

*Присяжная Ирина Михайловна*

*Присяжная Серафима Павловна*

## **ОБМОЛОТ И СЕПАРАЦИЯ ЗЕРНА**

### **В ДВУХФАЗНОМ МОЛОТИЛЬНОМ УСТРОЙСТВЕ КОМБАЙНА**

**Ключевые слова:** соя, уборка, двухфазный обмолот, повреждение, сепарация, сбор, качественные семена.

*В данной монографии рассматривается проблема обмолота и сепарации зерна в двухфазном молотильном устройстве комбайна. При комбайновой уборке сои высококачественные семена попадают в общую массу зерна, проходят всю стадию обмолота первым и вторым барабанами, очистку, дробятся на половинки и мелкие части и отсортировываются при послеуборочной обработке. Авторы приходят к выводу, что при такой технологии уборки сои более 50% семян недополучают заложенный природой ресурс повышения урожая, так как разнокачественные семена не разделяются и не собираются отдельно в процессе работы воздушно-решетной очистки комбайна. По данным проведенных ранее исследований потери урожая сои составляют 2,7 – 3,3 ц/га.*

**Keywords:** soybean, harvesting, two-phase threshing, damage, separation, collection, quality seeds.

*This monograph deals with the problem of threshing and grain separation in two-phase threshing device of the combine. During combine harvesting, high-quality seeds of soya fall into the total mass of the grain, pass through the entire threshing stage by the first and second drums, cleaning, crushing into halves and small parts and sorted out after post-harvest processing. The authors conclude that with this soybean harvesting technology, more than 50% of the seeds are not receiving the natural resource of yield gain, since the different-quality seeds are not separated or collected separately during the operation of the air-screen cleaning of the combine. According to earlier studies, soybean yield losses are 2.7–3.3 dt/ha.*

По данным многих авторов [1–4] зерноуборочные комбайны значительно дробят зерно сои (до 20%) при обмолоте и транспортировании, а также не

разделяют семена по биологической разнокачественности, формирование которых на растениях сои начинается на ранних стадиях развития растений и они обладают большей массой, повышенной энергией роста, высокой всхожестью и продуктивностью.

При комбайновой уборке сои эти высококачественные семена попадают в общую массу зерна, проходят всю стадию обмолота и очистки, соответственно дробятся на половинки и мелкие части и отсортировываются при послеуборочной обработке. В таком случае в используемой технологии уборки сои и послеуборочной обработки более 50% семян недополучают заложенный природой ресурс повышения урожая, так как разнокачественные семена не разделяются и не собираются отдельно в процессе работы молотилки и воздушно-решетной очистки комбайна. Потери урожая сои по данным исследований, проведенных ранее, составляют 2,7 – 3,3 ц/га.

Обмолот и дальнейшая сепарация зерна сои зависит от многих факторов, в том числе и от длины деки. Однако достоверная оценка влияния длины деки молотильно-сепарирующего устройства двухфазного обмолота на его обмолачивающую и сепарирующую способность в настоящее время определяется только экспериментально.

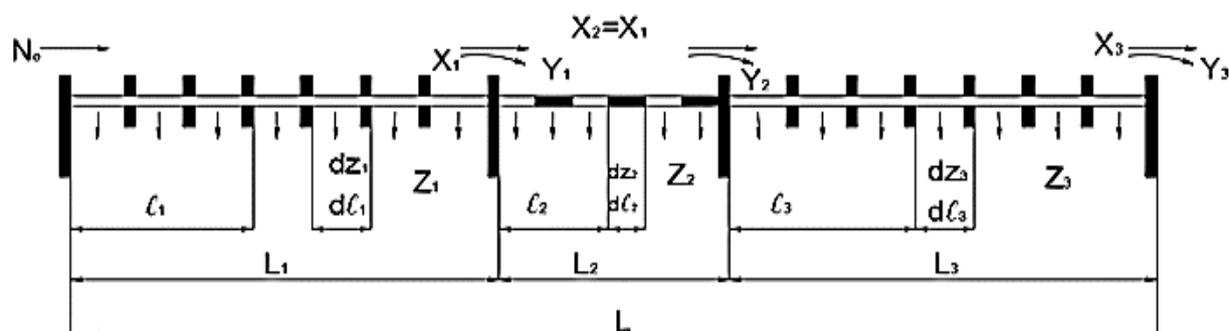


Рис. 1. Схема процесса обмолота и сепарации зерна по длине молотильно-сепарирующего устройства комбайна двухфазного обмолота

На рис. 1 показана схема единого процесса обмолота и сепарации зерна в молотильно-сепарирующем устройстве комбайна с двумя бильными барабанами

диаметром равным 550 мм с углом обхвата по 1280 и четырех лопастным промежуточным битем. Принимаем, что:

– при движении массы на участке  $L_2$  обмолота зерна промежуточным битем не производится;

– тонкий слой сепарирующей решетки является своеобразным «частично-поглощающим экраном», у которого интенсивность поглощения  $\frac{dz}{dl}$  (прохода) зерна в данном месте (на расстоянии  $l$  от начала решетки) пропорциональна, количеству обмолоченных зерен (проходových частиц) на решетке в данном месте, т.е.

$$\frac{dZ}{dl} = -\mu y \quad (1)$$

На основании вышеизложенных допущений можно считать, что процесс обмолота и сепарации зерна через решетки деки и промежуточного битема можно также считать единым установившемся вероятностным процессом при неизменных условиях работы и регулировках молотильного устройства. Тогда уравнение материального баланса для участка решетки первого молотильного барабана, ограниченного длиной  $L_1$ , в относительных единицах (при  $N_0 = 1$ ) будет иметь вид:

$$Z_1 + Y_1 + X_1 = 1 \quad (2)$$

где  $Z_1$  – количество зерна прошедшего через решетку на участке длиной  $L_1$ ;  $Y_1$  и  $X_1$  – количество свободного и невымолоченного зерна в ворохе, сошедшего с участка решетки длиной  $L_1$ .

Уравнения, описывающие процесс обмолота и сепарации зерна для участка деки длиной  $L_1$  на основании исследований И.Ф. Василенко, С.А. Алферова, М.А. Пустыгина и др. можно записать:

$$X_1 = e^{-A_1 - \mu_{01}L_1} \quad (3)$$

$$Z_1 = 1 - e^{-\mu_1 L_1} + \frac{\mu_1 e^{-A_1} (e^{-\mu_{01} L_1} - e^{-\mu_1 L_1})}{\mu_{01} - \mu_1} \quad (4)$$

$$Y_1 = e^{-\mu_1 L_1} + \frac{\mu_1 e^{-A_1 - \mu_1 L_1} - \mu_{01} e^{-A_1 - \mu_{01} L_1}}{\mu_{01} - \mu_1} \quad (5)$$

где  $e^{-A_1}$  – количество не вымолоченного зерна на первой планке деки первого барабана;

$\mu_{01}$  – коэффициент, характеризующий интенсивность процесса обмолота зерна по длине  $L_1$  деки первого барабана; принимаем  $\mu_{01} = \text{const}$  по всей длине деки;

$\mu_1$  – коэффициент, характеризующий интенсивность процесса сепарации зерна; также принимаем  $\mu_1 = \text{const}$  по всей длине  $L_1$  деки;

$e$  – основание натуральных логарифмов.

На участок промежуточного битера  $L_2$  поступит невымолоченного зерна  $X_1$  выражение (3) и свободного зерна  $Y_1$  выражение (5). Но так как промежуточный битер не производит вымолота зерна, то сепарация его на данном участке, согласно выражению (3) составит

$$Z_2 = Y_1 (1 - e^{-\mu_2 L_2}), \quad (6)$$

которое после преобразований примет вид:

$$Z_2 = e^{-\mu_1 L_1} - e^{-\mu_1 L_1 - \mu_2 L_2} + \frac{e^{-A_1} (\mu_1 e^{-\mu_1 L_1} - \mu_{01} e^{-\mu_{01} L_1})}{\mu_{01} - \mu_1} - \frac{e^{-A_1 - \mu_2 L_2} (\mu_1 e^{-\mu_1 L_1} - \mu_{01} e^{-\mu_{01} L_1})}{\mu_{01} - \mu_1} \quad (7)$$

где  $\mu_2$  – коэффициент, характеризующий интенсивность процесса сепарации зерна на длине  $L_2$ ; принято, что  $\mu_2 = \text{const}$  на всей длине  $L_2$  решетки промежуточного битера.

Суммарная сепарация зерна  $Z$  на участке  $L_2$  составит:

$$Z = Z_1 + Z_2 = 1 - e^{-\mu_1 L_1 - \mu_2 L_2} - e^{-A_1 - \mu_{01} L_1} - \frac{e^{-A_1 - \mu_2 L_2} (\mu_1 e^{-\mu_1 L_1} - \mu_{01} e^{-\mu_{01} L_1})}{\mu_{01} - \mu_1} \quad (8)$$

Анализируя выражение (8), видим, что при  $L_2=0$  оно принимает вид (4), т.е. в начале зоны промежуточного битера количество прошедшего зерна через решетку равно количеству зерна, просепарированного в конце участка  $L_1$ .

