

ПРОЦЕССЫ И МАШИНЫ АГРОИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ**PROCESSES AND MACHINERY OF AGRO-ENGINEERING SYSTEMS**

УДК 631.355

ГРНТИ 55.57.37

Бумбар И.В., д-р.техн.наук, профессор,

Кувшинов А.А., аспирант,

Дальневосточный государственный аграрный университет,

г. Благовещенск, Амурская область, Россия

E-mail: pzrk_igla1992@mail.ru

**К ОЦЕНКЕ ОБМОЛОТА ПОЧАТКОВ КУКУРУЗЫ БИЛЬНЫМ БАРАБАНОМ
ЗЕРНОВОГО КОМБАЙНА**

Уборка кукурузы в условиях Амурской области часто происходит как при положительных, так и при отрицательных температурах. Ранее нами установлено, что в таких условиях резко меняются свойства стеблей, початков и зерна, возрастает дробление семян, нередко достигающее 10 – 12%. Известно, что процесс обмолота в бильном молотильном устройстве складывается из нескольких фаз: удар по растительной массе в момент её поступления; захват и протаскивание растительной массы в молотильном зазоре и выход продуктов обмолота через подбарабанье, а также к отбойному битеру. При этом наибольшее механическое ударное воздействие испытывает растительная масса (початки кукурузы) при встрече с вращающимся молотильным барабаном в момент её выхода из наклонной камеры. Многочисленными исследованиями установлено, что с повышением скорости удара бичей барабана по зерну оно больше повреждается и дробится на мелкие части, причем крупные зерна разрушаются более интенсивно, а мелкое зерно для выделения из початков требует большего усилия. В статье рассматриваются теоретические исследования динамического напряжения в початке кукурузы и деформации сжатия початка в молотильном зазоре. Определены силы, действующие на початок в момент заклинивания в молотильном зазоре бильного молотильно – сепарирующего устройства. Проведенные теоретические расчеты показали, что число ударов бичей по початку больше всего зависит от частоты вращения молотильного барабана. Исследования проводились на лабораторной установке для моделирования обмолота бильным молотильным барабаном. В результате проведенных исследований выявлено, что на обмолачиваемость початков кукурузы оказывают влияние следующие факторы: непосредственно удар бича, положение початка и величина его температуры. Для подтверждения полученных данных требуется дальнейшее проведение исследований в реальном технологическом процессе для обоснования режимов работы бильных МСУ зерноуборочных комбайнов на уборке кукурузы на зерно.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ОБМОЛОТ, ПОЧАТОК КУКУРУЗЫ, ДЕФОРМАЦИЯ СЖАТИЯ, МОЛОТИЛЬНЫЙ БАРАБАН, ТЕМПЕРАТУРА

UDC 631.355

Bumbar I.V., Dr. Tech. Sci., Professor;
Kuvshinov A. A., Postgraduate;
Far Eastern State Agrarian University,
Blagoveshchensk, Amur region, Russia
E-mail: pzrk_igla1992@mail.ru

Re: ASSESSMENT OF THRESHING MAIZE EARS BY GRAIN
HARVESTER'S HAMMER DRUM

Maize harvesting in the Amur Region often takes place at positive and negative temperatures as well. Previously we established that under such circumstances the properties of stems, ears and grain change dramatically, increases the crushing of the seeds, not rarely exceeding to 10 – 12%. It is known that the process of threshing in beater threshing device consists of several phases: impact on plant mass at the time of its coming in; capture and dragging the crop into the threshing clearance and outlet of products through the concave and also towards the stripper beater. At that the plant mass (ears) endures the greatest mechanical impact when it meets with a rotating threshing drum in the moment of its exit from the inclined camera. Many researches show that with increase in the impact velocity of the drum vanes the grain becomes more damaged and is crushed into small pieces. Moreover large grains are destroyed more rapidly and small grains need more effort to be discharged from the ear. The article examines the theoretical studies of dynamic tension in the maize ear, and deformation of the ear in the threshing gap. We determined the forces that influence the ear in the moment of jamming in the threshing gap of separating device. Theoretical calculations showed that the number of attacks of vanes on the ear depends mostly on the frequency of rotation of threshing drum. The studies were conducted in laboratory device designed for thresh simulation with threshing drum. As a result of researches it was revealed that thrashability of maize ears depends on the following factors: blow of vane, the position of ear and value of its temperature. In order to confirm the obtained data further research should be carried out in the real technological process for substantiation of operating modes of threshing and separating devices of combine harvesters during maize grain gathering.

