

УДК 631.362.32/34

## ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ УГЛА НАКЛОНА СЕПАРИРУЮЩЕГО РАБОЧЕГО ОРГАНА ДЛЯ ОБРАБОТКИ ОЧЕСАННОГО ВОРОХА ЗЕРНОВЫХ

Рубцов Н. А., к.т.н.

*Мелитопольский государственный педагогический университет  
им. Б. Хмельницкого*

тел. (098) 31-66-501

Леженкин И. А., инженер

*Таврический государственный агротехнологический университет*

тел. (097) 407-87-35, e-mail: lan2810@mail.ru

**Аннотация** – в статье рассматривается на основании положений математического анализа обоснование угла наклона к горизонту сепарирующего рабочего органа для выделения крупных солоmistых примесей из очесанного вороха зерновых культур.

**Ключевые слова** – очесанный ворох, сепарирующий рабочий орган, колебания, угол наклона, математический анализ, движение, соломина.

*Постановка проблемы.* Как известно, уборка зерновых может осуществляться методом скашивания растений либо методом их очесывания на корню. В настоящее время метод скашивания растений в валки с последующим подбором и домолотом или прямого комбайнирования является доминирующим. Однако несмотря на это факт очесывание растений на корню имеет ряд преимуществ, перед традиционной уборкой. Особенно стационарный вариант, который заключается в очесывании растений на корню уборочной машиной и последующей доработкой очесанного вороха на стационаре. Начальной операцией доработки очесанного вороха является его сепарация [1]. В этой связи возникает проблема разработки и обоснования параметров сепарирующего рабочего органа.

*Анализ публикаций.* Аблогин Н. Н. предложил и обосновал устройство для сепарации очесанного вороха риса [2]. Однако очесанный ворох риса по своему фракционному составу существенным образом отличается от очесанного вороха зерновых колосовых культур. Согласно исследований [2] очесанный ворох риса содержит 80...90% свободного зерна, в то же время, исходя из результатов исследований

[3-6], в очесанном ворохе зерновых культур в среднем содержится 53,77% свободного зерна, соломы и крупных примесей 33,2%, половы 8,86% и оборванных колосков 4,13%. Поэтому рабочий орган предложенный для сепарации очесанного вороха риса не совсем целесообразно использовать для очистки очесанного вороха зерновых. Наиболее приемлемым для условий сепарации очесанного вороха зерновых культур является очиститель очесанного вороха [7]. Однако его конструктивные параметры и режимы работы не обоснованы.

*Формулировка целей статьи.* Теоретически обосновать угол наклона к горизонту сепарирующего рабочего органа.

*Основная часть.* Анализ уравнений движения соломины по наклонной колеблющейся поверхности дает возможность обосновать угол наклона решета к горизонту.

Критерием позволяющим сделать выбор рационального значения угла наклона является полное перемещение соломины за один оборот эксцентрикового вала. За один оборот эксцентрикового вала соломина вначале перемещается вниз, а затем перемещается вверх. В процессе обоснования угла наклона сепарирующего рабочего органа рассмотрим движение соломины вниз и ее движение вверх. Результирующее перемещение за один оборот эксцентрикового вала равно разнице перемещения соломины вниз и ее перемещение вверх. Максимум полного перемещения будет при условии наибольшего перемещения соломины при ее движении вниз и наименьшего перемещения при ее движении вверх. Для обоснования угла наклона решета к горизонту определим наибольшее значение перемещения при движении соломины вниз, используя методы математического анализа [8, 9], а затем определим наименьшее перемещение соломины при ее движении вверх, используя те же методы.

Рассмотрим вначале движение соломины вниз.

Это движение описывается уравнением

$$\rho_{\text{вн}} = -r \cos(\alpha + \beta) \cdot \cos(\omega t) + \frac{gt^2}{2} \sin \alpha - gf \frac{t^2}{2} \cos \alpha - fr \sin(\alpha + \beta) \cdot \cos(\omega t) + r \cos(\alpha + \beta) + fr \sin(\alpha + \beta). \quad (1)$$

где  $\alpha$  – угол наклона решета;

$\beta$  – угол направления колебаний;

$\omega$  – частота колебаний;

$f$  – динамический коэффициент трения;

$r$  – амплитуда колебаний.

