

Научная статья  
УДК 631.354.2

## Кинематические параметры вибратора конвейерной очистки комбайна

Гумар Аламахадович Бекаров, Аламахад Дошаевич Бекаров,  
Азамат Асланбиевич Мишхожев, Алий Халисович Габаев  
Кабардино-Балкарский ГАУ

**Аннотация.** В статье представлены результаты анализа технологического процесса сепарации зернового вороха на конвейерном решете одноимённой очистки зерноуборочного комбайна. Предусмотренный в конструкции очистки вибратор позволяет активизировать процесс сепарации вороха. Анализ с использованием методов теоретической механики скоростей и сил, возникающих при соударении роликов несущей цепи конвейерного решета и вибратора, позволил определить величину и направление возникающего импульса силы, воздействующего также на компоненты сепарируемого на решете вороха. В традиционной ветрорешётной очистке зерноуборочного комбайна одним из факторов активизации процесса сепарации зернового вороха является колебательное движение, придаваемое всему решётному стану. Однако ввиду большой массы решётного стана эти колебания передаются на остов комбайна, расшатывая его и влияя отрицательно на технологический процесс других рабочих органов комбайна. В конвейерной очистке для той же цели (активизация процесса сепарации зернового вороха) предлагается использовать пассивный вибратор, который создаёт малоамплитудные колебательные движения (вибрации) отдельных участков рабочей ветви конвейерного решета. Такие колебания не оказывают сколь-либо заметного влияния на остов комбайна, но обеспечивают своё назначение – активизацию процесса сепарации. Такие вибрации возникают при контакте роликов несущей цепи конвейерного решета и роликов вибратора. Проведён анализ процесса сепарации в момент контакта упомянутых роликов, обосновано рассмотрение этого контакта как физического явления удара, аналитически определены возникающие при этом скорости и силы, в частности величина ударного импульса силы и её направление.

**Ключевые слова:** комбайн, очистка, ворох, сепарация, конвейер, удар, ролик, импульс, сила, скорость, направление, активизация.

**Для цитирования:** Кинематические параметры вибратора конвейерной очистки комбайна / Г.А. Бекаров, А.Д. Бекаров, А.А. Мишхожев [и др.] // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2021. № 1 (87). С. 111–114.

Original article

## Kinematic parameters of the vibrator of the conveyor cleaning of the combine

Gumar A. Bekarov, Alamakhad D. Bekarov, Azamat A. Mishkhozhev, Aliy K. Gabaev  
Kabardino-Balkarian SAU

**Abstract.** The article analyzes the technological process of grain heap separation on the conveyor sieve of the same name cleaning of the combine harvester. The vibrator provided in the design of this cleaning allows you to activate the process of separation of the pile. Analysis using the methods of theoretical mechanics of the velocities and forces that occur when the rollers of the conveyor chain of the conveyor sieve and the vibrator collide allowed us to determine the magnitude and direction of the force pulse that occurs when the mentioned rollers collide, which also affects the components of the pile separated on the sieve. In the traditional wind-screen cleaning of a combine harvester, one of the factors that activates the process of separating the grain heap is the oscillatory movement given to the entire sieve mill. However, due to the large mass of the sieve mill, these vibrations are transmitted to the frame of the combine, loosening it and negatively affecting the technological process of other working bodies of the combine. In conveyor cleaning for the same purpose (activation of the grain heap separation process), it is proposed to use a passive vibrator that creates low-amplitude oscillatory movements (vibrations) of individual sections of the working branch of the conveyor sieve. Such fluctuations do not have any noticeable effect on the frame of the combine, but they provide their purpose-to activate the separation process. Such vibrations occur when the rollers of the conveyor sieve carrier chain and the rollers of the vibrator come into contact. The article provides a brief analysis of the separation process at the moment of contact of the mentioned rollers,

justifies the consideration of this contact as a physical phenomenon of impact, analytically determines the resulting speeds and forces, in particular, the magnitude of the shock pulse of the force and its pressure.

**Keywords:** combine, cleaning, heap, separation, conveyor, impact, roller, impulse, force, speed, direction, activation.