Подставляя в выражение (2) значение  $Z$  и  $X_1$ , получим выражение для  $Y_2$ , которое после преобразований примет вид:

$$Y_2 = e^{-\mu_1 L_1 - \mu_2 L_2} + \frac{e^{-A_1 - \mu_2 L_2} (\mu_1 e^{-\mu_1 L_1} - \mu_{01} e^{-\mu_{01} L_1})}{\mu_{01} - \mu_1}, \quad (9)$$

где  $Y_2$  – количество свободного зерна, перешедшего с участка  $L_2$  на участок второго барабана  $L_3$ .

Если принять, что  $\mu_3$  – коэффициент сепарации зерна на третьем участке, то сепарация зерна через участок деки второго барабана  $L_3$  будет равна:

$$Z_3 = (X_1 - X_1 e^{-A_3})(1 - e^{-\mu_3 L_3}) + Y_2(1 - e^{-\mu_3 L_3}) + \Delta Z_3 \quad (10)$$

где  $X_1 e^{-A_3}$  – количество не вымолоченных зерен в первой стадии обмолота второго барабана;

$A_3$  – коэффициент, учитывающий обмолот у первой планки деки второго барабана;

$(X_1 - X_1 e^{-A_3})$  – количество не вымолоченного зерна в первой стадии процесса обмолота вторым барабаном;

$Y_2(1 - e^{-\mu_3 L_3})$  – увеличение количества прошедшего зерна на участке деки длиной  $L_3$  за счет свободного зерна, поступившего с участка  $L_2$ ;

$\Delta Z_3$  – увеличение количества прошедшего зерна на участке деки длиной  $L_3$  за счет дополнительного обмолота вторым барабаном во второй стадии процесса при  $0 < \ell_3 \leq L_3$ .

Величина  $\nabla Z_3$  определяется суммированием дополнительных проходов зерна  $dz_3$  на участке деки длиной  $d\ell_3$  каждый за счет приращений свободного зерна  $d(x_1 - x_3)$ , где  $x_3$  – количество не вымолоченного зерна за вторым барабаном, которое определяется:

$$X_3 = X_1 e^{-A_3 - \mu_{03} \ell_3} = e^{-A_1 - \mu_{01} L_1 - A_3 - \mu_{03} \ell_3} \quad (11)$$

тогда

$$d(x_1 - x_3) = \mu_{03} e^{-A_1 - \mu_{01} L_1 - A_3 - \mu_{03} \ell_3} \quad (12)$$

$$dZ_3 = d(X_1 - X_3) [1 - e^{-\mu_3 (L_3 - \ell_3)}] d\ell_3 \quad (13)$$

где  $(L_3 - \ell_3)$  – длина оставшегося участка деки второго барабана, на котором еще возможна сепарация только что вымолоченного зерна  $d(X_1 - X_3)$ .

Подставляя из (12) в (13) и интегрируя, получим:

$$\Delta Z_3 = e^{-A_1 - \mu_{01} L_1 - A_3} + \frac{\mu_3 e^{-A_1 - \mu_{01} L_1 - A_3 - \mu_{03} L_3} - \mu_{03} e^{-A_1 - \mu_{01} L_1 - A_3 - \mu_3 L_3}}{\mu_{03} - \mu_3} \quad (14)$$

Подставляя  $\Delta Z_3$  из (14) в выражение (10) и принимая в последнем  $\ell_3 = L_3$ , получим выражение для сепарации зерна  $Z_3$  на всей длине деки второго барабана  $L_3$ .

$$Z_3 = e^{-A_1 - \mu_0 L_1} - e^{-A_1 - \mu_0 L_1 - \mu_3 L_3} - e^{-A_1 - \mu_0 L_1 - A_3} + e^{-A_1 - \mu_0 L_1 - A_3 - \mu_3 L_3} + \\ + e^{-\mu_4 L_1 - \mu_2 L_2} + \frac{e^{-A_1 - \mu_2 L_2} (\mu_1 e^{-\mu_4 L_1} - \mu_0 e^{-\mu_0 L_1})}{\mu_0 - \mu_1} - \frac{e^{-A_1 - \mu_2 L_2 - \mu_3 L_3} (\mu_1 e^{-\mu_4 L_1} - \mu_0 e^{-\mu_0 L_1})}{\mu_0 - \mu_1} - \\ - e^{-\mu_4 L_1 - \mu_2 L_2 - \mu_3 L_3} + e^{-A_1 - \mu_0 L_1 - A_3} + \frac{\mu_3 e^{-A_1 - \mu_0 L_1 - A_3 - \mu_0 L_3} - \mu_0 e^{-A_1 - \mu_0 L_1 - A_3 - \mu_3 L_3}}{\mu_0 - \mu_3} \quad (15)$$

Суммарная сепарация зерна  $Z$  на участке  $L_3$  составит

$$Z = Z_1 + Z_2 + Z_3 \quad (16)$$

После подстановки и преобразований уравнение (16) примет вид:

$$Z = 1 - e^{-\mu_4 L_1 - \mu_2 L_2 - \mu_3 L_3} - e^{-A_1 - \mu_0 L_1 - \mu_3 L_3} - \\ - \frac{e^{-A_1 - \mu_2 L_2 - \mu_3 L_3} (\mu_1 e^{-\mu_4 L_1} - \mu_0 e^{-\mu_0 L_1})}{\mu_0 - \mu_1} - \frac{\mu_3 e^{-A_1 - \mu_0 L_1 - A_3} (e^{-\mu_0 L_3} - e^{-\mu_3 L_3})}{\mu_0 - \mu_3} \quad (17)$$

Анализируя выражение (17), видим, что при  $L_3 = 0$  оно примет вид (8), т.е. вначале зоны второго барабана суммарное количество прошедшего зерна равно количеству зерна просепарированного в конце участка  $L_2$ .

Подставляя в выражение (2) значение  $Z$  из (17) и выражение для  $X_3$  из (11), получим  $U_3$  – количество свободного зерна, сошедшего с деки второго барабана

$$U_3 = e^{-\mu_4 L_1 - \mu_2 L_2 - \mu_3 L_3} + e^{-A_1 - \mu_0 L_1 - \mu_3 L_3} + \frac{e^{-A_1 - \mu_2 L_2 - \mu_3 L_3} (\mu_1 e^{-\mu_4 L_1} - \mu_0 e^{-\mu_0 L_1})}{\mu_0 - \mu_1} + \\ + \frac{\mu_3 e^{-A_1 - \mu_0 L_1 - A_3} (e^{-\mu_0 L_3} - e^{-\mu_3 L_3})}{\mu_0 - \mu_3} - e^{-A_1 - \mu_0 L_1 - A_3 - \mu_0 L_3} \quad (18)$$

Из выражения (11), (17) и (18) следует, что при подстановке их в уравнение материального баланса (2) получаем тождество, подтверждающее правильность сделанных ранее предпосылок при выводе уравнений. Выражения (3), (4), (5), (8), (9), (11), (17) и (18) образуют систему уравнений, определяющую динамику процесса обмолота.

Для проведения опыта с комбайна двухфазного обмолота была снята очистка (вентилятор, грохот и решета). Вся длина молотилки была разделена на пять зон. Подбарабанье первого барабана было разделено на две части с целью сбора семян и подтверждения гипотезы легкого их вымолачивания из

биологически полноценной вызревшей фракции бобов. Эти фракции составляли первую и вторую зоны, решетка промежуточного битера являлась третьей зоной, подбарабанье второго барабана – четвертая зона, а сборник зерна с отбойного битера и соломотряса – пятая зона (рис. 2). Продукт, полученный в результате работы барабанов, промежуточного и отбойного битеров и соломотряса поступал в каждой зоне в мешки – сборники и состоял из смеси освобожденного от бобов зерна, створок и сбиины. Дополнительно комбайн был оборудован пробоотборником 14 для сбора соломы. Зерно и ворох взвешивали на весах с точность до 5 гр, а солому с точность до 50 гр при определении дробления и абсолютного веса зерна с точностью до 0,08 гр.

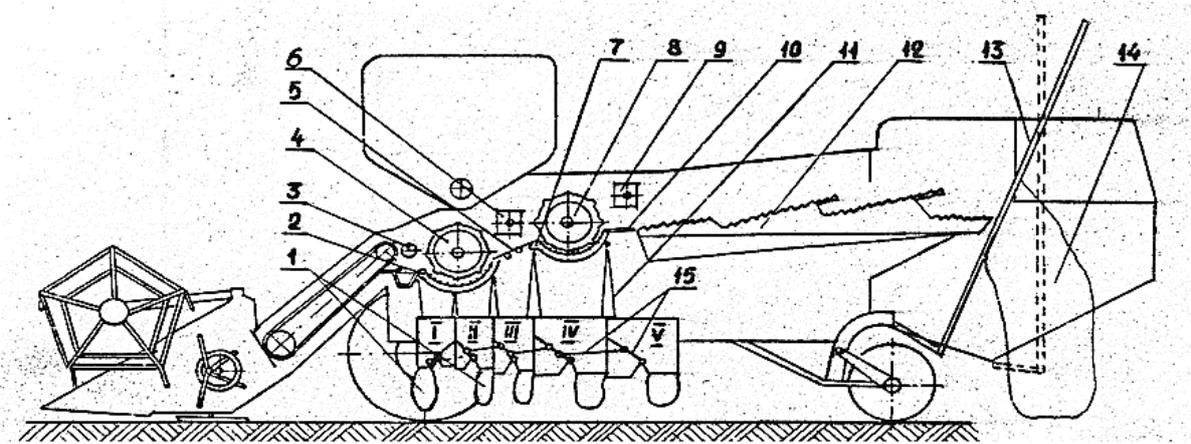


Рис. 2. Схема разделения сепарирующей поверхности молотилки комбайна:

- 1 – V-сборники зерна по длине молотилки (зоны); 1 – пробоотборники;  
 2 – подбарабанье; первого бильного барабана; 3 – приемный битер; 4 – первый бильный барабан; 5 – промежуточная решетка; 6 – промежуточный битер;  
 7 – подбарабанье второго бильного барабана; 8 – второй бильный барабан;  
 9 – отбойный битер; 10 – решетка отбойного битера; 11 – фартуки разделения зон; 12 – сломотряс; 13 – подвижная рамка; 14 – пробоотборник соломы;  
 15 – параллелограмный механизм

Коэффициенты сепарации на первом и третьем участках  $\mu_1$  и  $\mu_3$  определяются при последовательном уточнении коэффициентов обмолота  $A_1$  и интенсивности процесса обмолота по длине  $\mu_{01}$ ,  $A_3$  и  $\mu_{03}$  по усовершенствованной методике, разработанной ранее [4] с использованием экспериментальных данных, по

недомолоту за барабанами и зональной сепарации зерна, полученных при уборке сои комбайном двухфазного обмолота.