KEY WORDS: THRESHING, MAIZE EAR, COMPRESSIVE DEFORMATION, THRESHING DRUM, TEMPERATURE

Початок кукурузы является цилиндрическим телом, которое состоит из мягкой сердцевины, отличающейся пластическими и незначительными упругими свойствами. По периферии сердцевины расположены гораздо более твердые зерна, отличающиеся особыми упруго-пластическими свойствами в зависимости от стадии спелости, влажности и температуры.

Можно предположить, что процесс разрушения початка в молотильном аппарате представляется преимущественно как свободный удар стальной поверхности бича по упруго пластическому телу при положительных и достаточно жесткому телу при отрицательных температурах, которые наблюдаются в условиях Амурской области.

Предположим, что початок кукурузы прямоугольной формы падает с некоторой высоты h на металлическую поверхность и в нем происходят процессы деформации и разрушения, сравнимые с ударом молотильного барабана по початку с объемным весом γ (рис 1).

Кинетическая энергия початка в момент удара равна:

$$T_0 = \gamma \cdot F \cdot l \cdot h = Q \cdot h \quad (1)$$

Считаем, что эта кинетическая энергия целиком переходит в потенциальную энергию деформации початка.

В момент удара между початком и неподвижной металлической поверхностью возникает давление равное силе инерции ударяющего початка, складывающейся из сил инерции отдельных его частей (для початка это стержень и зерно).

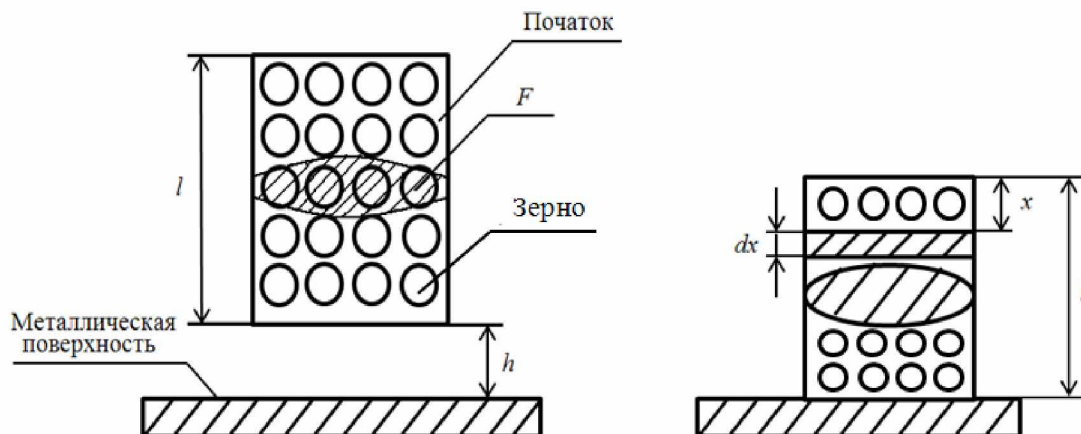


Рис. 1. Схема к определению динамического напряжения в початке кукурузы: l – длина початка; F – площадь поперечного сечения; h – высота падения початка

Принимаем, что в момент удара все элементы початка испытывают одно и то же ускорение, направленное вверх. Поэтому напряжение в нашем початке будет таким же, как будто ко всем частям подающего початка были приложены равномерно распределенные по объему силы инерции. Поэтому динамическая нагрузка початка будет подобна статической нагрузке его собственного веса. Отсюда получим, что зависимость между потенциальной энергией деформации при ударе U_g и наибольшим динамическим напряжением (в нижнем сечении), δ_{gmax} будет такой же, как связь между статической энергией U_c и δ_{cmax} при статической нагрузке собственным весом початка, опирающегося нижним концом на металлическую поверхность.

В этом случае напряжения в любом сечении, отстоящем на X от верхнего конца початка, запишем:

$$\delta_x = \gamma \cdot x = \delta_{cmax} \frac{x}{l}, \quad (2)$$

где $\delta_{cmax} = \gamma \cdot l$ – напряжение по нижнему сечению початка;
 γ – объемный вес материала початка, кг/м³.

