0(\xi \sqrt{i}) + (c_3 + ic_4) \cdot K_0(\xi \sqrt{i}), \quad (11)$$

где: $\xi = \frac{2\sqrt{\omega v}}{\kappa}$;

$I_0(x), K_0(x)$ – модифицированная функция Бесселя и функция Макдональда нулевого индекса;

c_1, c_2, c_3, c_4 – вещественные произвольные постоянные.

Цилиндрические функции комплексного аргумента выражаются через функции Кельвина $ber(\xi), bei(\xi), ker(\xi), kei(\xi)$ по формулам [6]:

$$I_0(\xi\sqrt{i}) = ber(\xi) + i bei(\xi); K_0(\xi\sqrt{i}) = ker(\xi) + i kei(\xi).$$

Поэтому легко выделить в (11) вещественную и мнимую части:

$$\operatorname{Re} w(v) = c_1 ber(\xi) - c_2 bei(\xi) + c_3 ker(\xi) - c_4 kei(\xi); \quad (12)$$

$$\operatorname{Im} w(v) = c_1 bei(\xi) + c_2 ber(\xi) + c_3 kei(\xi) + c_4 ker(\xi).$$

Подставив (12), а также их производные в (10), получаем систему четырех линейных алгебраических уравнений с неизвестными $c_j, j = \overline{1;4}$:

$$c_1 ber(\eta) - c_2 bei(\eta) + c_3 ker(\eta) - c_4 kei(\eta) = A^* \omega,$$

$$c_1 bei(\eta) + c_2 ber(\eta) + c_3 kei(\eta) + c_4 ker(\eta) = 0,$$

$$c_1 ber'(\zeta) - c_2 bei'(\zeta) + c_3 ker'(\zeta) - c_4 kei'(\zeta) = 0, \quad (13)$$

$$c_1 bei'(\zeta) + c_2 ber'(\zeta) + c_3 kei'(\zeta) + c_4 ker'(\zeta) = 0.$$

Здесь $\zeta = \frac{2\sqrt{\omega v_0}}{\kappa}$; $\eta = \frac{2\sqrt{\omega a}}{\kappa}$; штрихом обозначены производные функций Кельвина по ζ .

Их можно вычислять по таблицам функций Кельвина индекса единица [6], ибо:

$$ber'(\zeta) = \frac{1}{\sqrt{2}} [ber_1(\zeta) + bei_1(\zeta)]; bei'(\zeta) = \frac{1}{\sqrt{2}} [bei_1(\zeta) - ber_1(\zeta)];$$

$$ker'(\zeta) = \frac{1}{\sqrt{2}} [ker_1(\zeta) + kei_1(\zeta)]; kei'(\zeta) = \frac{1}{\sqrt{2}} [kei_1(\zeta) - ker_1(\zeta)].$$

Отметим, что таблицы использованных специальных функций, а также их производных, имеются в [6] и [7].

Решив систему (13), находим постоянные $c_j, j = \overline{1;4}$:

$$c_1 = \frac{A^* \omega}{\Delta} [ber(\eta) + \delta_1 ker(\eta) + \delta_2 kei(\eta)];$$

$$c_2 = -\frac{A^* \omega}{\Delta} [bei(\eta) + \delta_1 kei(\eta) - \delta_2 ker(\eta)];$$

$$c_3 = \delta_1 c_1 + \delta_2 c_2; c_4 = \delta_1 c_2 - \delta_2 c_1; \quad (14)$$

$$\Delta = [ber(\eta) + \delta_1 ker(\eta) + \delta_2 kei(\eta)]^2 + [bei(\eta) + \delta_1 kei(\eta) - \delta_2 ker(\eta)]^2;$$

$$\delta_1 = -\frac{ber'(\zeta) \cdot ker'(\zeta) + bei'(\zeta) \cdot kei'(\zeta)}{(ker'(\zeta))^2 + (kei'(\zeta))^2};$$

$$\delta_2 = \frac{bei'(\zeta) \cdot ker'(\zeta) - ber'(\zeta) \cdot kei'(\zeta)}{(ker'(\zeta))^2 + (kei'(\zeta))^2}.$$

После подстановки (12) в (6), а затем (2) и (6) в (1), получаем формулу скорости потока:

$$\begin{aligned} v(v, t) = & \frac{g v_0}{\kappa^2} \ln \frac{v}{a} + \frac{g(a-v)}{\kappa^2} + [c_1 ber(\xi) - c_2 bei(\xi) + c_3 ker(\xi) - c_4 kei(\xi)] \times \\ & \times \cos(\omega t) - [c_1 bei(\xi) + c_2 ber(\xi) + c_3 kei(\xi) + c_4 ker(\xi)] \cdot \sin(\omega t), \end{aligned} \quad (15)$$

в которой множители c_j определены выражениями (14).