Проверка полученных уравнений проводилась по данным сепарации семян, выделенных и собранных в комбайне по зонам. При исследовании молотильного аппарата двухфазного обмолота комбайна с двумя бильными барабанами с углом обхвата по  $128^{\circ}$ , промежуточным четырехлопастным битером на сое Амурская – 310 с влажностью зерна 10,3%, стеблей 19,4%, створок 15,7%, вес 1000 семян 147г. Опыты проводились при отношении окружной скорости бичей первого и второго барабанов  $V_1/V_2 = 13,2/17,5; 10,9/17,6$  и  $8,6/17,6$  м/с и молотильных зазорах 24/12 и 18/9 мм. и содержание свободного зерна в сходе с барабанов.

Для упрощения вычислений коэффициент сепарации  $\mu_1$  определяем при последовательном уточнении коэффициентов обмолота  $A_1$  и  $\mu_{01}$ .

Задаваясь величиной недомолота на первой планке деки первого барабана  $X_1^1 = 0,2; 0,3; 0,4; 0,5$  и  $0,6$ .

Из  $X_1^1 = e^{-A_1}$  получим  $\lg X_1^1 = -A_1 \lg e$ ,

откуда

$$A_1 = \frac{\lg X_1^1}{\lg e} \quad (19)$$

Зная предварительные приближенные значения обмолота  $A_1$  при  $X_1^1 = 0,2, 0,3, 0,4, 0,5$ , и  $0,6$ , используя имеющиеся экспериментальные данные по недомолоту  $X_1 = 7,1\%$ , из выражения (3) (прологорифмировав и решив его, относительно  $\mu_{01}$ ), определяем значение  $\mu_{01}$ , соответствующие принятым значениям  $A_1$ :

$$\mu_{01} = -\frac{\lg X_1 + A_1 \lg e}{L_1 \lg e} = -\frac{1}{L_1} (\frac{\lg X_1}{\lg e} + A_1) \quad (20)$$

Выражение (20) можем записать как

$$Z_1 + e^{-\mu_1 L_1} - 1 = \frac{\mu_1 e^{-A_1} (e^{-\mu_{01} L_1} - e^{-\mu_1 L_1})}{\mu_{01} - \mu_1} \quad (21)$$

обозначив

$$\begin{aligned} Z_1 + e^{-\mu_1 L_1} - 1 &= \sigma_1 \\ \frac{\mu_1 e^{-A_1} (e^{-\mu_{01} L_1} - e^{-\mu_1 L_1})}{\mu_{01} - \mu_1} &= \xi_1 \end{aligned} \quad (22)$$

Получим систему уравнений, из которой определяем коэффициенты сепарации  $\mu_1$ , соответствующие каждому из промежуточных значений обмолота  $A_1$  и  $\mu_{01}$ . Значение  $\mu_1$ , очевидно, будут определяться точкой пересечения кривых  $\sigma_1(\mu_1)$  и  $\xi(\mu_1)$  (рис. 3а).

Учитывая, что экспериментальные значения кривой сепарации  $Z_1$  всегда будут содержать погрешность  $\delta_1$  уравнение (22) может быть записано в таком виде:

$$1 - e^{-\mu_1 L_1} - Z_1 + \frac{\mu_1 e^{-A_1} (e^{-\mu_{01} L_1} - e^{-\mu_1 L_1})}{\mu_{01} - \mu_1} = \delta_1 \quad (23)$$

где  $\delta_1$  – ошибка при последовательном приближении.

Используя выражение (23), определяем суммы квадратов ошибок величины сепарации  $Z_1$  для принятых значений  $e^{-A_1}$  и соответствующих им  $\mu_{01}$  и  $\mu_1$ . Построив зависимость  $\sum \delta_1^2$  и  $e^{-A_1}$  (рис. 3а), определяем истинное значение  $e^{-A_1}$ , которое определяется минимумом кривой  $\sum \delta_1^2$  и ( $e^{-A_1}$ ).

Уточненное значение  $\mu_{01}$  деки первого барабана ( $Z=0,708$ ),  $e^{-A_1}=0,4$ ;  $A_1=0,916$ ;  $\mu_{01}=2,7$ ;  $\mu_1=2,81$ .

Получив значение коэффициентов  $\mu_{01}$ ,  $\mu_1$ , и  $A_1$  и используя экспериментальные данные сепарации зерна на участке  $L_2$  ( $Z_2=0,835$ ) из выражения (15) определяем  $\mu_2$ ;  $\mu_2=3,72$ .

Коэффициент сепарации  $\mu_3$  определяем при последовательном уточнении коэффициентов  $A_3$  и  $\mu_{03}$ .

В первой стадии обмолота количество не вымолоченных зерен у второго барабана составит:  $X_3^1 = X_1 e^{-A_3}$  ;

$$X_3^1 = e^{-A_1 - \mu_{01} L_1 - A_3} \quad (24)$$

Задаемся величиной недомолота на первой планке деки второго барабана  $X_3^1=0,02; 0,025; 0,03; 0,035; 0,04; 0,045; 0,05$ . Для каждого из принятых значений по уравнению (24) определяем значение обмолота  $A_3$ . Используя экспериментальные данные по недомолоту за вторым барабаном ( $X_3=0,43\%$ ) из выражения (15) (используя логорифм и решив его относительно  $\mu_{03}$ ) определим значение

коэффициента интенсивности обмолота  $\mu_{03}$ , соответствующие принятым значениям  $A_3$ :

$$\mu_{03} = \frac{1}{L_3} \left( \frac{\lg X_3}{\lg e} + A_1 + \mu_{01} L_1 + A_3 \right) \quad (25)$$

Выражение (25) можно записать как

$$\begin{aligned} & Z + e^{\mu_1 L_1 - \mu_2 L_2 - \mu_3 L_3} + e^{-A_1 - \mu_{01} L_1 - \mu_3 L_3} + \\ & + \frac{e^{-A_1 - \mu_2 L_2 - \mu_3 L_3} (\mu_1 e^{-\mu_1 L_1} - \mu_{01} e^{-\mu_{01} L_1})}{\mu_{01} - \mu_1} - 1 = \quad (26) \\ & = \frac{\mu_3 e^{-A_1 - \mu_{01} L_1 - A_3} (e^{-\mu_{03} L_3} - e^{-\mu_3 L_3})}{\mu_{03} - \mu_3} \end{aligned}$$

Обозначим левое выражение полученного уравнения (26) через  $\sigma_2$ , а правое через  $\xi_2$ , получим систему уравнений, из которой определяем значения коэффициентов сепарации  $\mu_3$ , соответствующие, каждому из промежуточных значений величины обмолота  $A_3$  и  $\mu_{03}$ . Значения коэффициента сепарации на третьем участке  $\mu_3$ , будут определяться точкой пересечения кривых  $\sigma_2(\mu_3)$  и  $\xi_2(\mu_3)$  (рис. 3б).