Учитывая тот факт, что мы рассматриваем перемещение соломины при условии поворота эксцентрикового вала на угол равный  $\pi$  радиан, в этом случае уравнение несколько упростится и примет вид

$$\rho_{\text{вн}} = 2r[\cos(\alpha + \beta) + f \cdot \sin(\alpha + \beta)] + \frac{gt^2}{2} (\sin \alpha - f \cos \alpha). \quad (2)$$

Если в уравнение (1) подставить формулы сложения углов [10]

$$\begin{aligned} \sin(\alpha + \beta) &= \sin \alpha \cdot \cos \beta + \cos \alpha \cdot \sin \beta \\ \cos(\alpha + \beta) &= \cos \alpha \cdot \cos \beta - \sin \alpha \cdot \sin \beta, \end{aligned} \quad (3)$$

то выражение (2) можно записать в виде

$$\begin{aligned} \rho_{\text{BH}} &= 2rcos\alpha \cdot \cos\beta - 2rsin\alpha \cdot \sin\beta + 2rfsin\alpha \cdot \cos\beta + \\ &+ 2rfcos\alpha \cdot \sin\beta + \frac{gt^2}{2} sin\alpha - \frac{gt^2}{2} fcos\alpha. \end{aligned} \quad (4)$$

Продифференцируем выражение (4) по углу  $\alpha$ , учитывая, что параметры  $r$ ,  $\beta$  и  $t$ , которые входят в уравнение (4) являются постоянными

$$\begin{aligned} \frac{d\rho_{\text{BH}}}{d\alpha} &= -2rcos\beta \cdot sin\alpha - 2rsin\beta \cdot cos\alpha + 2rfcos\beta \cdot cos\alpha - \\ &- 2rfsin\beta \cdot sin\alpha + \frac{gt^2}{2} cos\alpha + \frac{gt^2}{2} fsin\alpha. \end{aligned} \quad (5)$$

Продифференцируем выражение (5) по углу  $\alpha$ , т. е. найдем  $\frac{d^2\rho_{\text{BH}}}{d\alpha^2}$

$$\begin{aligned} \frac{d^2\rho_{\text{BH}}}{d\alpha^2} &= -2rcos\beta \cdot cos\alpha + 2rsin\beta \cdot sin\alpha - 2rfcos\beta \cdot sin\alpha - 2rsin\beta \cdot cos\alpha - \\ &- \frac{gt^2}{2} sin\alpha + \frac{gt^2}{2} fcos\alpha = -\left(2rcos\beta + 2rfsin\beta - \frac{gt^2}{2} f\right) cos\alpha + \\ &+ \left(2rsin\beta - 2rfcos\beta - \frac{gt^2}{2} sin\alpha\right) = \\ &= -cos\alpha \left[\left(2rcos\beta + 2rfsin\beta - \frac{gt^2}{2} f\right) - \left(2rsin\beta - 2rfcos\beta - \frac{gt^2}{2}\right) \cdot tg\alpha\right]. \end{aligned} \quad (6)$$

Приравняем к нулю выражение (5), т.е.  $\frac{d\rho}{d\alpha} = 0$

$$\begin{aligned} -\left(2rcos\beta + 2rfsin\beta - \frac{gt^2}{2} f\right) sin\alpha - \left(2rsin\beta - 2rfcos\beta - \frac{gt^2}{2}\right) \times \\ \times cos\alpha = 0. \end{aligned} \quad (7)$$

Преобразуем уравнение (7) следующим образом. Перенесем слагаемое  $\left(2rsin\beta - 2rfcos\beta - \frac{gt^2}{2}\right) \cdot cos\alpha$  в правую часть

$$\begin{aligned} -\left(2rcos\beta + 2rfsin\beta - \frac{gt^2}{2} f\right) sin\alpha = \left(2rsin\beta - 2rfcos\beta - \frac{gt^2}{2}\right) \times \\ \times cos\alpha = 0. \end{aligned} \quad (8)$$

Разделим левую и правую часть выражения (8) на  $\left(2rcos\beta + 2rfsin\beta - \frac{gt^2}{2} f\right) \cdot cos\alpha$ .