**For citation:** Kinematic parameters of the vibrator of the conveyor cleaning of the combine / G.A. Bekarov, A.D. Bekarov, A.A. Mishkhozhev et al. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2021; 87(1): 111–114. (In Russ),

Конвейерное решето – основной сепарирующий элемент конвейерной очистки [1–3] перспективного, на наш взгляд, рабочего органа для зерноуборочного комбайна. Кроме этого решета в конструкцию конвейерной очистки входят полотняно-планчатый транспортёр, выполняющий функцию, аналогичную транспортной (стрясной) доски традиционной жалюзийной очистки, а также вентилятор и скатная доска, устанавливаемая под конвейерным решетом.

Само конвейерное решето представляет собой решётчатый конвейер, образованный двумя контурами специальной транспортёрной втулочно-роликковой цепи шагом 19,05 мм, имеющей лапки. Именно к этим лапкам винтами крепятся отдельные секции решета, в собранном виде образующие сплошную решётчатую поверхность конвейерного решета (рис. 1). Всякий конвейерный сепаратор сыпучих материалов, как правило, имеет некий фактор для активизации процесса сепарации. К примеру, жалюзийная очистка для этих целей подвергается колебательному движению решётного стана, а также имеет вентилятор. Вентилятор предусмотрен и в конвейерной очистке. А вместо придания колебательного движения всей конструкции решета в конвейерном решете очистки предусмотрен пассивный вибратор [4, 5]. Пассивен он в том смысле, что собственного движения, привода не

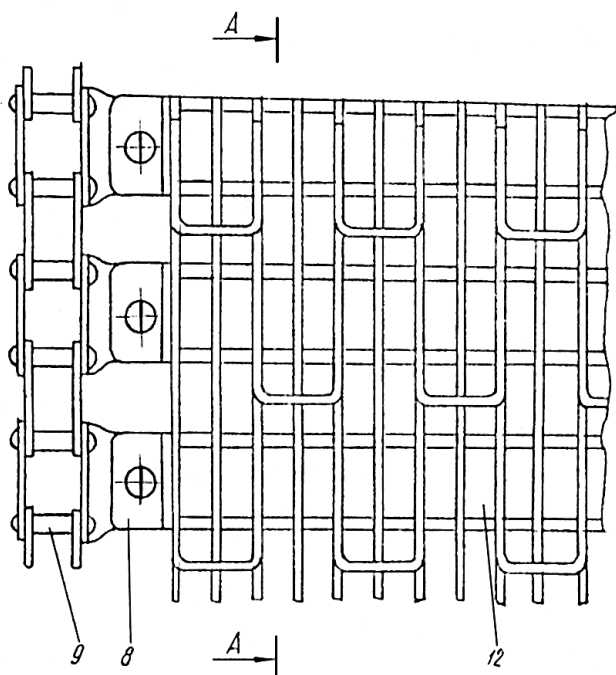


Рис. 1 – Фрагмент решета конвейерной очистки

имеет. Под верхней ветвью конвейерного решета, непосредственно под несущей цепью, к левой и правой панели молотилки комбайна закреплены по одному профилю (уголку), к которым приварены консольные оси.

С определённым шагом  $t_b$  на эти оси надеты ролики, которые при контакте с роликами несущей цепи могут проворачиваться на своих осях, но другого движения не имеют. При малой скорости движения конвейерного решета  $V_d$  в момент контакта роликов несущей цепи с роликами вибратора происходит простое перекатывание роликов цепи по роликам вибратора. Соответствующий участок конвейерного решета в этот момент совершает волнообразное движение. Поэтому на частицы вороха, находящиеся на решете, такое перекатывание не оказывает сколько-нибудь существенного влияния. Для активизации процесса сепарации необходимо, чтобы в момент контакта этих роликов происходило подбрасывание частиц вороха с их отрывом от поверхности решета. Такое происходит, когда скорость решета становится  $V_d = 5-8$  м/с и больше, так как в этом случае при контакте роликов цепи и вибратора происходит удар, а не простое перекатывание. Удар приводит к подбрасыванию как самого прилегающего участка решета в момент контакта, так и частиц вороха, находящихся на этом участке.