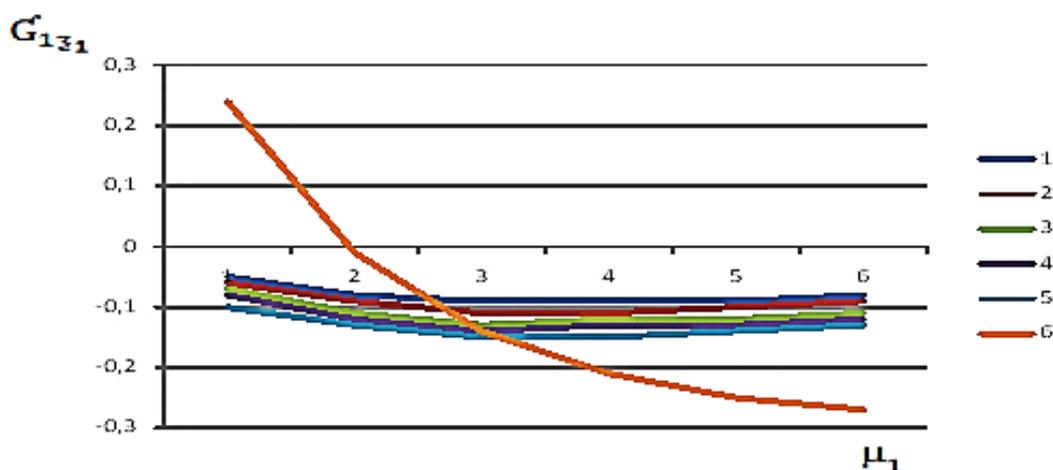
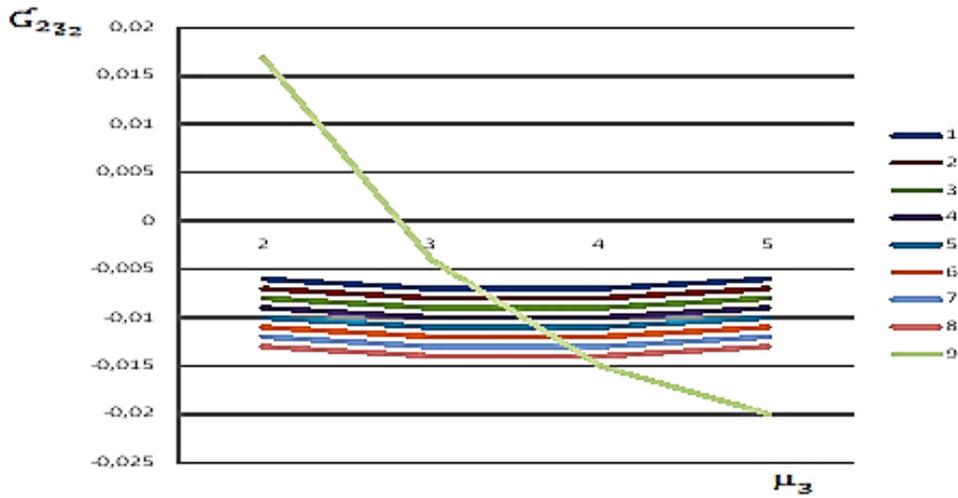


Рис. 3а. Зависимость значений коэффициентов сепарации  $\mu_1$  и  $\mu_3$  от принятых значений  $e^{-A_1}$  и  $e^{-A_3}$



б)

Рис. 3б. 6 и 9 – кривые  $\sigma_1$  и  $\sigma_2$

На рисунке а) кривые 1, 2, 3, 4, 5 –  $\xi_{(\mu_1)}$  при условии  $e^{-A_1}$  равном соответственно – 0,2;0,3;0,4;0,5;0,6. На рисунке б) кривые 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7  $\xi_{(\mu_3)}$  при условии  $e^{-A_3}$  равном соответственно – 0,02; 0,025; 0,03; 0,035; 0,04; 0,045; 0,05.

Из рисунка по пересечению  $\sigma_2(\mu_3)$  и  $\xi_2(\mu_3)$  в зависимости от  $e^{-A_3}$  графически находим коэффициент сепарации  $\mu_3$ . Учитывая, что экспериментальные значения суммарной сепарации  $Z_3$  всегда будут содержать погрешность  $\delta_2$  уравнение (26) может быть записано в таком виде:

$$1 - Z - e^{-\mu_1 L_1 - \mu_2 L_2 - \mu_3 L_3} - e^{-A_1 - \mu_{01} L_1 - \mu_3 L_3} - \frac{e^{-A_1 - \mu_2 L_2 - \mu_3 L_3} (\mu_1 e^{-\mu_4 L_1} - \mu_{01} e^{-\mu_{01} L_1})}{\mu_{01} - \mu_1} - \frac{\mu_3 e^{-A_1 - \mu_4 L_1 - A_3} (e^{-\mu_{03} L_3} - e^{-\mu_3 L_3})}{\mu_{03} - \mu_3} = \delta_2 \quad (27)$$

где  $\delta_2$  – ошибка при последовательном приближении.

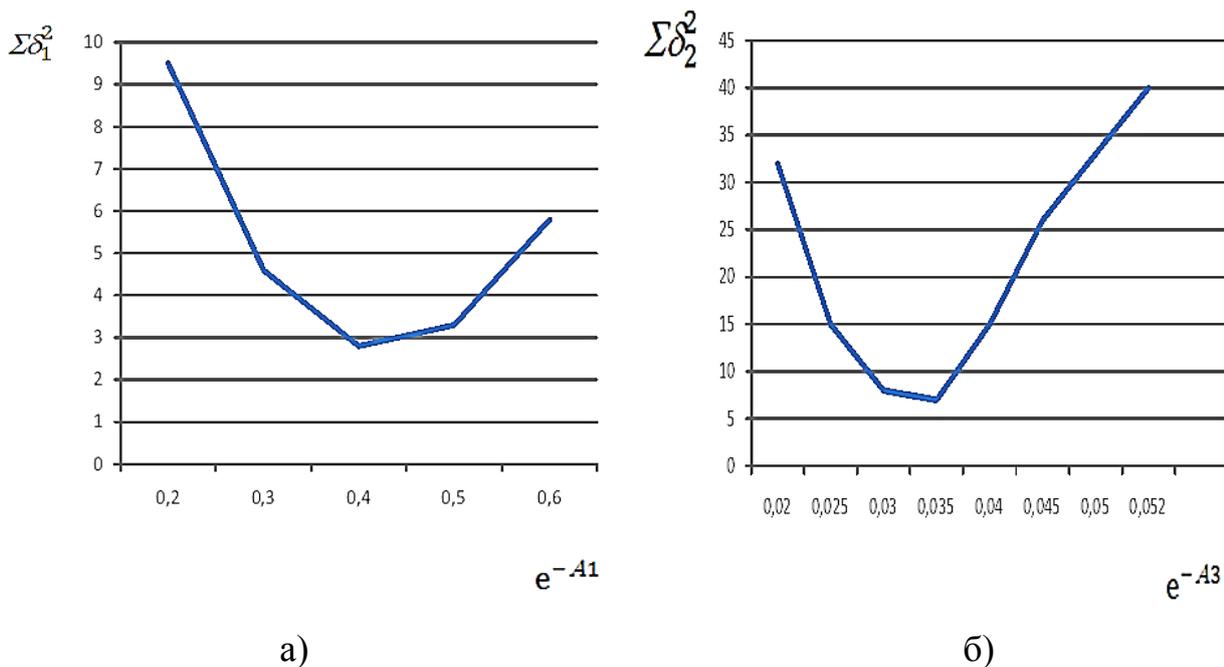


Рис. 4 (а, б). Зависимость  $\Sigma\delta_1$  и  $\Sigma\delta_2$  от принятых значений  $e^{-A_1}$  и  $\mu_1$ ,  $e^{-A_3}$  и  $\mu_3$

Используя выражение (27), определяем суммы квадратов ошибок величины  $Z_3$  для принятых значений  $e^{-A_3}$  и соответствующих им  $\mu_{03}$  и  $\mu_3$ . Построив зависимость  $\Sigma\delta_2^2$  от  $e^{-A_3}$  (рис. 4. а, б) определяем истинное значение  $e^{-A_3}$ , которое определяется минимумом кривой  $\Sigma\delta_2^2$  от  $e^{-A_3}$ . По выражению (24) определяем истинное уточненное значение  $A_3$ , по выражению (25) определяем также уточненное значение  $\mu_{03}$ , а из системы уравнений (26) определяем  $\mu_3$ .

Для данных, представленных для участка деки второго барабана ( $Z_3 = 0,972$ ) и  $e^{-A_3} = 0,033$ ;  $A_3 = 0,767$ ;  $\mu_{03} = 3,186$ ;  $\mu_3 = 3,33$ , мы получили следующие значения коэффициентов обмолота и сепарации:

$$A_1 = 0,916; \mu_{01} = 2,7; \mu_1 = 2,81; \mu_2 = 3,72; A_3 = 0,767; \mu_{03} = 3,186; \mu_3 = 3,33.$$

Используя полученные коэффициенты из выражений (11) и (17), определяем теоретические значения кривых обмолота (1-X) и сепарации (Z).

При практическом исследовании процесса обмолота сои в двух барабанном молотильно-сепарирующем устройстве бильного типа посева сои представляли следующую характеристику (табл. 1).

В результате проведенных исследований установлено, что наиболее интенсивно семена сои обмолачиваются и сепарируются в начале молотильно-сепарирующего устройства комбайна двухфазного обмолота. Так, например, в зоне первого молотильного барабана сепарируется до 88,5% семян целых и до 65,1% дробленых семян сои при подаче в молотилку 1,76 кг/с (табл. 1). С увеличением подачи происходит перераспределение сепарации семян сои по остальным рабочим органам молотильной группы и соломотряса. Так, при повышении подачи до 4,9 кг/с снижается сепарация семян сои на 17,7% через первое подбарабанье, но при этом возрастает сепарация семян с 16,0 до 28,5% через подбарабанье второго барабана и увеличивается выход семян на соломотряс с 0,6 до 2,8%.

При повышении нагрузки на молотилку возрастает на 2–3% сепарация солоmistых примесей в первой и во второй зонах. Распределение солоmistых примесей по зонам показывает, что основная ее часть (63,6 – 72,2% от про сепарированной сквозь молотильно-сепарирующую группу) приходится на 3-ю-5-ю зоны, т.е. на промежуточный битер, второй барабан и соломотряс.