В результате получим

$$tg \alpha = -\frac{2rsin\beta - 2rfcos\beta - \frac{gt^2}{2}}{2rcos\beta + 2rfsin\beta - \frac{gt^2}{2} f}$$

ИЛИ

$$tg \alpha = \frac{2rfcos\beta - 2rsin\beta + \frac{gt^2}{2}}{2rcos\beta + 2rfsin\beta - \frac{gt^2}{2} f} \quad (9)$$

Подставим выражение (9) в уравнение (6)

$$\frac{d^2 \rho_{\text{ВН}}}{dt^2} = -\cos\alpha \left[ \left( 2r\cos\beta + 2rf\sin\beta - \frac{gt^2}{2} f \right) + \frac{\left( 2r\sin\beta - 2rf\cos\beta - \frac{gt^2}{2} \right)^2}{2r\cos\beta + 2rf\sin\beta - \frac{gt^2}{2} f} \right]. \quad (10)$$

Как известно из курса математического анализа [9] наибольшее значение функции будет в том случае, если вторая производная отрицательная, т. е.  $\frac{d^2 \rho}{d\alpha^2} < 0$ . Проанализируем выражение (10), учитывая, при этом, что  $0 < \alpha < \frac{\pi}{2}$ ,  $0 < \beta < \frac{\pi}{2}$ ,  $t > 0$ . После подстановки значений  $r$ ,  $\beta$  и  $t$  (причем берем численные значения для  $t$  равным  $t_1 = 0,0697$  с,  $t_2 = 0,0628$  с и  $t_3 = 0,0571$  с, что соответствует частоте вращения эксцентрикового вала  $\omega_1 = 45$  с<sup>-1</sup>,  $\omega_2 = 50$  с<sup>-1</sup> и  $\omega_3 = 55$  с<sup>-1</sup> во второй сомножитель выражения (10), получаем, что он положительный для всех трех частот выражения эксцентрикового вала, т. е.

$$\left[ \left( 2r\cos\beta + 2rf\sin\beta - \frac{gt^2}{2} f \right) + \frac{\left( 2r\sin\beta - 2rf\cos\beta - \frac{gt^2}{2} \right)^2}{2r\cos\beta + 2rf\sin\beta - \frac{gt^2}{2} f} \right] > 0.$$

Учитывая, что первый сомножитель выражения (10) отрицательный, то в целом выражение (10) меньше нуля т. е.

$$-\cos\alpha \left[ \left( 2r\cos\beta + 2rf\sin\beta - \frac{gt^2}{2} f \right) + \frac{\left( 2r\sin\beta - 2rf\cos\beta - \frac{gt^2}{2} \right)^2}{2r\cos\beta + 2rf\sin\beta - \frac{gt^2}{2} f} \right] < 0.$$

Следовательно, мы имеем наибольшее значение угла  $\alpha$ , которое определяется из зависимости

$$\alpha_{\text{наиб}} = \arctg \frac{2rf - 2r\sin\beta + \frac{gt^2}{2}}{2r\cos\beta + 2rf\sin\beta - \frac{gt^2}{2} f}. \quad (11)$$

После подстановки в выражение (11) значений  $r$ ,  $f$ ,  $\beta$  и  $t$  получаем, что  $\alpha_{\text{наиб}} = 0,1221$  рад.

Геометрической интерпретацией результатов полученных аналитически является график зависимости перемещения соломины за один оборот эксцентрикового вала от угла наклона рабочего органа (рис. 1).