Энергия, накопленная в элементе длиной dx у сечения с абсциссой x , равна[1]:

$$dU_c = \frac{\delta_x^2}{2E} dx \cdot F = \frac{\delta_{cmax}^2}{2E} \cdot F \cdot \frac{x^2}{l^2} dx, \quad (3)$$

где E – модуль упругости материала початка, Н/м²

$$E = \frac{P \cdot l}{\Delta l \cdot F}$$

где P – сила сжатия, Н; l – длина стержня, м; Δl – деформация, м; F – площадь поперечного сечения, м²

Вся энергия составит:

$$U_c = \int_0^l dU_c = \frac{F \cdot \delta_{cmax}^2}{2E \cdot l^2} \int_0^l x^2 dx = \frac{\delta_{cmax}^2}{\delta \cdot E} \cdot F \cdot l, \quad (4)$$

При ударе имеем:

$$U_g = \frac{\delta_{gmax}^2}{\delta \cdot E} \cdot F \cdot l, \quad (5)$$

Приравнивая величины U_g кинетической энергии удара

$$T_0 = \gamma \cdot F \cdot l \cdot h = Q \cdot h, \text{ получим:}$$

$$\frac{\delta_{gmax}^2}{\delta \cdot E} \cdot F \cdot l = \gamma \cdot F \cdot l \cdot h = T_0, \quad (6)$$

откуда имеем:

$$\delta_{gmax} = \sqrt{\frac{\delta \cdot E \cdot T_0}{F \cdot l}} = \sqrt{\delta \cdot E \cdot \gamma \cdot h}, \quad (7)$$

Так как $h = \frac{V^2}{2g}$, где V – скорость початка в момент удара о металлическую поверхность, то:

$$\delta_{gmax} = V \sqrt{\frac{3 \cdot E \cdot \gamma}{g}}, \quad (8)$$

Из этого выражения можно найти скорость разрушения початка при ударе о стальную поверхность:

$$V = \delta_{gmax} \sqrt{\frac{g}{3 \cdot E \cdot \gamma}}, \quad (9)$$

где δ_{gmax} – наибольшее (максимальное) динамическое напряжение в точке контакта початка с металлической поверхностью

при его разрушении (определяется экспериментально); $\delta_c = \frac{P}{F}$ – сила сжатия, Н; F – площадь контакта, m^2 ; E – модуль упругости материала початка, N/m^2 ; γ – объемный вес материала початка, kg/m^3 ; g – ускорение свободного падения тела, m/s^2

Из выражения (9) можно найти критическую скорость разрушения початка при ударе, если экспериментально определить модуль упругости материала початка (E , N/m^2), допустимое напряжение сжатия початка, при котором начинается его разрушение (δ_{gmax} , N/m^2), объемная масса материала початка kg/m^3 .

В тоже время надо иметь в виду, что напряжение в зоне контакта является функцией не только скорости удара, но и состояния початка (влажность, температура (замёрзший початок), его форма. Всё

это необходимо учесть, установив соответствующий коэффициент, связанный с показателем δ_g . Так как, δ_g и E тесно связаны, их можно обозначить как некий коэффициент K_p , тогда

$$K_p = \frac{\delta_{gmax}}{\sqrt{E}}, \text{ а } V = K_p \sqrt{\frac{g}{3\gamma}} \quad (10)$$

Таким образом, определив экспериментально принятый нами коэффициент K_p , можем рассчитывать критическую скорость разрушения початка, зная величину γ (объемная масса початка, kg/m^3). Для примерного расчёта V из выражения (10) значения E и δ_{gmax} можно взять для дерева [1].

Для анализа деформации початка, попавшего в молотильный зазор, построим систему координат XOY с началом в центре барабана точке O (рис. 2).