Таблица 1

## Характеристика участка сои

№ п/п	Наименование показателей	Первый фон	Второй фон
1	Урожай зерна на корню, ц/га	19,7	21,9
2	Густота стояния стеблей на сои шт. на 1 м <sup>2</sup>	51	52,6
3	Количество сорняков, шт. на 1 м <sup>2</sup>	37,4	16,4
4	Средняя высота стеблей сои, см	86,9	77,4
5	Средняя высота стеблей сорняков, см	113,2	70,8
6	Засоренность культуры: (количество сорняков от общего числа растений сои и сорняков, %) (Вес сорняков от общего веса растений на корню, %)	42,3	23,8
		38,2	10,1
7	Отношение веса зерна к весу соломы	1:2,58	1:1,41
8	Влажность, %семян/солоmistых примесей	10,3/18,8	9,4/15,7
9	Масса 1000 семян, г	148,4	149,8

Как показали исследования по мере продвижения массы в молотильном устройстве концентрация зерна в ворохе, прошедшем сквозь молотильно-сепарирующую группу, снижается. Так, например, в первой и второй зонах 70,4–81,6% занимает зерно и лишь 18,4–29,6% приходится на минеральные примеси

(почву, солому, полу и невымолоченные бобы). Причем при увеличении подачи в молотилку с 1,76 до 4,9 кг/с содержание семян основной культуры снижается с 81,6 до 78,3 в первой зоне и с 74,4 до 70,4% во второй зоне (зона первого молотильного барабана). С изменением подачи в молотилку происходит перераспределение компонентов вороха как по зонам, так и в самой зоне. Так, например, при увеличении нагрузки на молотилку с 1,76 до 4,9 кг/с концентрация семян в ворохе, поступающего со второго барабана и с клавишей соломотряса (4-й и 5-й зоны), увеличивается соответственно с 13,0 до 36,4% и 2,3 до 20,6%

Анализ состава компонентов вороха показывает, что с увеличением от 1,76 до 4,9 кг/с подачи в молотилку снижается с 3,5–4,0 до 2,2–2,7% содержание дробленых семян в первой и второй зонах. Преобладающим видом повреждения семян сои являются семена, битые поперек. В зависимости от зоны выделения этот вид повреждения составляет 57,1–66,4%.

Преобладающими видами компонентов в солоmistых примесях являются полу и створки бобов. Они занимают соответственно 7,3–12,1 и 2,6–11,8% в первых двух зонах. В 4-й и 5-й зонах содержание их доходит соответственно до 60,6 и 30,7%.

Исследование распределения солоmistых примесей по зонам показывает, что основная их часть (63,6–72,2% от про сепарированной сквозь молотильно-сепарирующую группу) приходится на 3-ю-5-ю зоны, т.е. на промежуточный битек, второй барабан и соломотряс.

Существенное влияние на изменение состояния соевого вороха в молотильном аппарате двухфазного обмолота оказывает и окружная скорость бичей барабанов. Так, например, исследования процесса обмолота и сепарации семян сои по длине молотилки, проведенные на участке сои с засоренностью 10,1% (фон 2) при постоянной подаче в молотилку ( $q_n = 4,9$  кг/с), показали, что при отношении окружной скорости бичей первого и второго барабанов  $V_1/V_2 = 13,24/17,56$  м/с в зоне первой деки сепарируется 70,8% семян. В зоне промежуточного битера и деки второго барабана при этом сепарируется соответственно 12,7 и 13,7% (табл. 2). При снижении окружной скорости бичей первого барабана и

отношении ее к окружной скорости второго барабана  $V_1/V_2 = 8,63/17,56$  м/с, сепарация семян сои в зоне первой деки составляет лишь 53,6%. При этом количество семян, выделенных в зоне промежуточного битера и деки второго барабана, возрастает соответственно до 18,9 и 19,9% (рис. 5).

Это происходит из-за того, что при уменьшении окружной скорости бичей первого барабана снижается интенсивность обмолота семян у первой планки деки первого подбарабана и по ее длине. Об этом свидетельствуют снижение с 0,916 до 0,693 коэффициента  $A_1$ , учитывающего обмолот у первой планки деки и с 2,7 до 1,668 коэффициента  $\mu_{01}$ , характеризующего интенсивность обмолота по длине деки (табл. 2). При этом снижается количество свободного, (вымолоченного зерна в этой зоне), а содержание не обмолоченного зерна, в сходе с первого барабана (в конце участка  $L_1$ ), возрастает с 7,1 до 17,2 (кривые 1, 2 и 3 рис. 5). При дальнейшем движении соевой массы в молотильном аппарате, вымолот зерна происходит у первой планки деки второго барабана и по ее длине. Причем, при снижении окружной скорости бичей первого барабана с 13,24 до 8,63 м/с здесь возрастает интенсивность обмолота зерна. Об этом свидетельствует повышение с 0,767 до 1,41 коэффициента  $A_3$  и с 3,186 до 3,295 коэффициента  $\mu_{03}$ , характеризующих соответственно обмолот у первой планки деки второго барабана и по ее длине. Кривые обмолота зерна (2, 3) на участке  $L_3$  идут более круче относительно кривой (1). Содержание не обмолоченного зерна в сходе со второго барабана при этом возрастает с 0,43 до 0,51%.

Построенные на основании полученных данных, зависимости наглядно показывают, что при двухфазном обмолоте сои, семена, вымолоченные на участке  $L_1$  молотильно-сепарирующего устройства, не полностью сепарируются сквозь соломистую решетку и деку первого барабана. При исследованной подаче и режимах от 22,1 до 29,2% свободного зерна поступает на решетку промежуточного битера. Однако и здесь оно все не успевает просепарироваться и от 9,1 до 10,3% вымолоченного (свободного) зерна (зона У) поступает на второй барабан, работающий на «жестком» режиме.

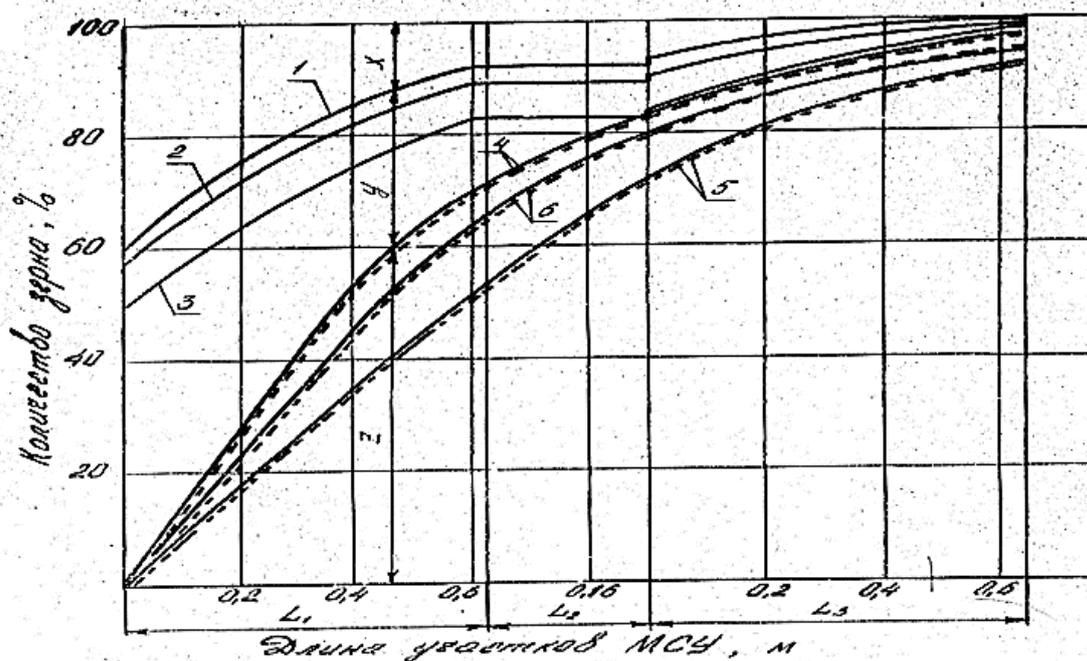


Рис. 5. Влияние отношения окружных скоростей бичей барабанов на изменение соотношения соевого вороха в молотильном аппарате двухфазного обмолота:

1, 2, 3 – обмолот зерна по длине молотилки (1-X);

4, 5, 6 – сепарация зерна по длине молотилки.

----- – экспериментальные;

\_\_\_\_\_ – теоретические.

$$1,4 - \frac{V_1}{V_2} = \frac{13,24}{17,56} \text{ м/с}; \quad 2,6 - \frac{V_1}{V_2} = \frac{10,94}{17,56} \text{ м/с}; \quad 3,5 - \frac{V_1}{V_2} = \frac{8,63}{17,56} \text{ м/с}.$$

Такое явление приводит к дополнительному повреждению семян. Чтобы исключить это явление первое подбарабанье должно иметь расширенную зону сепарации, особенно за первой планкой деки и уменьшенную зону вымолота семян по ее длине. Это позволит повысить интенсивность сепарации вымолоченных у первой планки деки, семян сои и исключить их от дополнительного механического повреждения.