Для облегчения построения упростим выражение (2) и получим

$$\rho_{\text{ВН}} = D\cos\alpha + E\sin\alpha, \quad (12)$$

где

$$D = \left( 2r\cos\beta + 2rf\sin\beta - \frac{gt^2}{2} f \right), \quad (13)$$

$$E = \left( 2rf\cos\beta - 2r\sin\beta + \frac{gt^2}{2} \right). \quad (14)$$

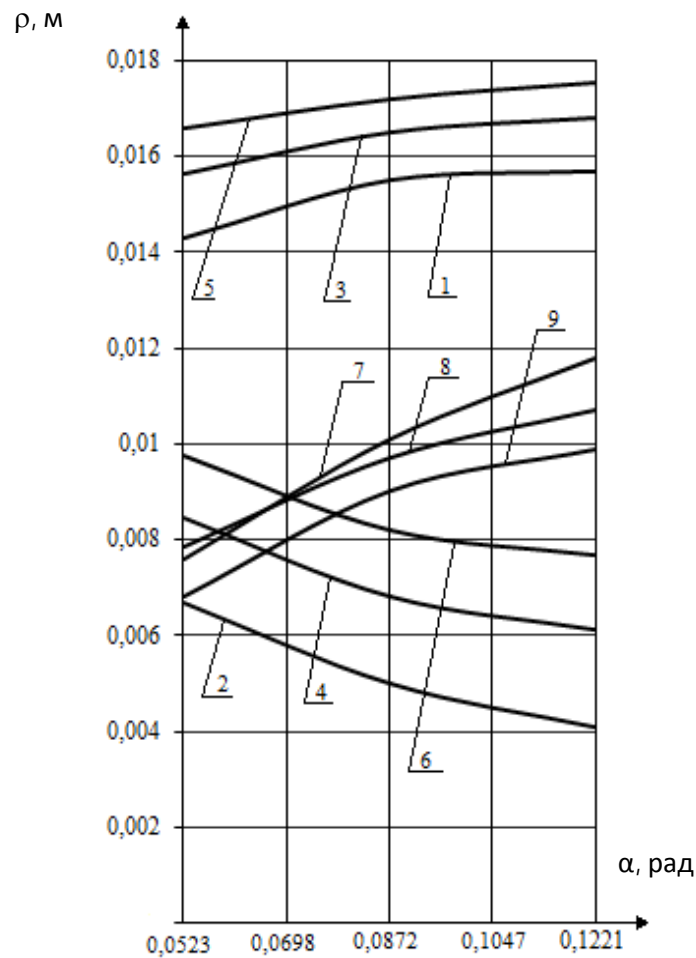


Рис. 1. Зависимости перемещения соломины за один оборот эксцентрикового вала при разных частотах его вращения, от угла наклона рабочего органа 1, 2 и 7 – графики зависимостей  $\rho_{вн} = f(\alpha)$ ,  $\rho_{вв} = f(\alpha)$  и  $\rho = f(\alpha)$ , при  $\omega_1 = 45c^{-1}$  3, 4 и 8 – графики зависимостей  $\rho_{вн} = f(\alpha)$ ,  $\rho_{вв} = f(\alpha)$  и  $\rho = f(\alpha)$ , при  $\omega_2 = 50c^{-1}$  5, 6 и 9 – графики зависимостей  $\rho_{вн} = f(\alpha)$ ,  $\rho_{вв} = f(\alpha)$  и  $\rho = f(\alpha)$ , при  $\omega_3 = 55c^{-1}$

Движение соломины вниз показано кривыми 1, 3 и 5, каждая из кривых отражает движение соломины вниз при различных частотах, так кривая 1 описывает движение соломины вниз, при частоте вращения эксцентрикового вала равной  $45c^{-1}$ , кривая 3 при частоте  $50c^{-1}$ , и соответственно кривая 5 при частоте  $55c^{-1}$ . Как видно из графика эти кривые монотонно возрастающие от своего наименьшего значения значение перемещения соломины наблюдается при угле наклона сепарирующего рабочего органа равному 0,0523 рад и их значение возрастает до значения 0,1221 рад. Т. е. мы видим совпадение расчетного значения наибольшего угла наклона рабочего органа и значения полу-

ченного графическим путем, т. е. путем построения графика зависимости  $\rho_{\text{ВН}} = f(\alpha)$ , при этом наибольшее значение перемещения наблюдается при частоте вращения эксцентрикового вала  $\omega_3 = 55 \text{ с}^{-1}$   $\rho_{\text{ВН}} = 0,01776$  м. С уменьшением частоты вращения эксцентрикового вала наблюдается уменьшение перемещения соломины при ее движении вниз. Так при частоте вращения  $\omega_2 = 50 \text{ с}^{-1}$  перемещение соломины составляет  $\rho_{\text{ВН}} = 0,01705$  м и наконец при  $\omega_1 = 45 \text{ с}^{-1}$   $\rho_{\text{ВН}} = 0,0161$  м.

Рассмотрим теперь движение соломины вверх. Это движение описывается уравнением

$$\rho_{\text{ВВ}} = 2rcos\alpha \cdot cos\beta - 2rsin\alpha \cdot sin\beta - 2rfsin\alpha \cdot cos\beta - 2rfcos\alpha \cdot sin\beta - \frac{gt^2}{2} sin\alpha - \frac{gt^2}{2} fcos\alpha. \quad (15)$$

Для исследования движения соломины вверх используем аналогичную методику. Возьмем первую производную от выражения (15) по углу наклона рабочего органа, т. е.  $\frac{d\rho_{\text{ВВ}}}{d\alpha}$

$$\frac{d\rho_{\text{ВВ}}}{d\alpha} = -2rcos\beta \cdot sin\alpha - 2rsin\beta \cdot cosa - 2rfcos\beta \cdot cosa + 2rfsin\beta \cdot sin\alpha - \frac{gt^2}{2} cosa + \frac{gt^2}{2} fsin\alpha. \quad (16)$$