Об интенсивности сегрегации зерновой смеси в ходе движения обычно судят по величине производной $v'_z(z, t)$ [2]. Она также выражается через затабулированные цилиндрические функции:

$$\begin{aligned} v'_z(v, t) = & \frac{g}{\kappa} \left(1 - \frac{v_0}{v}\right) - \frac{\sqrt{\omega}}{\sqrt{v}} \{ [c_1 ber'(\xi) - c_2 bei'(\xi) + c_3 ker'(\xi) - c_4 kei'(\xi)] \times \\ & \times \cos(\omega t) - [c_1 bei'(\xi) + c_2 ber'(\xi) + c_3 kei'(\xi) + c_4 ker'(\xi)] \cdot \sin(\omega t) \}. \end{aligned}$$

Подчеркнем, что на свободной поверхности слоя $z = h$ ($v = v_0$) эта дифференциальная характеристика равна нулю.

Для расчета усредненной по толщине слоя скорости потока приходится вычислять интеграл:

$$v_{yc}(t) = \frac{1}{h} \int_0^{\eta} v(z, t) dz = \frac{\kappa}{2\omega h} \int_{\xi}^{\eta} \xi v(v, t) d\xi.$$

Поскольку [6]:

$$\int_{\xi}^{\eta} \left[\frac{ber(\xi)}{ker(\xi)} \right] d\xi = \frac{\xi}{\sqrt{2}} \left[\frac{bei_1(\xi) - ber_1(\xi)}{kei_1(\xi) - ker_1(\xi)} \right];$$

$$\int_{\xi}^{\eta} \left[\frac{bei(\xi)}{kei(\xi)} \right] d\xi = -\frac{\xi}{\sqrt{2}} \left[\frac{bei_1(\xi) + ber_1(\xi)}{kei_1(\xi) + ker_1(\xi)} \right],$$

то:

$$\begin{aligned} v_{yc}(t) = & \frac{g}{\kappa^2} \left(\frac{1}{2} \kappa h - v_0 - \frac{v_0^2}{\kappa h} \ln \frac{v_0}{a} \right) + \frac{\kappa}{2\sqrt{2}\omega h} [(c_1 S_1 - c_2 S_2 + c_3 S_3 - c_4 S_4) \times \\ & \times \cos(\omega t) - (c_1 S_2 + c_2 S_1 + c_3 S_4 + c_4 S_3) \sin(\omega t)]. \end{aligned}$$

Здесь:

$$\begin{aligned}
 S_1 &= \eta \cdot [bei_1(\eta) - ber_1(\eta)] - \zeta \cdot [bei_1(\zeta) - ber_1(\zeta)]; \\
 S_2 &= \zeta \cdot [bei_1(\zeta) + ber_1(\zeta)] - \eta \cdot [bei_1(\eta) + ber_1(\eta)]; \\
 S_3 &= \eta \cdot [kei_1(\eta) - ker_1(\eta)] - \zeta \cdot [kei_1(\zeta) - ker_1(\zeta)]; \\
 S_4 &= \zeta \cdot [kei_1(\zeta) + ker_1(\zeta)] - \eta \cdot [kei_1(\eta) + ker_1(\eta)].
 \end{aligned}$$

Таким образом, с помощью таблиц, функций Кельвина можно определять амплитуды колебаний усредненной скорости потока зерновой смеси.

Упрощение расчетных формул при малых значениях k . Такие значения k соответствуют движению смеси по решетке одним элементарным слоем [5]. В этом случае аргументы цилиндрических функций становятся большими и эти функции с приемлемой точностью можно заменить их более простыми асимптотическими представлениями. Так поступали авторы [5]. Однако граничный случай $k \rightarrow 0$ проще получить другим способом, положив в (7) $v = a = const$. Тогда вспомогательная функция $w(z)$ определится из решения дифференциального уравнения:

$$\frac{d^2 w}{dz^2} - \frac{i\omega}{a} w = 0$$

при граничных условиях (8).

