

Анализ факторов, влияющих на процесс сепарации измельчённой хлебной массы

Г.Н. Поляков, к.т.н., С.Н. Шуханов, д.т.н., Д.А. Яковлев, магистрант, ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ

Опыт использования индустриальной технологии уборки показал её высокую эффективность: дополнительный намолот зерна составляет 3–4 ц/га, обеспечивается полный сбор соломы и половы, после прохода полевой машины МПУ-150 поле готово для дальнейшей обработки почвы, отмечается вывоз с поля семян сорных растений [1–3].

Применение индустриально-поточной технологии сдерживается отсутствием высокопроизводительных сепараторов измельчённой хлебной массы. Трудность выделения зерна из измельчённого вороха заключается в том, что ворох состоит из различных компонентов. Это вымолоченное зерно, обмолоченные и целые колоски, полова, стойки, семена и стебли сорных растений, короткая и длинная солома. Короткая солома длиной до 0,2 м не имеет изломов, в отличие от соломы, выходящей из молотильного аппарата, и легко попадает в мелкий зерновой ворох.

Цель исследования – изучение факторов, влияющих на процесс сепарации измельчённой хлебной массы. На процесс сепарации зерна из соломистого вороха влияет множество факторов: подача вороха в сепаратор, распределение зерна по высоте слоя, показатель кинематического режима, вспушенность соломистого вороха на разделяющей поверхности, влажность стебельной массы, содержание зерна

в ворохе, поступающем на сепарацию, ширина соломотряса, скорость перемещения массы, длина соломотряса. Главными факторами являются подача вороха в сепаратор и толщина слоя вороха.

Материал, методы и результаты исследования. Основными методами исследования были обзор и анализ литературных источников.

Толщина слоя соломистого вороха на соломотрясе определяется по формуле:

$$H = \frac{q_p(1-\lambda)}{B_c V_c \gamma_c}, \quad (1)$$

где q_p – подача растительной массы на соломотрясе, кг/с;

B_c – ширина соломотряса, м;

V_c – скорость движения вороха по соломотрясу, м/с;

λ – относительное содержание зерна в растительной массе;

γ_c – объёмный вес вороха на соломотрясе, кг/м³.

С увеличением нагрузки на соломотряс потери свободным зерном в соломе растут медленно, а затем резко увеличиваются. Это обусловливается большой толщиной вороха и более длительным процессом перехода зерна из верхних слоёв в нижние [4–6]. Тонкослойная сепарация более целесообразна, но её трудно реализовать, так как она требует увеличения размеров соломосепараторов [7].

В последнее время специалисты высоко оценивают перспективы использования аксиально-ротаторных молотильно-сепарирующих устройств,

которые в 3–4 раза меньше повреждают зерно, дробление зерна редко превышает 1% [8]. Полнота выделения зерна достигает 97% за счёт тонкослойной сепарации и значительного пути вороха по разделяющей поверхности (до 14 м), но они сильно перетирают солому, что приводит к значительной перегрузке воздушно-решётной очистки.

Создание условий, обеспечивающих скапливание зёрен в нижних слоях вороха, способствует снижению потерь зерна за соломотрясом [9].

Н.Е. Авдеев доказал, что с увеличением живого сечения решётчатой поверхности от 20 до 60% засорённость зерна солоmistыми частицами увеличивается. Это подтверждает, что вероятность прохождения зерна через слой соломы гораздо меньше, чем через решётку соломотряса [7].

М.Н. Летошнев предложил оценивать работу соломотрясов показателем кинематического режима (к), представляющим отношение центростремительного ускорения клавиши $\omega^2 r$ к ускорению свободного падения g .

Анализ потерь свободного зерна сходом с соломотряса в зависимости от показателя кинематического режима установил, что наименьшие потери получаются при показателе кинематического режима, равном 2,2–2,6. Отклонение показателя кинематического режима от его оптимального значения приводит к увеличению потерь свободным зерном.

Было установлено, что при колебательном процессе сепарации зерно выделяется из вороха в течение той части цикла, в которой ворох перемещается к сепарирующей поверхности. Поэтому чем продолжительнее ворох опускается, тем выше вероятность сепарации зерна. Время опускания зависит от показателя кинематического режима.

Наиболее благоприятным значениям показателя кинематического режима соответствует $k=1$. Но при $k=1$ двухвальные соломотрясы не способны транспортировать ворох вдоль клавиш. Для реализации показателя $k=1$ необходимо обеспечить разделение процессов встряхивания и транспортирования вороха [10].

Исследование транспортёрно-клавишного соломотряса при кинематическом режиме $k=1$ показали, что эффективность сепарации в несколько раз выше, чем у клавишного соломотряса [11].

Многие исследователи считают, что решающую роль в повышении сепарации зерна играет создание впусщённой структуры вороха, имеющей глубокие сквозные щели между отдельными его элементами [4, 8, 11].