Приравняем полученное выражение нулю, т. е.  $\frac{d\rho}{d\alpha} = 0$

$$\left(-2rcos\beta + 2rfrsin\beta + \frac{gt^2}{2} f\right) sin\alpha - \left(2rsin\beta + 2rfcos\beta + \frac{gt^2}{2}\right) cosa = 0. \quad (17)$$

Выполняя преобразования уравнения (17) аналогичные проведенным ранее находим  $tg\alpha$

$$tg \alpha = \frac{2rsin\beta + 2rfcos\beta + \frac{gt^2}{2}}{-2rcos\beta + 2rfsin\beta + \frac{gt^2}{2} f}. \quad (18)$$

Находим вторую производную функции  $\rho_{\text{ВВ}} = f(\alpha)$ , т. е.  $\frac{d^2\rho_{\text{ВВ}}}{d\alpha^2}$

$$\begin{aligned} \frac{d^2\rho_{\text{ВВ}}}{d\alpha^2} &= -2rcos\beta \cdot cosa + 2rsin\beta \cdot sin\alpha + 2rfcos\beta \cdot sin\alpha + \\ &+ 2rsin\beta \cdot cosa + \frac{gt^2}{2} sin\alpha + \frac{gt^2}{2} f \cdot cosa = \\ &= \left(-2rcos\beta + 2rfsin\beta + \frac{gt^2}{2} f\right) cosa + \left(2rsin\beta + 2rfcos\beta + \frac{gt^2}{2}\right) sin\alpha = \\ &= cosa \left[ \left(-2rcos\beta + 2rfsin\beta + \frac{gt^2}{2} f\right) + \left(2rsin\beta + 2rfcos\beta + \frac{gt^2}{2}\right) \cdot tg\alpha \right]. \end{aligned} \quad (19)$$

В уравнение (19) подставим значение  $tg\alpha$  т. е. выражение (18)

$$\frac{d^2\rho_{\text{ВВ}}}{d\alpha^2} = cosa \left[ \left(-2rcos\beta + 2rfsin\beta + \frac{gt^2}{2} f\right) + \frac{\left(2rsin\beta + 2rfcos\beta + \frac{gt^2}{2}\right)^2}{-2rcos\beta + 2rfsin\beta + \frac{gt^2}{2} f} \right]. \quad (20)$$

В зависимости от знака выражения (20) функция  $\rho_{\text{ВВ}} = f(\alpha)$  будет иметь наибольшее или наименьшее значение. Если  $\frac{d^2\rho}{d\alpha^2} < 0$ , то функция  $\rho_{\text{ВВ}} = f(\alpha)$  имеет наибольшее значение, а если  $\frac{d^2\rho}{d\alpha^2} > 0$ , то эта функция будет иметь наименьшее значение. Как мы видим выражение (20) представляет собой произведение первый множитель равен  $\cos\alpha$  будет положительным, т. к.  $0 < \alpha < \frac{\pi}{2}$ , а второй множитель необходимо определить, для чего подставим значение  $\beta$ ,  $r$  и  $t$  (для всех трех частот вращения эксцентрикового вала). В результате получается, что

$$\left[ \left( -2r\cos\beta + 2rf\sin\beta + \frac{gt^2}{2}f \right) \cos\alpha + \frac{\left( 2r\sin\beta + 2rf\cos\beta + \frac{gt^2}{2} \right)^2}{-2r\cos\beta + 2rf\sin\beta + \frac{gt^2}{2}f} \right] > 0. \quad (21)$$

Угол  $\alpha$  соответствующий наименьшему значению функции  $\rho_{\text{ВВ}} = f(\alpha)$  найдем из соотношения

$$\alpha = \arctg \frac{2r\sin\beta + 2rf\cos\beta + \frac{gt^2}{2}}{-2r\cos\beta + 2rf\sin\beta + \frac{gt^2}{2}f}. \quad (22)$$

С целью графической интерпретации полученных результатов построим графики зависимости  $\rho_{\text{ВВ}} = f(\alpha)$  для всех исследуемых частот вращения эксцентрикового вала ( $\omega_1 = 45 \text{ с}^{-1}$ ,  $\omega_2 = 50 \text{ с}^{-1}$  и  $\omega_3 = 55 \text{ с}^{-1}$ ) (рис. 1).