Эта краевая задача имеет компактное решение:

$$w(z) = A^* \omega \frac{ch \left[\sqrt{\frac{i\omega}{a}} \cdot (h - z) \right]}{ch \left(\sqrt{\frac{i\omega}{a}} \cdot h \right)}. \quad (16)$$

Кроме того, упрощается выражение (2), принимая вид:

$$v_{II}(z) = \frac{gz}{a} \cdot \left(h - \frac{z}{2} \right). \quad (17)$$

Функцию $v_{\kappa}(z, t)$, как прежде, определяем по формуле (6), используя (16). В итоге, учитывая (1) и (17), получаем:

$$\begin{aligned}
 v(z, t) &= \frac{gz}{a} \left(h - \frac{z}{2} \right) + [A_1 f_1(s) + A_2 f_2(s)] \cdot \cos(\omega t) + \\
 &+ (-1) \cdot [A_1 f_2(s) - A_2 f_1(s)] \cdot \sin(\omega t).
 \end{aligned} \quad (18)$$

Здесь:

$$A_1 = A^* \omega \cdot \frac{ch\beta \cdot \cos\beta}{sh^2\beta + \cos^2\beta}; \quad A_2 = A^* \omega \cdot \frac{sh\beta \cdot \sin\beta}{sh^2\beta + \cos^2\beta};$$

$$f_1(s) = ch(\beta(1-s)) \cdot \cos(\beta(1-s)); f_2(s) = sh(\beta(1-s)) \cdot \sin(\beta(1-s));$$

$$\beta = \frac{h\sqrt{\omega}}{\sqrt{2a}};$$

$$s = \frac{z}{h}.$$

Для производной скорости потока находим выражение:

$$v'_z(z,t) = \frac{g}{a}(h-z) + [A_1\gamma_1(s) + A_2\gamma_2(s)] \cdot \cos(\omega t) - [A_1\gamma_2(s) - A_2\gamma_1(s)] \cdot \sin(\omega t).$$

В нем:

$$\gamma_{1,2}(s) = -\frac{\beta}{h} [sh(\beta(1-s)) \cdot \cos(\beta(1-s)) \mp ch(\beta(1-s)) \cdot \sin(\beta(1-s))].$$

Интегрируя (18) по толщине слоя, получаем формулу усредненной скорости потока:

$$v_{yc}(t) = \frac{gh^2}{3a} + (A_1\Phi_1 + A_2\Phi_2) \cdot \cos(\omega t) - (A_1\Phi_2 - A_2\Phi_1) \cdot \sin(\omega t).$$

Здесь:

$$\Phi_{1,2}(s) = \frac{1}{2\beta} \cdot (ch\beta \sin \beta \pm sh\beta \cos \beta).$$

Рассмотренный граничный случай описывает движение зернового слоя с постоянной эффективной кинематической вязкостью. Для него, как и в работе [8], скорость движения и другие характеристики потока выражаются с помощью элементарных функций.

Анализ численных результатов. Для проведения расчетов, следуя [5], задавали: $\rho = 750 \text{ кг/м}^3$; $h = 0,01 \text{ м}$; $A^* = 0,006 \text{ м}$; $\omega = 75,9 \text{ с}^{-1}$; $\rho\nu_0 = 0,55 \text{ Па}\cdot\text{с}$; $\rho a = 0,77 \text{ Па}\cdot\text{с}$. Значение κ вычисляли по формуле:

$$\kappa = (a - \nu_0) \cdot h^{-1}.$$

Результаты компьютерных расчётов графически представлены на рис. 2-4. На рис. 2 показано, что амплитуды колебаний скорости существенно уменьшаются с удалением от виброрешета (увеличением z). На свободной поверхности слоя ($z = h$) они значительно меньше, чем амплитуды колебаний скорости решета. Распределение скорости по толщине движущегося слоя меняется с течением времени согласно графикам на рис.3. Изменение профиля скорости во времени способствует сегрегации зерновой смеси. Сравнить изменения скорости, к которым приводят точное и приближённое решения, позволяют графики на рис. 3. Сравнение показывает, что приближённое решение достаточно точно описывает колебательные процессы в тонком слое движущейся зерновой смеси.