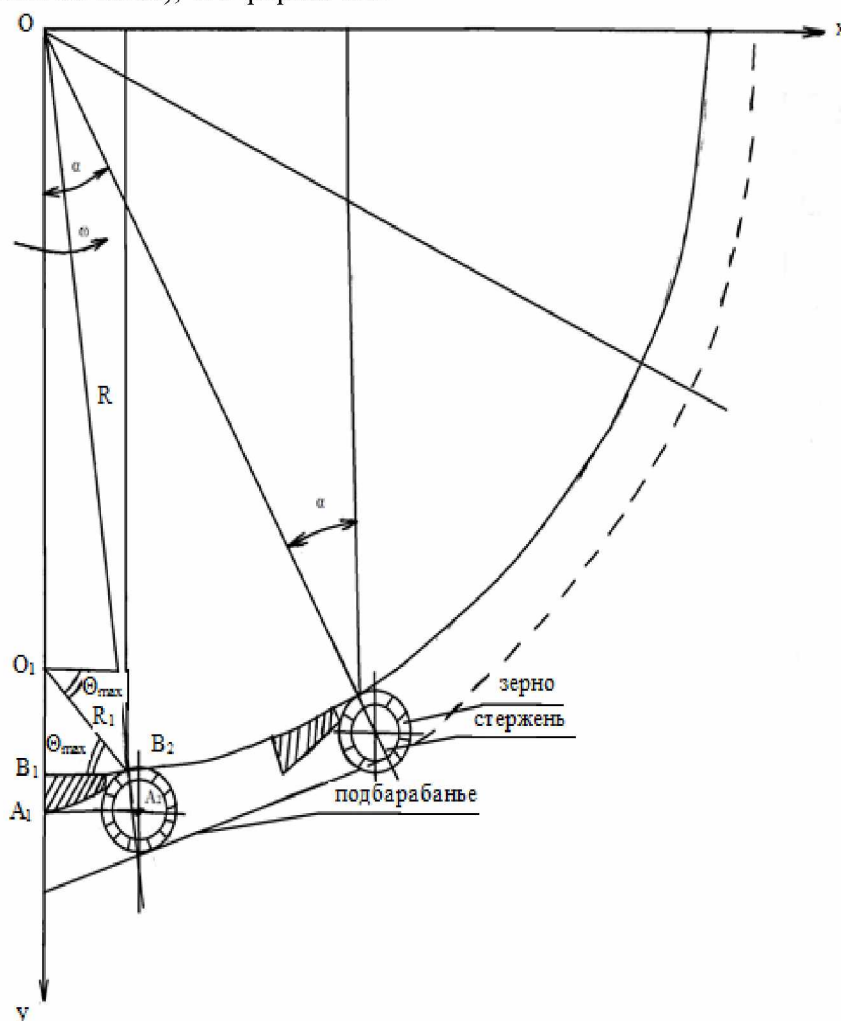


Рис. 2. Схема для определения деформации сжатия початка в молотильном зазоре
 R – расстояние от точки B_2 до центра барабана; R_1 – расстояние от точки B_2 до центра дуги бича;
 $e = OO_1$ – эксцентриситет, м; θ_{max} – угол, определяющий положение точки B_2 на поверхности бича

Отрезок A_2B_2 определяет максимальную деформацию δ_{\max} . Через параметры барабана и бича запишем координаты точки B_2 :

По оси X

$$R_1 \sin \theta_{\max} = R \sin \alpha; \quad (11)$$

по оси Y

$$e + R_1 \cos \theta_{\max} = R \cos \alpha, \quad (12)$$

где

$$R = OB_2 = OB_1$$

$$R_1 = O_1B_2 = O_1A_1$$

Возведем обе части уравнений (11) и (12) в квадрат

$$R_1^2 \sin^2 \theta_{\max} = R^2 \sin^2 \alpha \quad (13)$$

$$e^2 + 2eR_1 \cos \theta_{\max} + R_1^2 \cos^2 \theta_{\max} = R^2 \cos^2 \alpha \quad (14)$$

Сложим уравнение (13) и (14) и преобразуем

$$R_1^2 \sin^2 \theta_{\max} + e^2 + 2eR_1 \cos \theta_{\max} + R_1^2 \cos^2 \theta_{\max} = R^2 \sin^2 \alpha + R^2 \cos^2 \alpha$$

$$e^2 + 2eR_1 \cos \theta_{\max} + R_1^2 (\sin^2 \theta_{\max} + \cos^2 \theta_{\max}) = R^2 (\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha) = R^2$$

$$R_1^2 + 2eR_1 \cos \theta_{\max} + e^2 = R^2 \quad (15)$$

Из уравнения (15) определим

$$R = \sqrt{R_1^2 + 2eR_1 \cos \theta_{\max} + e^2} \quad (16)$$

Из рисунка 2 видно, что максимальная деформация сжатия равна

$$\delta_{\max} = B_2A_2 = A_1B_1 = OO_1 + O_1A_1 - O_1B_1 \quad (17)$$

Подставив в выражение (16) их значения получим окончательно деформацию сжатия:

$$\delta_{\max} = e + R_1 - \sqrt{R_1^2 + 2eR_1 \cos \theta_{\max} + e^2} \quad (18)$$

Таким образом, если максимальная деформация сжатия на выходе из барабана меньше, чем средние размеры зерен, то зерно не будет заклиниваться и дробление их будет минимальным и не будет связано с молотильным зазором.