Для упрощения графика  $\rho_{\text{ВВ}} = f(\alpha)$  введем обозначения

$$\begin{aligned} L &= 2r\cos\beta - 2rf\sin\beta - \frac{gt^2}{2}f, \\ N &= 2r\sin\beta + 2rf\cos\beta - \frac{gt^2}{2}. \end{aligned} \quad (23)$$

Если ввести эти обозначения, то выражение

$$\begin{aligned} \rho_{\text{ВВ}} &= 2r\cos\alpha \cdot \cos\beta - 2r\sin\alpha \cdot \sin\beta - 2rf\sin\alpha \cdot \cos\beta - \\ &\quad - 2rf\cos\alpha \cdot \sin\beta - \frac{gt^2}{2}\sin\alpha - \frac{gt^2}{2}f\cos\alpha, \end{aligned}$$

существенно упроститься и примет вид

$$\rho_{\text{ВВ}} = \cos\alpha \cdot L - N \cdot \sin\alpha. \quad (24)$$

Используя выражения (23) и (24) построены графики зависимости  $\rho_{\text{ВВ}} = f(\alpha)$  рис. 1 (кривые 2, 4, 6), при  $\omega_1 = 45 \text{ с}^{-1}$ ,  $\omega_2 = 50 \text{ с}^{-1}$  и  $\omega_3 = 55 \text{ с}^{-1}$ .

Приведенные на рис. 1 графики показывают, что наибольшее значение функции  $\rho_{\text{ВВ}}$  наблюдается при угле наклона сепарирующего рабочего органа  $0,0523 \text{ рад}$ , в этом случае  $\rho_{\text{ВВ}} = 0,0067 \text{ м}$ , при частоте вращения эксцентрикового вала  $\omega_1 = 45 \text{ с}^{-1}$  (кривая 2), при увеличении частоты вращения эксцентрикового вала до  $50 \text{ с}^{-1}$  (кривая 4) наибольшее значение перемещения соломины равно соответственно

$\rho_{\text{ВВ}} = 0,00845$  м и эта же тенденция наблюдается при частоте вращения эксцентрикового вала равной  $55 \text{ с}^{-1}$  в этом случае перемещение соломины равно  $\rho_{\text{ВВ}} = 0,00975$  м (кривая б). С увеличением угла наклона рабочего органа уменьшается перемещение соломины, и при угле наклона равным  $0,1221$  рад она достигает наименьшего значения на всех исследуемых частотах вращения эксцентрикового вала.

Идентичный результат получен расчетным путем по формуле (22). Таким образом, угол наклона сепарирующего рабочего органа  $\alpha = 0,1221$  рад, является условием наибольшего значения функции  $\rho_{\text{ВВ}} = f(\alpha)$  и одновременно наименьшего значения функции  $\rho_{\text{ВВ}} = f(\alpha)$  и это дает возможность максимальному полному перемещению соломины за один оборот эксцентрикового вала, при прочих равных условиях, т. е. при одинаковых значениях угла направления колебаний и амплитуды колебаний  $r$ .

Рассмотрим полное перемещение соломины за один оборот эксцентрикового вала. Оно определяется из формулы

$$\rho = \rho_{\text{ВН}} - \rho_{\text{ВВ}}.$$

Если подставить в эту формулу значение  $\rho_{\text{ВН}}$  и  $\rho_{\text{ВВ}}$ , то получим

$$\begin{aligned} \rho = & 2rcos\alpha \cdot cos\beta - 2rsin\alpha \cdot sin\beta + 2rfsin\alpha \cdot cos\beta + 2rfcosa \cdot sin\beta + \\ & + \frac{gt^2}{2} sin\alpha - \frac{gt^2}{2} fcosa - 2rcos\alpha \cdot cos\beta + 2rsin\alpha \cdot sin\beta + 2rfsin\alpha \cdot cos\beta + \\ & + 2rfcosa \cdot sin\beta + \frac{gt^2}{2} sin\alpha + \frac{gt^2}{2} fcosa = 4rfsin\alpha \cdot cos\beta + \\ & + 4rfcosa \cdot sin\beta + gt^2 sin\alpha. \end{aligned}$$