По результатам экспериментальных исследований И.С. Иванов вывел уравнение изменения полноты выделения зерна по длине соломотряса:

$$\eta = \frac{L_1}{\alpha q^3 \sqrt{\frac{W}{\lambda}} + L_1(1 - \beta q^2)}, \quad (2)$$

где η – полнота выделения зерна;

$L_1 = L - l$ – длина соломотряса за вычетом пассивной зоны под отбойным битером $l=0,5$ м;

q – удельная нагрузка на соломотряс, кг/сек*м;

W – влажность соломы, %;

λ – содержание зерна в соломе, %;

$\alpha\beta$ – коэффициенты, равные при ширине сепаратора 0,9 м соответственно 0,0314 и 0,0064.

Из выражения видно, что с увеличением влажности соломы, удельной нагрузки полнота выделения зерна из вороха снижается, а при увеличении содержания зерна в ворохе полнота выделения растёт.

М.А. Пустыгин заменил в формуле (2) q его значение и получил:

$$q = \frac{Q}{B_c},$$

где Q – подача вороха на соломотряс, кг/с;

B_c – ширина соломотряса, м.

Тогда уравнение приняло вид:

$$\eta = \frac{L_2}{\alpha \frac{Q^3}{B_c^3} \sqrt{\frac{W}{\lambda}} + L_1(1 - \beta \frac{Q^2}{B_c^2})}, \quad (3)$$

Как видно, с увеличением ширины сепаратора полнота выделения зерна из соломы возрастает.

И.Ф. Василенко применил к пониманию сущности процесса сепарации положения теории вероятностей.

Полная вероятность выделения зерна из движущегося по решету вороха определяется произведением:

$$P = P_c P_p, \quad (4)$$

где P – полная вероятность выделения зерна;

P_c – вероятность прохода зерна через слой соломы;

P_p – вероятность прохода зерна сквозь решёта.

Общее выражение относительной вероятности просеивания зерна M сквозь слой вороха, движущегося со скоростью V_c за время Δt , имеет вид:

$$M = \frac{P_c P_p}{V_c \Delta t}. \quad (5)$$

Процесс сепарации по длине соломотряса осуществляется по экспоненциальному закону:

$$q_n = q_o e^{-ML},$$

где q_n – потери зерна за соломотрясом, кг/с;

q_o – подача зерна на соломотряс, кг/с;

L – длина соломотряса (разделяющей поверхности), м.

Подставив вместо M его значение, получим:

$$q_n = q_o e^{-\frac{P_c P_p}{V_c \Delta t} L}. \quad (6)$$

Уравнение (6) связывает основные параметры соломосепаратора с качественными показателями его работы.

Выводы. 1. При разработке технических устройств для сепарации измельчённой хлебной массы с целью повышения эффективности выделения зерна из соломы необходимо стремиться к уменьшению толщины слоя вороха на поверхности соломосепаратора, к предварительному распределению зерна в нижние слои вороха, к активному разрушению соломистого вороха, создающего сквозные щели в слое соломы для прохода свободного зерна, разделению процессов сепарации и транспортирования вороха.

2. Из конструктивных параметров соломосепараторов на толщину слоя вороха влияет рабочая ширина, скорость перемещения массы по разделяющей поверхности. От длины соломосепаратора зависит качество его работы.

3. Аксиально-роторные сепарирующие устройства реализуют тонкослойную сепарацию при высокой производительности. Полнота выделения зерна из вороха составляет до 97%. Но данные рабочие органы сильно разрушают и перетирают солому, тем самым перегружают воздушно-решётную очистку мелкими частицами соломы.

Литература

1. Канарёв Ф.М. Кубинская индустриальная технология уборки зерновых/ Ф.М. Канарёв//Механизация и электрификация сельского хозяйства. 1983. № 8. С. 10–12.
2. Кузовлев А.Т. Весь урожай – в закромах //Сельское хозяйство России. 1984. № 1. С. 28–29.
3. Гейдебреخت И.П. Проблема полного сбора зерна // Техника и оборудование для села. 2006. № 4. С. 38–40.
4. Бублик Н.В. К вопросу сепарации грубого вороха //Земледельческая механика. 1961. Т. 6. С. 53–60.
5. Горбачев И.В. Исследование сепарации зерна в зоне активного битера // Доклады Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 1976. Вып. 224–2.1. С. 119–126.
6. Смирнов Н.А. Анализ основных зависимостей процесса сепарации зерна и слоя соломистого вороха и разработка его статической модели // Сборник научных трудов ВИМ. 1983. Т. 97. С. 71–80.
7. Поляков Г.Н. Альтернативная ресурсосберегающая технология уборки зерновых культур и её техническое обеспечение // Технология и средства механизации в АПК: сб. науч. тр. Улан-Удэ: Улан-Уд.книж.изд-во, 2011. Вып.7. С. 58–62.
8. Терсков Г.Д. Расчёт зерноуборочных машин. Свердловск: Машигиз, 1961. 215 с.
9. Зубков В.И. Физические основы сепарации грубого вороха // Труды Челябинского института механизации и электрификации сельского хозяйства. 1978. Вып. 140. С. 77–84.
10. Кленин Н.И. Изыскание процессов и средств, повышающих пропускную способность молотилки комбайна // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 1980. № 6. С. 8–12.
11. Могиленец М.И. Влияние кинематических и конструктивных параметров транспортно-клавишного соломотряса на сепарацию зерна из грубого вороха // Сборник научных трудов Московского института инженеров сельскохозяйственного производства. 1977. Т. 14. Вып. 1. С. 109–112.