Величина этого подбрасывания применительно к самому участку цепи ограничена натяжением последней, а свободно лежащие на решете частицы вороха подбрасываются на большую высоту, поэтому они отрываются в этот момент от решета. Это активизирует процесс сепарации вороха, так как частицы вороха имеют различную массу (зерно тяжелее, соломистые примеси – легче). Траектории их движения в этот момент различны, пространственная решётка, ими образованная, становится реже, и зёрна легче её проходят до поверхности решета, а затем сквозь него.

**Материал и методы.** В теоретической механике определяют удар как случай движения материального объекта, когда векторы скорости его точек резко изменяются за весьма малый промежуток времени. Математически это определение можно представить в виде:

$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \left[ \int_t^{t+\Delta t} F \cdot dt \right] = J,$$

где  $J$  – ударный импульс силы, являющейся конечной величиной, определяемой выражением

$mV'' - mV' = J$ , где  $mV'$  и  $mV''$  – количество движения тела до удара и после него.

Рассмотренный выше случай контакта роликов при работе конвейерного решета совпадает с приведёнными особенностями физического явления удара.

Поэтому, рассматривая контакт роликов несущей цепи вибратора как удар, определяем импульс силы этого удара, скорость и их направление. Для этого принимаем следующие допущения:

- оба ролика рассматриваются как шары, т.е. их контакт происходит в точке, а не по линии;
- ролик цепи решета рассматривается как материальная точка с некоторой массой  $m$  и скоростью  $V_{\text{л}}$ ;
- оба ролика – упругие тела и поэтому удар также упругий;
- ролик вибратора рассматривается как неподвижное тело.

Правомерность сделанных допущений обосновывается тем, что ролики вибратора имеют толщину 5 мм, и их кромки по наружному диаметру выполнены закруглёнными, т.е. каждый ролик имеет бочкообразную форму. Поэтому можно считать массу ролика сосредоточенной в точке.

Материал роликов и несущей цепи решета и вибратора – сталь, поэтому ролики рассматриваются как упругие тела, а их удар как удар упругий.

В литературе [6, 7] рассмотрены различные случаи действия удара на тело. В нашем случае удар не прямой (рис. 2), направление скорости ролика цепи  $V_{\text{л}}$  в начале удара составляет некоторый угол  $\alpha$  с нормалью  $nA$  к касательной, проведённой в точке  $A$  удара к окружности роликов вибратора и цепи решета.

Обозначим скорость ролика цепи в конце удара через  $V_{\text{о}}$ , а проекции скоростей  $V_{\text{о}}$  и  $V_{\text{л}}$  на касательную и нормаль  $nA$  обозначим через  $V_{\text{от}}$  и  $V_{\text{он}}$ ,  $V_{\text{лт}}$  и  $V_{\text{лн}}$ .

Реакция поверхности ролика вибратора направлена по нормали  $nA$ . Следовательно, про-

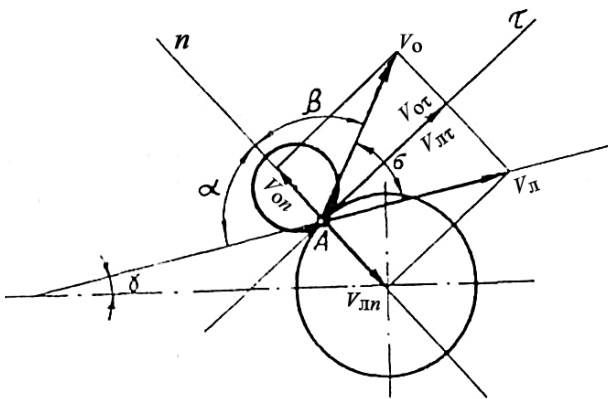


Рис. 2 – Схема скоростей, возникающих при соударении роликов решета и вибратора

екция этой силы на касательную  $\tau A$  будет равна нулю. Согласно теореме о проекции количеств движения (на касательную  $\tau A$ ), имеем:

$$mV_{\text{от}} - mV_{\text{лт}} = 0, \text{ или } V_{\text{от}} = V_{\text{лт}}.$$

Для определения проекции скорости на нормаль  $nA$  воспользуемся определением аналогичной проекции при прямом ударе:

$$|V_{\text{он}}||V_{\text{лн}}| \text{ или } V_{\text{он}} = -k|V_{\text{лн}}|,$$

где  $k$  – коэффициент восстановления, определённый опытным путём и равен для стали  $k = 5/9$ .