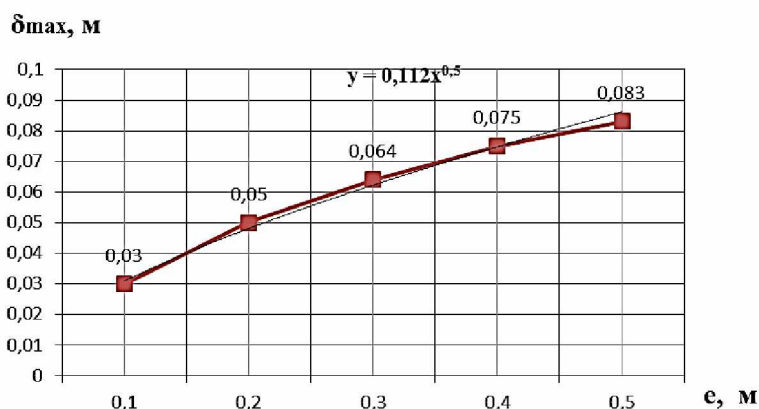


Рис. 3. Зависимость максимальной деформации сжатия початка от эксцентриситета

Для того, чтобы произошло заклинивание зерна в молотильном зазоре, необходимо возникновение сил, втягивающих его к вершине угла заклинивания α . При этом на зерно действуют силы N_1 и N_2 – результирующие нормальных сил; $F_1 = f_1 N_1$ и $F_2 = f_2 N_2$ – результирующие сил трения; f_1 и f_2 – фактические коэффициенты трения в местах контакта (f_1 – коэффициент трения металла о початок, f_2 – коэффициент трения початка о металл) [2].

Предполагаем, что в заклиненном состоянии зерно на какое-то мгновение неподвижно в молотильном зазоре отно-

сительно барабана и подбарабанья, поэтому сумма проекций сил, действующих на зерно на ось OX и OY должны быть равны нулю [2]:

$$P_x = -F_2 + N_1 \sin \alpha - F_1 \cos \alpha = 0 \quad (19)$$

$$P_y = N_2 - N_1 \cos \alpha - F_1 \sin \alpha = 0 \quad (20)$$

Подставив в равенство (19) и (20) значения сил трения получим:

$$-f_2 N_2 = -N_1 (\sin \alpha - f_1 \cos \alpha) \quad (21)$$

$$f_2 N_2 = N_1 f_2 (\cos \alpha - f_1 \sin \alpha) \quad (22)$$

Умножим обе части равенства (21) на f_2 , получим:

$$-f_2 N_2 = -N_1 (\sin \alpha - f_1 \cos \alpha) \quad (23)$$

$$N_2 = N_1 (\cos \alpha - f_1 \sin \alpha) \quad (24)$$

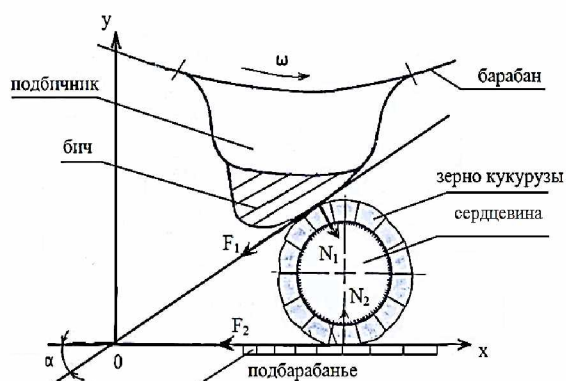


Рис. 4. Схема сил, действующих на початок, в момент заклинивания в молотильном зазоре МСУ

Складывая почленно равенство (23) и (24) получим:

$$-N_1(\sin \alpha - f_1 \cos \alpha) + N_1 f_2 (\cos \alpha - f_1 \sin \alpha) = 0 \quad (25)$$

Сократив N_1 и разделив на $\cos \alpha$, получим:

$$-\operatorname{tg} \alpha + f_1 + f_2 + f_1 f_2 \operatorname{tg} \alpha = 0 \quad (26)$$

После некоторых преобразований окончательно получим:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{f_1 - f_2}{1 - f_1 f_2} \quad (27)$$

Равенство (27) связывает угол заклинивания с коэффициентами трения в заклиненном состоянии.

Предельные значения коэффициентов трения f_1 и f_2 зерна кукурузы по стали равны коэффициенту трения скольжения f_c , поэтому в первом приближении можно определить величину угла α , при котором произойдет заклинивание початка. Для этого достаточно выполнять неравенство [2,3].

$$\alpha \leq \operatorname{arctg} \frac{2f_c}{1 - f_c^2} \quad (28)$$

Таким образом, когда зазор между барабаном и подбарабаньем на выходе меньше, чем средние размеры толщины початка, то значительная часть их заклинивается между барабаном и планками подбарабанья и разрушается, то есть величина молотильного зазора превалирует над другими факторами, влияющими на разрушение початков и механическое повреждение зерна, попадающего в зону контакта.

Многочисленными исследованиями установлено, что с повышением скорости удара бичей барабана по зерну оно больше повреждается и дробится на мелкие части, причем крупные зерна разрушаются более интенсивно, а мелкое зерно для выделения из початков требует большего усилия.

Наибольшее влияние на процесс обмолота оказывают прежде всего частота вращения молотильного барабана, а также величина среднего молотильного зазора между бичами и планками подбарабанья и количество бичей.