В результате проведенных исследований установлены аналитические зависимости коэффициентов обмолота и сепарации от величины суммарной сепарации зерна сои по длине МСУ двухфазного обмолота (рис. 6) и определены следующие эмпирические уравнения:

$$\begin{aligned} A_1 &= 1,979Z_{L_1} + 0,0124 \\ \mu_{01} &= 5,8136Z_{L_1} - 1,516 \end{aligned} \quad (28)$$

$$\begin{aligned} \mu_1 &= 4,0698Z_{L_1} - 0,0514 \\ A_3 &= -13,5582Z_{L_3} + 13,9676 \\ \mu_{03} &= -2,2703Z_{L_3} + 5,3927 \end{aligned} \quad (29)$$

$$\begin{aligned} \mu_3 &= 24,3675Z_{L_3} - 20,435 \\ \mu_2 &= -6,8205Z_{L_2} + 8,8401 \end{aligned}$$

Теоретические зависимости процессов сепарации семян сои по длине МСУ двухфазного обмолота, полученные с учетом определенных коэффициентов хорошо согласуются с экспериментальными. Относительная погрешность при этом не превышает 0,11–0,41%.

При двухфазном обмолоте сои изменяется объемный вес мелкого вороха, выделенного по длине МСУ и нагрузка на стрясную доску. Так, например, в зависимости от фона убираемой культуры 51–64% нагрузки от общей приходится на первую и вторую зоны. Объемный вес вороха здесь составляет 368–408 г/дм<sup>3</sup> (рис. 6). По мере продвижения вороха по длине стрясной доски снижается его объемный вес и удельная нагрузка. На пятую зону (отбойный битек и соломотряс) приходится лишь 4,8–9,4% общей нагрузки вороха объемным весом 52,9–83,7 г/дм<sup>3</sup>.

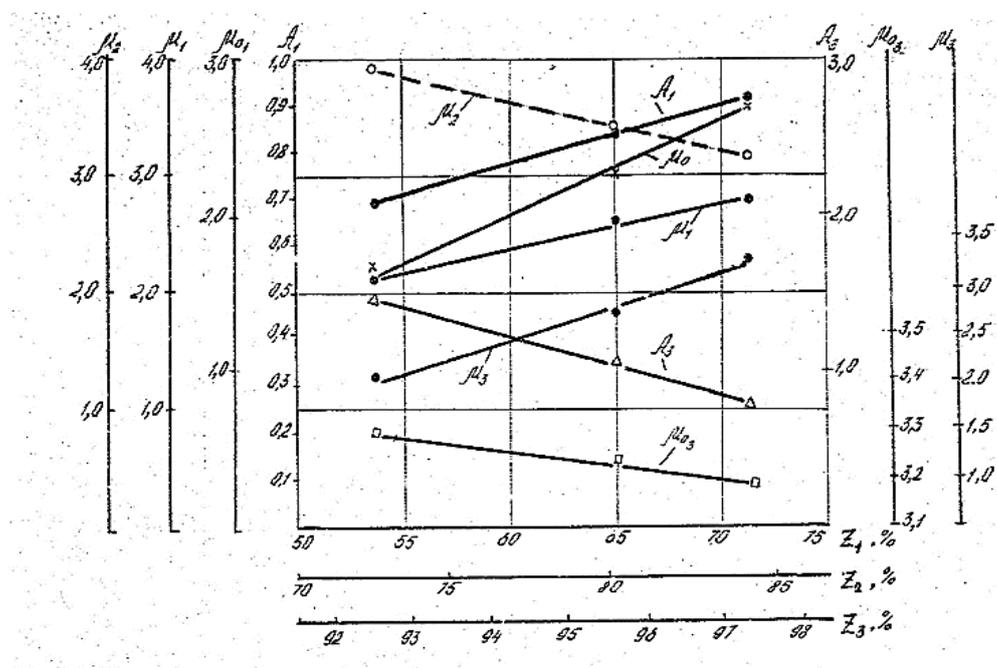


Рис. 6. Зависимость коэффициентов  $A_1$ ,  $\mu_{01}$ ,  $\mu_1$ ,  $\mu_2$ ,  $A_3$ ,  $\mu_{03}$  и  $\mu_3$  от величины суммарной сепарации зерна на различных участках МСУ двухфазного обмолота сои

Изменение нагрузки по длине стрясной доски, представленное на рис. 3а, показывает, что интенсивность ее роста происходит по параболической зависимости, причем, интенсивность роста удельной нагрузки на менее засоренном фоне выше. Это явление связано с тем, что на менее засоренном фоне (засоренность 10,1%) на жатку комбайна, в связи с неровностью поля, попадает большее количество минеральных примесей (почвы), которая, проходя через МСУ, полностью просыпается, создавая этим самым, дополнительную нагрузку на очистку и засоряет ворох трудноотделимым компонентом. Поступление почвы на очистку в большей мере приходится на 1-ю и 2-ю зоны – 65 и 29% и в меньшей мере в 3-ю и 4-ю зоны, соответственно 2,81 и 2,0% и лишь 0,15% в 5-ю зону.

Проведенные исследования показали, что в зависимости от фона убираемой культуры происходит и распределение нагрузки на рабочие органы комбайна двухфазного обмолота при уборке сои. Так, например, при повышении рабочей скорости комбайна с 1,1 до 2,45 м/с подача в молотилку возрастает с 1,76 до 4,9 кг/с (рис. 7) на фоне с засоренностью 10,1% (фон 2) и с 2,8 до 5,19 кг/с на фоне с засоренностью 38,2% (фон 1). Однако более интенсивный рост за счет высокого содержания соломы происходит на фоне 1. Нагрузка на молотилку здесь, при одной и той же рабочей скорости комбайна, на 0,2 – 1,1 кг/с выше.

Анализ данных по нагрузке на очистку комбайна показывает, что при изменении рабочей скорости комбайна, пропорционально ей растет и нагрузка на очистку. При рабочей скорости 1,11 м/с она составляет 0,15 кг /дм.с, а при 2,45 м/с – 0,38 кг/дм.с. (фон 1). Аналогичная зависимость получена и на втором фоне. Однако следует отметить, что за счет большего поступления минеральных примесей почвы нагрузка на очистку на менее засоренном фоне (фон 1) на 0,02 кг / дм.с выше.

Таблица 2

## Характеристика семян сои, выделенных по длине МСУ комбайна

Зоны	Дробленых семян, %	Микроповрежденных семян, %	Всего механически поврежденных семян, %	Масса 1000 семян, г
1	2,1	7,5	9,6	153,4
2	2,6	5,4	8,0	151,0
3	5,3	12,6	17,9	148,2

4	27,6	9,4	37,0	146,9
5	24,3	14,0	38,3	141,3

Анализ качества семян, выделенных по длине МСУ комбайна СКД-5 показывает (табл. 2), что по мере продвижения обмолачиваемой массы в молотилке количество семян с механическим повреждением увеличивается, а масса 1000 семян снижается.

В результате проведенных исследований установлено, что количество дробленых семян в зоне первого барабана составляет 2,1 – 2,6%, а микро поврежденных – 5,4 – 7,5% в зоне второго барабана соответственно – 27,6 и 9,4% масса 1000 семян, вымолоченных и выделенных в зоне первого барабана на 4,1 – 6,5 г выше массы семян, выделенных в зоне второго барабана.

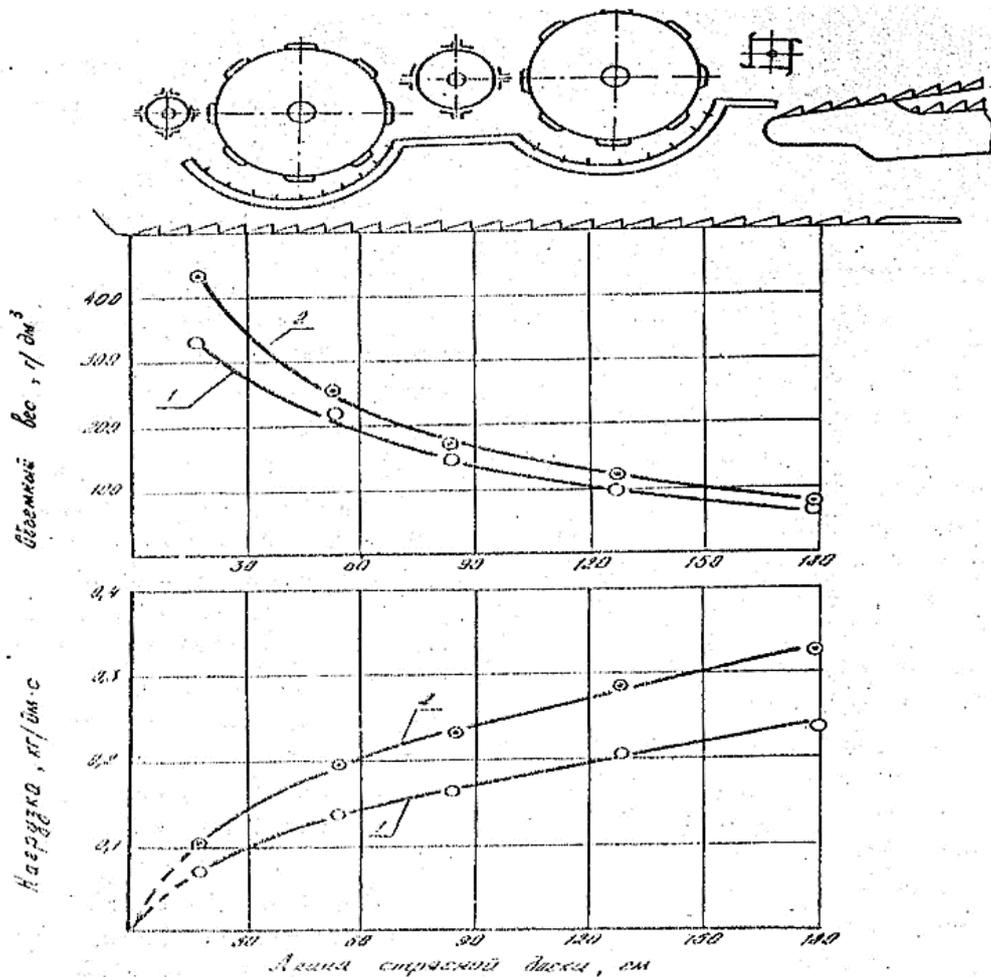


Рис. 7. Изменение объемного веса вороха и нагрузки по длине стрясной доски комбайна при уборке сои: 1 – засоренность 38,2%;  $q_{п} = 4,4 \text{ кг/с}$ ; 2 – засоренность 10,1%;  $q_{п} = 4,33 \text{ кг/с}$