Если угол между вектором скорости  $V_{\text{о}}$  и нормалью  $nA$  равен  $\beta$  (рис. 2), то можно записать:

$$V_{\text{он}} = V_{\text{о}} \cos \beta \text{ или } V_{\text{от}} = V_{\text{о}} \sin \beta.$$

Аналогично:

$$V_{\text{лн}} = -V_{\text{л}} \cos \alpha \text{ или } V_{\text{лт}} = V_{\text{л}} \sin \alpha,$$

где  $\alpha$  – угол между направлениями скорости  $V_{\text{л}}$  и нормалью  $nA$  (рис. 2).

Внеся эти значения в предыдущие равенства, получаем:

$$V_{\text{о}} \sin \beta = V_{\text{л}} \sin \alpha \text{ и } V_{\text{о}} \cos \beta = kV_{\text{л}} \cos \alpha. \quad (1)$$

Возводим оба уравнения (1) в квадрат:

$$V_{\text{о}}^2 \sin^2 \beta = V_{\text{л}}^2 \sin^2 \alpha \text{ и } V_{\text{о}}^2 \cos^2 \beta = k^2 V_{\text{л}}^2 \cos^2 \alpha$$

и почленно сложим:

$$V_{\text{о}}^2 (\sin^2 \beta + \cos^2 \beta) = V_{\text{л}}^2 (\sin^2 \alpha + k^2 \cos^2 \alpha).$$

Получим:

$$V_{\text{о}}^2 = V_{\text{л}}^2 (\sin^2 \alpha + k^2 \cos^2 \alpha).$$

Следовательно:

$$V_{\text{о}} = V_{\text{л}} \sqrt{\sin^2 \alpha + k^2 \cos^2 \alpha}. \quad (2)$$

Почленно разделив уравнения (1), имеем:

$$\frac{V_{\text{о}} \sin \beta}{V_{\text{о}} \cos \beta} = \frac{V_{\text{л}} \sin \alpha}{kV_{\text{л}} \cos \alpha} \text{ или } \operatorname{tg} \beta = \frac{1}{k} \operatorname{tg} \alpha. \quad (3)$$

Выражения (2) и (3) определяют модуль и направление скорости  $V_{\text{о}}$ .

Выражение (3) можно представить в виде:

$$\operatorname{tg} \beta = 1,8 \operatorname{tg} \alpha. \quad (4)$$

Угол  $\alpha$  зависит, как нами установлено [7], от диаметров роликов вибратора и параметров несущей цепи решета.

Следовательно, на частицу, находящуюся на решете в момент удара, будет действовать ударный импульс, равный  $S = mV_{\text{о}}$ , или с учётом выражения (2):

$$S = mV_{\text{л}} \sqrt{\sin^2 \alpha + k^2 \cos^2 \alpha}. \quad (5)$$

Выражение (5) можно немного упростить следующим образом:

$$S = mV_{\text{л}} \sqrt{1 - \cos^2 \alpha + k^2 \cos^2 \alpha} = mV_{\text{л}} \sqrt{1 - \cos^2 \alpha (1 - k^2)}. \quad (6)$$

Подставив  $k = 5/9 = 0,556$ , имеем:

$$S = mV_{\text{л}} \sqrt{1 - 0,69 \cos^2 \alpha}. \quad (7)$$

В ранее опубликованной работе [7] показано, что  $\cos \alpha = t/(d + D)$ ,

где  $t$  – шаг несущей цепи конвейерного решета;  $d$  и  $D$  – диаметры соответственно ролика цепи решета и ролика вибратора.