Количество ударов бичей барабана по початку можно определить из выражения:

$$K = \frac{n \cdot m \cdot \alpha (R + \delta)}{60 V_{\text{ср. п. м.}}}$$

где R - радиус барабана в м (0,8 м);
 n - число оборотов барабана в мин (200, 300, 400, 500 об/мин); m - число бичей (12 шт.); α - угол обхвата подбарабаньем в радианах (2,27 рад); $V_{\text{ср. п. м.}}$ - средняя скорость растительной массы в молотильном зазоре (10 м/с); δ - средний зазор между бичами и планками подбарабанья (20, 30, 40, 50 мм)

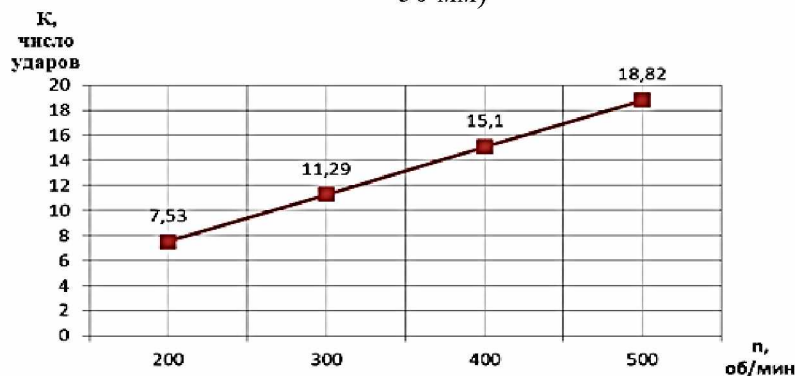


Рис. 5. Зависимость числа ударов бичей по початку от частоты вращения молотильного барабана

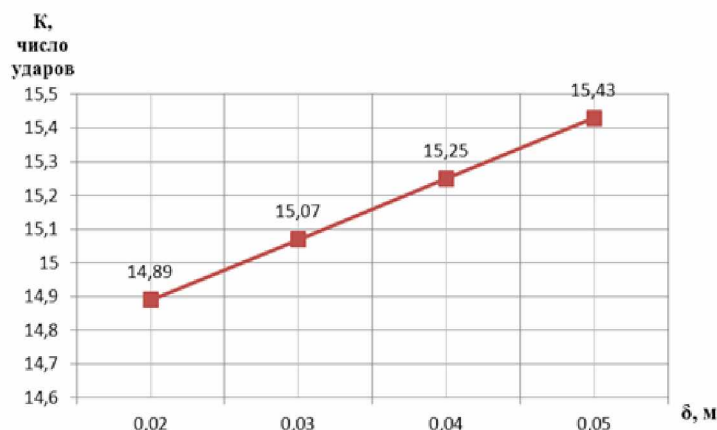


Рис. 6. Зависимость числа ударов бичей по початку от среднего зазора между бичами и планками подбарабья

На рис. 5 и 6 представлены результаты расчёта $K_{в}$ зависимости от π и δ . Расчёт показывает линейную зависимость выбранных параметров на количество ударов по початку и определяется зависимостями $K=f(n)$ и $K=f(\delta)$.

Для проверки теоретических предпосылок проводилось моделирование процесса обмолота початков кукурузы ударом бича на специально изготовленной на кафедре ТЭС и МАПК установке (рис. 7).