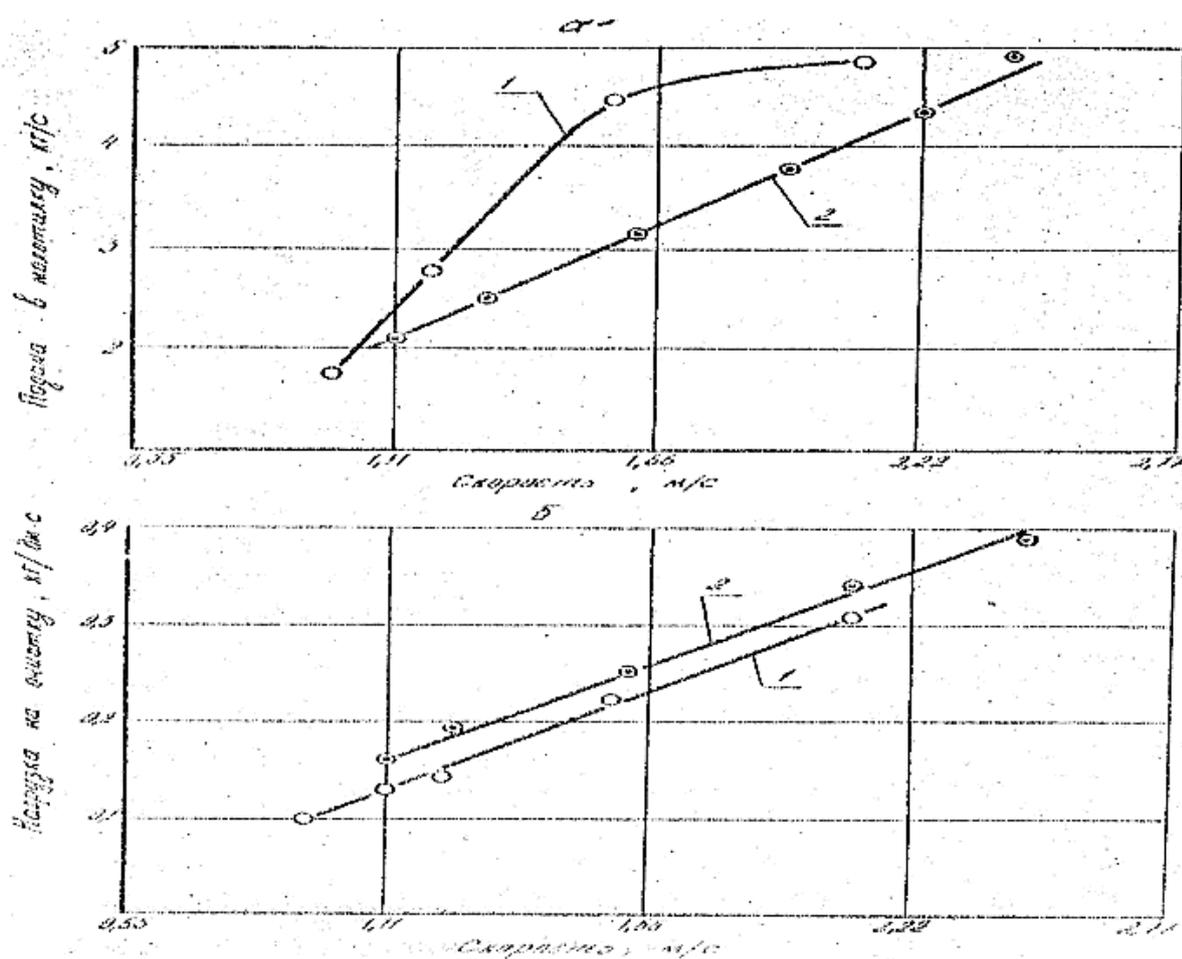


Рис. 8. Изменение нагрузки на рабочие органы комбайна СКД-5 при уборке сои: 1 – засоренность 38,2%; 2 – засоренность 10,1%

На основании полученных данных по изучению процесса обмолота и сепарации семян сои по длине МСУ следует:

1. При двухфазном обмолоте наиболее интенсивно семена сои вымолачиваются и сепарируются в зоне первого молотильного аппарата комбайна двух фазного обмолота. Здесь, в зависимости от технологических регулировок и подачи в молотилку, сепарируется 70,3–81,6% наиболее полновесных и менее поврежденных семян. Количество дробленых и микроповрежденных семян при этом не превышает соответственно 2,6 и 7,5%, а масса 1000 семян на 4,1–6,5 г выше массы семян, выделенных вторым молотильным аппаратом.

2. Наиболее полно можно реализовать преимущества, создаваемые двухфазным обмолотом, при отдельном сборе наиболее полновесных и менее

поврежденных семян сои, обмолоченных и выделенных, в зоне первого молотильного аппарата комбайна двух фазного обмолота.

3. Для сохранения качества и биологической полноценности семян сои, вымолоченных в начале МСУ двухфазного обмолота, первое подбарабанье должно иметь интенсивную зону сепарации, особенно за первой планкой деки.

4. Для дальнейшего сохранения качества семян, выделенных в зоне первого молотильного аппарата, необходимо собирать вымолоченные семена в отдельный бункер или в мягкий контейнер. Для транспортирования их в отдельный бункер в комбайне использовать ленточно-винтовой конвейер со щеточным обрамлением краев ленты и винтовой кромки горизонтального шнека. (Получен патент на полезную модель №169329.)

Сепарация и повреждение биологически ценных семян при комбайновой уборке сои зависит от многих факторов, основными из которых являются окружная скорость бичей первого барабана, зазоры на входе и выходе между бичами и планками подбарабанья, влажность семян и подача хлебной массы в молотилку. Поскольку изучается возможность выделения биологически ценных семян из общего потока массы, отдельным потоком необходимо оценить степень влияния каждого фактора на сепарацию и механическое повреждение их по длине молотильно-сепарирующего устройства комбайна двухфазного обмолота.

При решении поставленной задачи процесс обмолота семян сои в комбайне представляется в виде ряда математических моделей, где качественные показатели оценивались в зависимости от нескольких одновременно действующих факторов.

Основными критериями оценки работы молотилки являлись: количество семян, прошедших через первый барабан ( $Z_1$ ), промежуточную решетку ( $Z_2$ ) и второе подбарабанье ( $Z_3$ ), а также содержание в них травмированных семян (соответственно  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$ ).

С этой целью проведены исследования по методу полного факторного эксперимента типа  $2^4$ .

Обработка результатов опытов методом математической статистики позволила получить математические модели сепарации и содержания травмированных семян сои по длине молотилки при двухфазном обмолоте в виде следующих уравнений регрессии:

### 1. Сепарация семян

$$\begin{aligned}
 V_{z_1} &= 73,52 - 1,288X_1 - 7,613X_2 + 3,55X_3 - 3,913X_4 \\
 V_{z_2} &= 13,388 + 3,55X_2 - 1,463X_3 + 1,463X_4 - 0,313X_1X_2 - 0,35X_1X_4 + \\
 &+ 0,775X_2X_3 + 0,675X_2X_4 + 0,538X_1X_2X_3 - 0,338X_1X_2X_3X_4 \\
 V_{z_3} &= 10,45 + 1,025X_1 + 2,538X_2 - 2,725X_3 + 0,588X_4 - 0,513X_1X_2 - \\
 &- 0,925X_1X_3 - 0,388X_1X_4 + 0,388X_2X_3 + 0,475X_1X_2X_4
 \end{aligned} \tag{30}$$

### 2. Содержание травмированных семян

$$\begin{aligned}
 V_{T_1} &= 4,506 - 0,231X_1 - 1,181X_2 + 1,669X_3 - 0,844X_4 - 0,469X_2X_3 + \\
 &+ 0,244X_2X_4 - 0,506X_3X_4 + 0,181X_2X_3X_4 \\
 V_{T_2} &= 12,26 - 3,13X_1 - 1,52X_2 + 5,09X_3 - 1,606X_4 + 2,019X_1X_2 - \\
 &- 1,569X_1X_3 - 0,944X_3X_4 \\
 V_{T_3} &= 20,456 - 3,563X_1 - 3,163X_2 + 6,3X_3 - 3,2X_4 + 4,6X_1X_2 - \\
 &- 1,688X_1X_3 - 1,463X_3X_4 - 2,0X_1X_2X_3 - 1,35X_1X_2X_4
 \end{aligned} \tag{31}$$

По величине свободных членов и коэффициентов при переменных факторах в уравнениях (30–31) можно оценить не только степень влияния каждого из них на сепарацию и повреждение семян по длине молотилки при обмолоте сои, но и сделать вывод о зоне выделения биологически ценных семян и степени их повреждения.