Таким образом, полное перемещение соломины за один оборот эксцентрикового вала определяется формулой

$$\rho = 4rfsin\alpha \cdot cos\beta + 4rfcosa \cdot sin\beta + gt^2 sin\alpha. \quad (25)$$

Используя методику, приведенную в [8], проанализируем функцию (25). Для этого вначале возьмем первую производную от полного перемещения соломины  $\rho$  по углу наклона сепарирующего рабочего органа  $\alpha$ , т. е.  $\frac{d\rho}{d\alpha}$

$$\frac{d\rho}{d\alpha} = 4rfcos(\alpha + \beta) + gt^2 cosa. \quad (26)$$

Приравняем выражение (26) к нулю, т. е.  $\frac{d\rho}{d\alpha} = 0$

$$4rfcos(\alpha + \beta) + gt^2 cosa = 0. \quad (27)$$

Используя формулы сложения углов [10] запишем выражение (26) в виде

$$4rfcosa \cdot cos\beta - 4rfsin\beta \cdot sin\alpha + gt^2 cosa = 0. \quad (28)$$

Учитывая, что  $cosa \neq 0$  разделим левую и правую части уравнения (28) на  $cosa$ , в результате получим

$$4rfcos\beta - 4rfsin\beta \cdot tg\alpha + gt^2 = 0, \quad (29)$$

$$-4rfsin\beta \cdot tg\alpha = -4rfcos\beta - gt^2. \quad (30)$$



Умножим левую и правую части выражения (30) на -1

$$4rf\sin\beta \cdot tg\alpha = 4rf\cos\beta + gt^2. \quad (31)$$

Из формулы (31) находим  $tg\alpha$

$$tg\alpha = \frac{4rf\cos\beta + gt^2}{4rf\sin\beta}. \quad (32)$$

Исходя из выражения (32) определяем формулу для расчета угла  $\alpha$

$$\alpha = \arctg \frac{4rf\cos\beta + gt^2}{4rf\sin\beta}. \quad (33)$$

Покажем, что при этом значении угла  $\alpha$  функция будет иметь наибольшее значение

$$\begin{aligned} \frac{d^2\rho}{d\alpha^2} &= -4rf\sin(\alpha + \beta) - gt^2\cos\alpha = -(4rf\sin\alpha \cdot \cos\beta + 4rf\cos\alpha \cdot \sin\beta + \\ &+ gt^2\cos\alpha) = -\cos\alpha(4rf\cos\beta \cdot tg\alpha + 4rf\sin\beta + gt^2) = \\ &= -\cos\alpha \left( 4rf\cos\beta \cdot \frac{4rf\cos\beta + gt^2}{4rf\sin\beta} + 4rf\sin\beta + gt^2 \right). \end{aligned} \quad (34)$$

При  $\alpha \in [0; 90^\circ]$ ,  $\beta \in [0; 90^\circ]$ ,  $0 < f < 1$ ,  $t > 0$   $\frac{d^2\rho}{d\alpha^2} < 0$ .

Используя функцию (25) построим графики полного перемещения соломины за один оборот эксцентрикового вала при разных частотах его вращения (рис. 1). Кривая 7 показывает изменение полного перемещения соломины при частоте вращения эксцентрикового вала  $\omega_1 = 45 \text{ с}^{-1}$ , на кривой 8 приведен график полного перемещения соломины при  $\omega_2 = 50 \text{ с}^{-1}$  и наконец кривая 9 характеризует изменение перемещения соломины от угла  $\alpha$  при  $\omega_3 = 55 \text{ с}^{-1}$ . Как видно из рис. 1 кривые 7, 8, 9, возрастают с увеличением угла наклона рабочего сепарирующего органа. Так при  $\alpha = 0,0523 \text{ рад}$   $\rho = 0,0076 \text{ м}$  при  $\omega_1 = 45 \text{ с}^{-1}$  с увеличением угла наклона до  $0,1221 \text{ рад}$  полное перемещение соломины достигает  $0,0118 \text{ м}$ , аналогичный характер протекания графиков (кривые 8 и 9) наблюдается и на других частотах вращения эксцентрикового вала. При частоте вращения эксцентрикового вала  $\omega_2 = 50 \text{ с}^{-1}$  наименьшее значение перемещения наблюдается при  $\alpha = 0,0523 \text{ рад}$  и с увеличением угла  $\alpha$  оно растет до  $0,0107 \text{ м}$ , такая же картина наблюдается и при  $\omega_3 = 55 \text{ с}^{-1}$  перемещение соломины растет с увеличением  $\alpha$  от  $\rho = 0,00682 \text{ м}$  до  $0,00987$ .