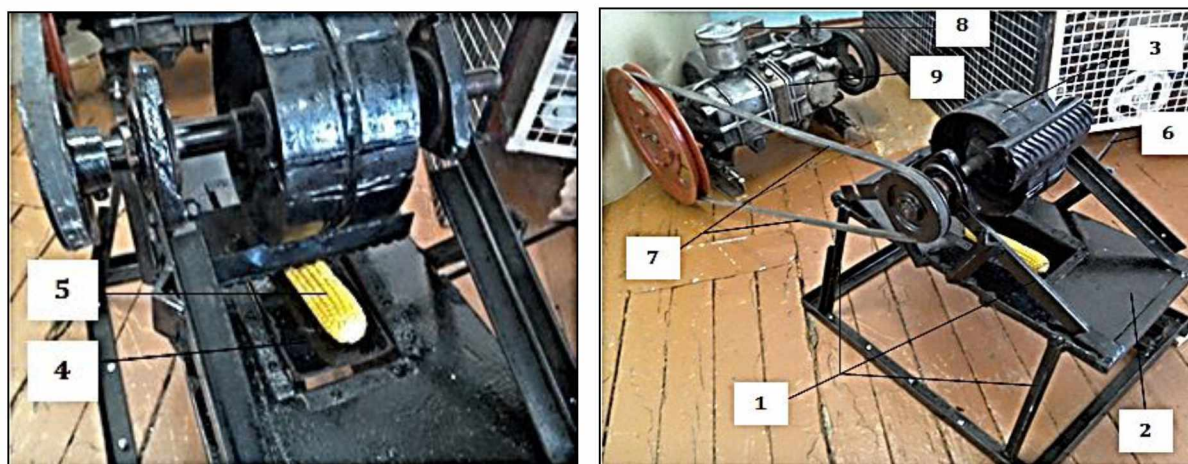


Рис. 7. Лабораторная установка для моделирования обмолота кукурузы бильным молотильным барабаном: 1 – рама; 2 – стол; 3 – молотильный барабан с бичами; 4 – подающая опорная площадка для початка; 5 – початок кукурузы; 6 – рычаг подачи початка в зону обмолота; 7 – ременьный привод; 8 – электродвигатель; 9 – редуктор

Установка состоит из рамы 1, на которой обмолачивающий барабан с бичами 3. Привод осуществлялся от электродвигателя 8 через редуктор 9, позволяющий изменять частоту вращения вала молотильного барабана от 50 до 1100 оборотов в минуту. Регулировка частоты вращения вала молотильного барабана производилась при помощи вариатора числа оборотов. Початок кукурузы устанавливался на подающую опорную площадку 4. Подача в зону обмолота осуществлялась при помощи рычага 6.

Для проведения опытов отбирались початки кукурузы гибрида «Фалькон» урожая 2016 года, которые имели следующие характеристики:

- длина 185 – 187 мм;
- диаметр в средней части 30 – 42 мм;
- вес 130 – 140 г;
- влажность зерна и стержня 18 – 21%

Для каждой серии опытов устанавливались температуры: +5°C; +15°C; -5°C; -10°C.

Партии початков, имеющих одинаковые размерно-весовые характеристики и температуру, подвергались обмолоту ударом с трёхкратной повторностью при различных направлениях удара (рис. 8):

- 1 – вдоль оси початка;
- 2 – поперёк оси початка;
- 3 – под углом 45° к оси початка

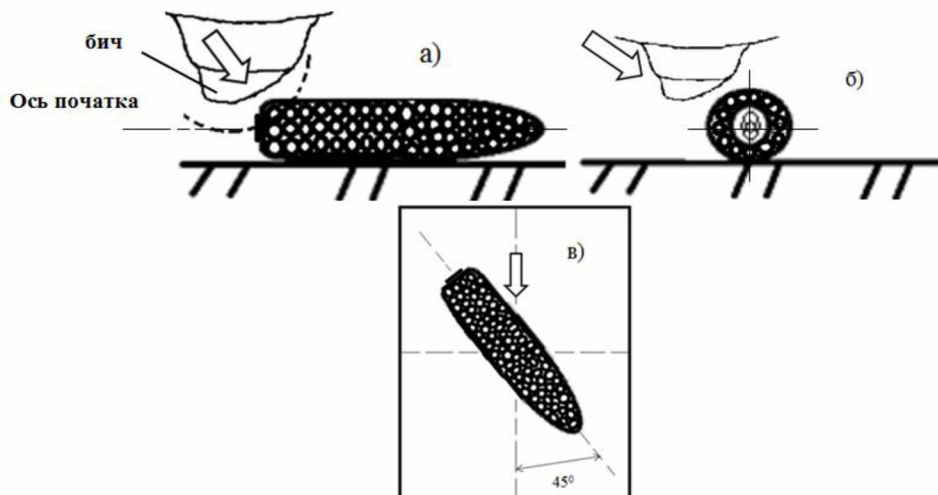


Рис. 8. Схемы направлений удара по початку: а) удар параллельно оси початка; б) удар перпендикулярно оси початка; в) удар относительно оси початка под углом 45°

Задавая частоту вращения барабана 500, 700, 900 и 1100 об/мин, которая выбиралась исходя из необходимой окружной скорости бича, проводили серию опытов для различных направлений удара по початку и температуре зерна -10°C . Темпера-

тура выбрана на основании ранее проведенных исследований температурного режима в период уборки кукурузы.

Результаты опытов характеризовались: вес початка после обмолота $G_{п}$, %; доля вымолоченного зерна $G_{вз}$, %; доля дробленого зерна $G_{дз}$, %.