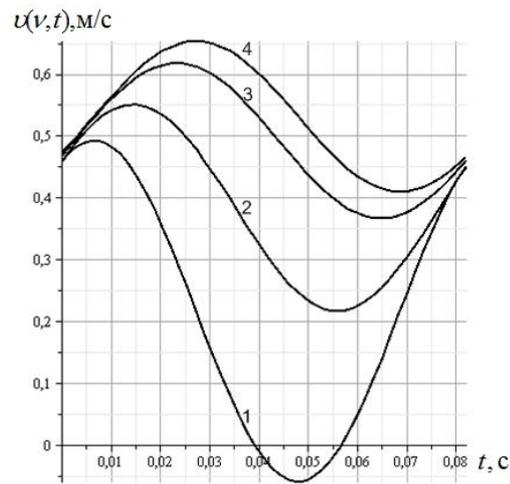


Рис. 2 – Зависимости колебаний скорости зерновой смеси пшеницы от времени для различных z : 1 – $z/h = 0,25$; 2 – $z/h = 0,5$; 3 – $z/h = 0,75$; 4 – $z/h = 1$

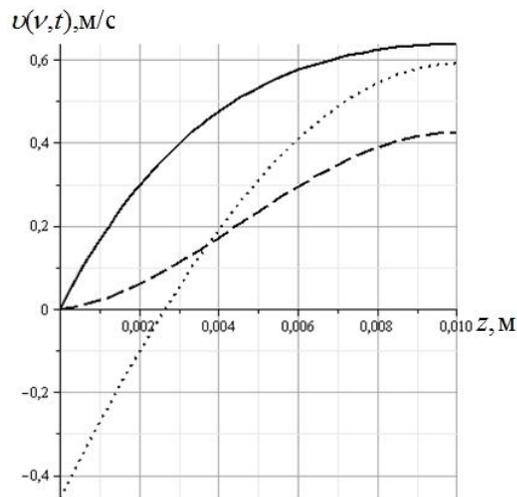


Рис. 3 – Профили скорости потока зерновой смеси пшеницы по толщине слоя в различные моменты времени: — $t = \frac{\pi}{2\omega}$; $t = \frac{\pi}{\omega}$; --- $t = \frac{3\pi}{2\omega}$

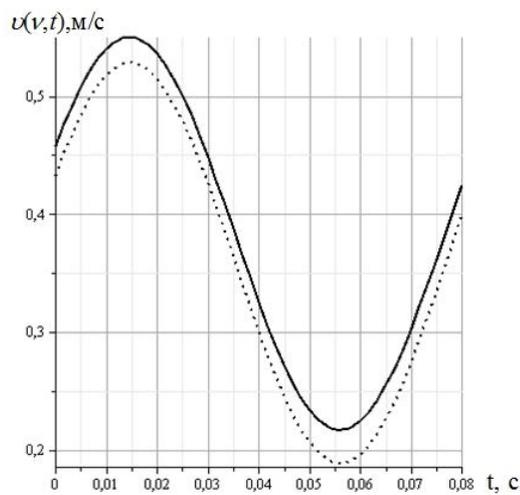


Рис. 4 – Зависимости скорости зерновой смеси от времени, полученные при $z = 0,5h$: — по формуле (15); по формуле (18)

Выводы

Изложенная теория обобщает известные модели движения виброоживленной зерновой смеси по цилиндрическому решету виброцентробежного сепаратора. Она позволяет определять колебания, которые ускоряют сегрегацию зерновой смеси.