#### Выводы

1. Для всех трех частот вращения эксцентрикового вала ( $\omega_1 = 45 \text{ с}^{-1}$ ,  $\omega_2 = 50 \text{ с}^{-1}$  и  $\omega_3 = 55 \text{ с}^{-1}$ ) наибольшее полное перемещение соломины наблюдается при одном и том же угле наклона решета  $\alpha = 0,1221 \text{ рад}$ .

2. При увеличении частоты вращения эксцентрикового вала наибольшее значение перемещения соломины уменьшается, от  $\rho = 0,0118 \text{ м}$  при  $\omega_1 = 45 \text{ с}^{-1}$  до  $\rho = 0,00987 \text{ м}$  при  $\omega_3 = 55 \text{ с}^{-1}$ .

3. С учетом вышеизложенного рекомендуется принять угол на-

клона решета  $\alpha = 0,1221$  рад.

*Литература*

1. *Леженкін І. О.* Доробка обчисаного вороху зернових на фураж / *І. О. Леженкін* // Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України; УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого. – Дослідницьке, 2012. – Вип. 16(30) кн. 1; Сільськогосподарська техніка – XXI: конструювання, випробування, прогнозування. – С. 437-441.
2. *Аблогин Н. Н.* Обоснование технологической схемы и параметров устройства для сепарации очесанного вороха риса: дис... канд. техн. наук / *Н. Н. Аблогин*. – Мелітополь, 1997. – 215 с.
3. *Леженкин И. А.* Анализ содержания оборванных колосков в очесанном ворохе озимой пшеницы / *И. А. Леженкин* // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – Мелітополь, 2012. – Вип. 12. – Т. 5 – С. 149-154.
4. *Леженкин И. А.* Математическая модель содержания соломы в очесанном ворохе озимой пшеницы / *И. А. Леженкин* // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – Мелітополь, 2013. – Вип. 13. – Т. 3. – С. 57-62.
5. *Леженкин И. А.* Статистическая модель содержания половы в очесанном ворохе озимой пшеницы / *И. А. Леженкин* // Вісник ХНТУСГ імені Петра Василенка. – Харків, 2013. – Вип. 132. Технічні системи і технології тваринництва. – С. 355-360.
6. *Леженкин И. А.* Статистический анализ содержания свободного зерна в очесанном ворохе озимой пшеницы / *И. А. Леженкин* // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – Мелітополь, 2013. – Вип. 13. – Т. 2 – С. 183-189.
7. Патент кор. мод. 20841. Україна. МПК В 07 В 1/22 (2006.01) Очисник обчисаного вороху / *І. О. Леженкін*. – UA 93 931 U; под. 14.04.2014; надр. 27.10.2014, Бюл. №20.
8. *Никольский С. М.* Курс математического анализа. Т. 1 / *С. М. Никольский*. – М.: Наука, 1975. – 679 с.
9. *Кудрявцев Л. Д.* Математический анализ. Т. 1 / *Л. Д. Кудрявцев*. – М.: Высшая школа, 1980. – 788 с.
10. Пособие по математике для поступающих в вузы: Учеб. пособие / *А. Д. Кутасов, Т. С. Пигалкина, В. И. Чехлов, Т. Х. Яковлева*. Под ред. Г. Н. Яковлевой. – 3-е изд., перераб. – М.: Наука, 1988. – 720 с.

**ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ КУТА НАХИЛУ  
СЕПАРУЮЧОГО РОБОЧОГО ОРГАНУ ДЛЯ ОБРОБКИ  
ОБЧІСАНОГО ВОРОХУ ЗЕРНОВИХ**

М. О. Рубцов, І. О. Леженкін

*Анотація* – у статті розглядається на підставі положень математичного аналізу обґрунтування куту нахилу до горизонту сепаруючого робочого органу для відокремлення крупних соломистих домішок з обчисаного вороху зернових.

**THEORETICAL JUSTIFICATION ANGLE SEPARATING  
THE WORKING BODY FOR PROCESSING OCHESANNOGO  
PILE OF GRAIN**

M. Rubcov, I. Lezhenkin

*Summary*

The article can be seen on the basis of the provisions of the mathematical analysis study angle to the horizontal separation of the working body to highlight the major solomistyh ochesannogo impurities from the heap of grain crops.