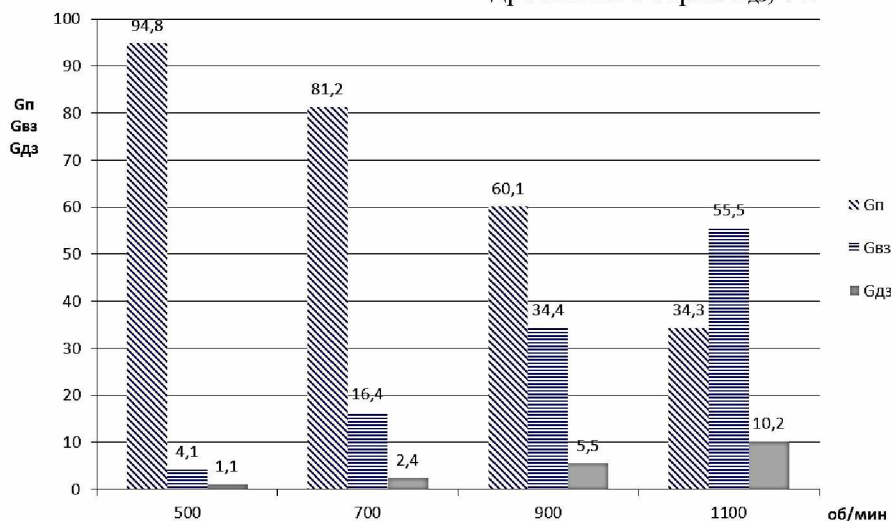


Рис. 9. Обмолочиваемость початков кукурузы и дробление зерна в зависимости от частоты вращения бильного барабана (направление удара бича – поперёк оси початка, температура початка $t_{п} = -10^{\circ}\text{C}$)

Выводы:

1. В результате проведенного теоретического исследования установлен процесс возможного разрушения (обмолота)

початков кукурузы в зависимости от их заземления в молотильном зазоре, связанного с величиной коэффициента трения початков о стальную поверхность.

2. Определено влияние числа ударов бичей по початку в зависимости от частоты вращения барабана и величины молотильного зазора.

3. Проведенные эксперименты показали, что обмолачиваемость початков кукурузы в значительной мере зависит от явления удара бича и положения початка и величины его температуры.

4. Требуется дальнейшее проведение исследований в реальном технологическом процессе для обоснования режимов работы МСУ зерноуборочных комбайнов с бильным молотильным барабаном при уборке кукурузы на зерно, особенно при отрицательной температуре.

Список литературы

1. Беляев, Н.М. Сопротивление материалов: Учебник для высших технических заведений /Н.М. Беляев. - М: Гостехиздат, 1954. – С. 351-375.
2. Кленин, Н.И. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины /Н.И. Кленин, В.А. Сакун. - М.: Колос, 1994 г. - 751 с.
3. Липкович, Э.И. Процессы обмолота и сепарации в молотильных аппаратах зерноуборочных комбайнов: пособие для конструкторов зерноуборочных машин / Э.И. Липкович. – Зерноград : ВНИПТИМЭСХ. –1973. – 168 с.

Reference

1. Belyaev, N.M. Soprotivlenie materialov: Uchebnik dlya vysshikh tekhnicheskikh zavedenii (Resistance of Materials: Text-Book for Higher Technical Institutions), M., Gostekhizdat, 1954, PP. 351-375.
2. Klenin, N.I., Sakun, V.A. Sel'skokhozyaistvennye i meliorativnye mashiny (Agricultural and Reclamation Machines), M., Kolos, 1994, 751 p.
3. Lipkovich, E.I. Protsessy obmolota i separatsii v molotil'nykh apparatakh zernouborochnykh kombainov: posobie dlya konstruktorov zernouborochnykh mashin (Processes of Threshing and Separation in Hammering Apparatuses of Combine Harvesters: Manual for Designers of Grain Machines), Zernograd, VNIPTIMESKh, 1973, 168 p.

УДК 631.31

ГРНТИ 55.57.31

Орехов Г.И., канд. техн. наук, доцент,

E-mail: or-gi@mail.ru,

Цыбань А.А., канд. техн. наук, ст. науч. сотр.,

E-mail: tcyban96@mail.ru;

ФГБНУ ДальНИИМЭСХ,

г. Благовещенск, Амурская область, Россия

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩЕГО ОРУДИЯ ДЛЯ ЗАДЕЛКИ СИДЕРАТА

Для решения задачи по заделке сидератов в системе биологического земледелия без снижения производительности машино-тракторного агрегата разработано принципиально новое почвообрабатывающее орудие для основной обработки почвы с одновременной заделкой сидератов в верхний слой почвы, технологическая схема которого должна обеспечить отсутствие роста количества частиц почвенных размером менее одного миллиметра в верхнем слое почвы и качественное осуществление технологического процесса на почвах с твердостью до одного мегапаскаля. При предложенной схеме расстановки рабочих органов передний ряд сферических вырезных дисков (ротор) имеет привод от вала отбора мощности трактора. В его задачи входит «вырывание» растений из почвы и их сваливание с частичным измельчением.