Анализ полученных уравнений показывает, что сепарация семян сквозь первое подбарабанье в наибольшей степени зависит от подачи в молотилку, влажности зерна и окружной скорости бичей барабана. Меньшее влияние на сепарацию семян в этой зоне оказывает молотильный зазор.

Какова степень влияния подачи и влажности зерна на сепарацию семян показывают коэффициенты при  $X_2$  и  $X_4$  в первом уравнении (30). С увеличением подачи и влажности сепарация семян сои сквозь первое подбарабанье снижается. Об этом свидетельствует знак (–) у коэффициентов  $X_2$  и  $X_4$ . Зато с увеличением подачи в молотилку и влажности зерна возрастает сепарация семян в зоне промежуточного битера и второго подбарабанья. Об этом свидетельствует знак (+)

у коэффициентов при  $X_2$  и  $X_4$  во втором и третьем уравнениях (31). С увеличением окружной скорости бичей повышается сепарация семян в зоне первого барабана. Об этом свидетельствует знак (+) у коэффициента при  $X_3$ .

Повышение же молотильного зазора снижает выход семян в зоне первого барабана.

Анализ уравнения (30) показывает, что для снижения выхода семян в зоне первого барабана необходимо снижать частоту вращения барабана, увеличивать подачу и молотильный зазор и уборку производить при повышенной влажности зерна.

Полученное уравнение регрессии (30) показывает, что на сепарацию семян сои в зоне промежуточного битера наибольшее влияние оказывает подача, окружная скорость бичей барабана и влажность зерна. Молотильный зазор не оказывает существенного влияния на сепарацию семян в этой зоне. Однако необходимо отметить, что на процесс сепарации семян в промежуточной зоне существенное влияние оказывает и сочетание этих факторов. При снижении окружной скорости бичей барабана, увеличении подачи и влажности зерна повышается сепарация семян в зоне промежуточного битера и второго барабана, о чем свидетельствуют соответствующие знаки у коэффициентов  $X_2$ ,  $X_3$ ,  $X_4$  и их сочетания (уравнения 30).

Величина свободных членов полученных уравнений (30) показывает, что наиболее интенсивно семена сои обмолачиваются и сепарируются вначале молотильно-сепарирующего устройства (в зоне первого подбарабана). Свободный член здесь равен 73,52. По мере продвижения обмолачиваемой массы снижается интенсивность сепарации семян. Об этом свидетельствует снижение величины свободных членов до 13,388 в уравнении регрессии (30) для промежуточной зоны и до 10,45 для зоны второго барабана.

Расчет коэффициентов регрессии, проведенный после реализации намеченных опытов, дает математические модели повреждения семян по длине молотилки при двухфазном обмолоте сои (уравнение 31).

Величина свободных членов полученных уравнений показывает, что наименее повреждены семена сои, вымолоченные и просепарированные в начале молотильно – сепарирующего устройства (в зоне первого подбарабана). Свободный член здесь равен 4,506 (уравнение 31).

По мере продвижения обмолачиваемой массы возрастает механическое повреждение семян. Об этом свидетельствуют повышение величины свободных членов до 12,26 в уравнении (31) для промежуточной зоны и до 20,456 для зоны второго барабана.

Наибольшее влияние на травмирование биологически полноценных семян, прошедших сквозь первое подбарабанье, оказывает окружная скорость бичей первого барабана, подача в молотилку и влажность зерна. Причем, наиболее опасным положением необходимо считать такое, когда обмолот производится при малой влажности зерна и подачи в молотилку, а также повышенных окружных скоростях бичей первого барабана. Об этом свидетельствует знак и величина коэффициентов при  $X_2$ ,  $X_3$ ,  $X_4$  и при их сочетании (уравнение 31).

Молотильный зазор незначительно влияет на содержание травмированных семян в зоне первого барабана, так как полученный коэффициент регрессии ( $b_i$ ) при  $X_1$  по своей величине близок величине  $t\sigma_{T_1}(b_i)$ .

Основное увеличение травмирования зерна при двухфазном обмолоте сои происходит за счет высокой окружной скорости бичей первого барабана. Об этом наглядно свидетельствуют знаки и коэффициенты регрессии при  $X_3$  (уравнение 31).

На повышенное содержание травмированных семян в зоне промежуточного битера и второго барабана существенное влияние оказывают молотильные зазоры у первого барабана ( $X_1$ ) и при их сочетании с подачей ( $X_1$ ,  $X_2$ ), о чем наглядно свидетельствуют относительно высокие величины коэффициентов регрессии при этих переменных.

Таким образом, анализ полученных результатов позволяет сделать вывод о том, что окружная скорость бичей первого барабана, его молотильные зазоры

являются основными факторами, влияющими на величину повреждения и выход травмированных семян в зоне промежуточного битера и второго барабана.

Выводы:

1. Представленные математические модели позволяют в общем виде описать динамику процесса обмолота и сепарации по длине молотилки при двухфазном обмолоте сои и более точно определить коэффициенты обмолота и сепарации зерна с использованием полученных уравнений и экспериментальных данных.

2. Дана оценка влияния длины молотилки и вида культуры на качественные показатели работы молотильного аппарата комбайна двухфазного обмолота.

3. Обоснована рациональная схема устройства для выделения биологически полноценных и качественных семян сои в отдельный бункер уже при уборке комбайном и без дополнительной очистки в послеуборочной обработке.

4. При двухфазном обмолоте наиболее интенсивно семена сои вымолачиваются и сепарируются в зоне первого молотильного аппарата комбайна двух фазного обмолота. Здесь, в зависимости от технологических регулировок и подачи в молотилку, сепарируется 70,3–81,6% наиболее полновесных и менее поврежденных семян. Количество дробленых и микроповрежденных семян при этом не превышает соответственно 2,6 и 7,5%, а масса 1000 семян на 4,1–6,5 г выше массы семян, выделенных вторым молотильным аппаратом.

5. Наиболее полно можно реализовать преимущества, создаваемые двухфазным обмолотом, при раздельном сборе наиболее полновесных и менее поврежденных семян сои, обмолоченных и выделенных, в зоне первого молотильного аппарата комбайна двух фазного обмолота.

6. Для сохранения качества и биологической полноценности семян сои, вымолоченных в начале МСУ двухфазного обмолота, первое подбарабанье должно иметь интенсивную зону сепарации, особенно за первой планкой деки.

7. Для дальнейшего сохранения качества семян, выделенных в зоне первого молотильного аппарата, необходимо собирать вымолоченные семена в отдельный бункер или в мягкий контейнер. Для транспортирования их в отдельный

бункер в комбайне использовать ленточно-винтовой конвейер со щеточным обрамлением краев ленты и винтовой кромки горизонтального шнека. (Получен патент на полезную модель №169329.)

8. Экспериментальные исследования, проведенные по методике активного планирования многофакторного эксперимента, позволяют установить аналитические зависимости, учитывающие ранг одновременного влияния основных факторов (окружной скорости бичей первого барабана, его молотильных зазоров, подачи и влажности зерна) на повреждение и выделение биологически полноценных семян при двухфазном обмолоте сои.

9. Наибольшее влияние на травмирование биологически полноценных семян, выделенных в зоне первого барабана, оказывает окружная скорость бичей первого барабана, подача и влажность зерна.

10. С целью сохранения целостности биологически полноценных семян, при комбайновой уборке сои пониженной влажности зерна (менее 12%) и подаче в молотилку (менее 3 кг/с) окружную скорость бичей первого барабана необходимо снизить до 8,5–9 м/с.

### ***Список литературы***

1. Громова А.И. Биологическая разнокачественность семян сои на растении // Сельскохозяйственная информация научных учреждений Дальнего Востока: «Наука сельскому хозяйству». – Хабаровск, 1965. – С. 75–78.

2. Сунь-Син-Дун Соя / пер. с кит. А.М. Кайгорова. – М.: Сельхозиздат, 1958. – С. 72–88.

3. Федченко Б.Х. Травмирование зерна рабочими органами комбайна на уборке сои / Б.Х. Федченко, А.С. Гонтарь, Н.С. Шутов // Интенсификация соеводства на Дальнем Востоке: Сб. науч. тр. ВАСХНИЛ. Сиб. отд. – Новосибирск, 1985. – С. 122–125.

4. Присяжная И.М. Совершенствование процесса обмолота, сепарации и транспортирования для повышения качества семян при комбайновой уборке энергетически эффективной сои / И.М. Присяжная, С.П. Присяжная, М.М. Присяжный: Коллективная монография. – Благовещенск: Изд-во АмГУ, 2017. – 216 с.

Присяжная Ирина Михайловна – канд. техн. наук, доцент кафедры «Дизайн» Факультета дизайна и технологии ФГБОУ ВО «Амурский государственный университет», Россия, Благовещенск.

Присяжная Серафима Павловна – д-р техн. наук, профессор кафедры «Энергетика» энергетического факультета ФГБОУ ВО «Амурский государственный университет», Россия, Благовещенск.

---