Список использованных источников

1. Тищенко Л.Н. Гидродинамические характеристики псевдооживленных сыпучих сред при виброцентробежном сепарировании на зерноперерабатывающих предприятиях // Сучасні напрямки технології та механізації процесів переробних та харчових виробництв: Вісник ХДТУСГ. Вып. 5. – Харків: ХДТУСГ, 2001. – С. 13-33.
2. Тищенко Л.Н. Интенсификация сепарирования зерна. – Харьков: Основа, 2004. – 224 с.
3. Тищенко Л.Н., Абдуева Ф.М., Ольшанский В.П. К исследованию движения зерновой смеси по модернизированным решетам виброцентробежного сепаратора при малой загрузке // Збірник наукових праць Луганського національного аграрного університету. – Луганськ: ЛНАУ, 2008. – № 87. – С. 366-373.
4. Тищенко Л.Н., Ольшанский В.П., Ольшанский С.В. К расчету движения зерновой смеси по вертикальному цилиндрическому решету вибросепаратора // Вібрації в техніці та технологіях. – 2009. – № 2 (54). – С. 50-55.
5. Тищенко Л.Н., Мазоренко Д.И., Пивень М.В., Харченко С.А., Бредихин В.В., Мандрыка А.В. Моделирование процессов зерновых сепараторов. – Харьков: Міськдрук, 2010. – 360 с.
6. Абрамовиц А., Стиган И. Справочник по специальным функциям (с формулами, графиками и математическими таблицами). – М.: Наука, 1979. – 832 с.
7. Янке Е., Эмде Ф. Специальные функции. – М.: Наука, 1977. – 344 с.
8. Тищенко Л.Н., Ольшанский В.П., Ольшанский С.В. К расчету движения зерновой смеси на вибрирующем плоском наклонном решете // Вібрації в техніці та технологіях. – 2009. – № 1 (53). – С. 109-113.

Анотація

ПРО КОЛИВАННЯ ШВИДКОСТІ ПОТОКУ ЗЕРНА НА РЕШЕТІ ВІБРОВІДЦЕНТРОВОГО СЕПАРАТОРА

Тищенко Л.М., Ольшанський В.П., Ольшанський С.В.

В функціях Кельвіна визначено амплітуди коливань швидкості потоку зерна, як лінійно-неоднорідної в'язкої рідини, при його вертикальному русі вздовж твірної вібровідцентрового решета. Через затабульовані циліндричні функції виражено також інші диференціальні та інтегральні характеристики потоку.

Abstract

ABOUT FLUCTUATIONS OF VELOCITY OF A FLOW A GRAIN ON A SIEVE OF A VIBROCENTRIFUGAL SEPARATOR

L. Tishchenko, V. Olshanskii, S. Olshanskii

In Kelvin functions the amplitudes of vibrations of velocity of a flow a grain as layer of a linear-non-uniform viscous liquid are determined at its vertical motion along forming of a vibrocentrifugal sieve. With the help of tabulated of cylindrical functions other differential and integrated characteristics of a flow are expressed also.

УДК 631.5

ВИЗНАЧЕННЯ ЯКОСТІ МЕХАНІЗОВАНИХ ОПЕРАЦІЙ В ЗЕМЛЕРОБСТВІ ПРИ ДОСЛІДЖЕННЯХ ПО МАГІСТЕРСЬКИХ РОБОТАХ

**Ковтун Ю.І. акад. ІАУ, д.с.-г. н, проф.,
Красноручький О.М. інж., ст. викладач**

*Харківський національний технічний університет сільського господарства
імені Петра Василенка*

Найбільш об'єктивним показником якості роботи машин в землеробстві є коефіцієнт реалізації біопотенціалу сільськогосподарських культур, який необхідно застосовувати при дослідженнях по дипломних проектах на теми із вдосконалення технологічних процесів.

Постановка проблеми. Відповідно до методичних рекомендацій з магістерських робіт по машиновикористанню в землеробстві з вдосконалення технологічних процесів при механізованому виробництві рослинної продукції повинен бути розділ «Агрокваліметрія: система якості «поле-машина» на технологічній операції...» [1]. В цьому розділі спочатку описується визначення, що таке агрокваліметрія, її значність за високопродуктивного індустріального рослинництва, а також недоліки більшої оцінки якості і переваги за кінцевим результатом – врожайністю [2].

Аналіз стану питання. Як окремі технологічні операції, так і в цілому технологічні процеси оцінюють за рядом показників, серед яких найбільш об'єктивними є коефіцієнт реалізації біопотенціалу сільгоспкультур ($K_{p\sigma}$). Цей показник рахується за відношенням фактичної або прогнозованої врожайності (W_{ϕ} , W_n) до біопотенціалу (B), яка визначається при сортовипробуванні сільгоспкультур, як максимальні можливості певного сорту: $K_{p\sigma} = \frac{W(\phi;n)}{B}$. А це означає, що фактичний або прогнозований врожай залежить прямопропорційно від біопотенціалу і коефіцієнту його реалізації $W_{(\phi;n)} = B \cdot K_{p\sigma}$ [2;3;4].