С учётом этого выражение (7) приводится к виду:

$$S = mV_{\text{л}} \sqrt{1 - \frac{0,69t^2}{(d+D)^2}} = \frac{mV_{\text{л}}}{d+D} \sqrt{(d+D)^2 - 0,69t^2}. \quad (8)$$

**Вывод.** Величина ударного импульса при контакте роликов несущей цепи конвейерного решета и роликов вибратора зависит от линейной скорости решета, шага несущей цепи решета и диаметров контактирующих (соударяющихся) роликов, а направление возникающего импульса силы определяется выражением (3).

### Литература

1. Бекаров А.Д. Аналитическое определение амплитуды колебаний конвейерного решета для сыпучих материалов // Материалы научно-практической конференции Кабардино-Балкарской государственной сельскохозяйственной академии. Ч. 3: Инженерно-технические науки. Нальчик, 1995. С. 56–60.
2. Бекаров А.Д. Экспериментальная проверка влияния линейной скорости решета конвейерной очистки зерноуборочного комбайна на показатели её работы // Материалы научно-практической конференции Кабардино-Балкарской

государственной сельскохозяйственной академии (технические науки). Вып. 2. Нальчик, 1996. С. 65–68.

3. Бекаров А.Д. Экологически безопасные методы борьбы с сорняками путём совершенствования рабочих органов уборочных машин // Экология и сельскохозяйственная техника: матер. 2-й науч.-практич. конф. СПб. – Павловск, 2000. С. 66–69.

4. Бекаров А.Д. Некоторые результаты испытания зерноуборочного комбайна с усовершенствованными рабочими органами // Материалы юбилейной конференции, посвящённой 20-летию Кабардино-Балкарской государственной сельскохозяйственной академии. Нальчик, 2001. С. 49–53.

5. Бекаров А.Д. Характеристика движения частиц вороха, сепарируемого на горизонтально расположенном в комбайне конвейерном решете // Материалы научно-практической конференции, посвящённой 25-летию Кабардино-Балкарской государственной сельскохозяйственной академии. Нальчик, 2006. С. 23–29.

6. Воронков И.М. Курс теоретической механики. Изд. 11-е. М.: Наука, 1964. 596 с.

7. Бекаров А.Д., Шетов А.В., Бекулов А.М. К определению возможных значений диаметра ролика вибратора конвейерного решета очистки // Инновации в агропромышленном комплексе: матер. VI межвуз. конф. сотrud. и обуч. аграрных вузов Северо-Кавказского федерального округа, посвящ. 100-летию со дня рождения проф. З.Х. Шауцукова (21–22 апреля 2017 г.). Нальчик, 2017. С. 40–42.

**Гумар Аламахадович Бекаров**, кандидат экономических наук, доцент. ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В.М. Кокова». Россия, 360030, КБР, г. Нальчик, пр. Ленина, 1в, gumar02@mail.ru

**Аламахад Дошаевич Бекаров**, кандидат технических наук, доцент. ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В.М. Кокова». Россия, 360030, КБР, г. Нальчик, пр. Ленина, 1в, kbgau2020@mail.ru

**Азамат Асланбиевич Мишхожев**, кандидат сельскохозяйственных наук. ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В.М. Кокова». Россия, 360030, КБР, г. Нальчик, пр. Ленина, 1в, azamat151@yandex.ru

**Алий Халисович Габаев**, кандидат технических наук. ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В.М. Кокова». Россия, 360030, КБР, г. Нальчик, пр. Ленина, 1в, alii\_gabaev@bk.ru

**Gumar A. Bekarov**, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor. Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokova. 1B, Lenin Ave., Nalchik, KBR, 360030, Russia, gumar02@mail.ru

**Alamakhad D. Bekarov**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor. Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokova. 1B, Lenin Ave., Nalchik, KBR, 360030, Russia, kbgau2020@mail.ru

**Azamat A. Mishkhozhev**, Candidate of Agriculture. Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokova. 1B, Lenin Ave., Nalchik, KBR, 360030, Russia, azamat151@yandex.ru

**Aliy Kh. Gabaev**, Candidate of Technical Sciences. Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokova. 1B, Lenin Ave., Nalchik, KBR, 360030, Russia, alii\_gabaev@bk.ru