
Бекаров Г. А., Бекаров А. Д.

Bekarov G. A., Bekarov A. D.

**К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ИМПУЛЬСА СИЛЫ ПРИ СОУДАРЕНИИ РОЛИКОВ
НЕСУЩЕЙ ЦЕПИ КОНВЕЙЕРНОГО РЕШЕТА И РОЛИКОВ ВИБРАТОРА**

**THE DEFINITION OF IMPULSE FORCE AT IMPACT ROLLERS CARRIER
CHAIN CONVEYOR SIEVE AND ROLLERS OF THE VIBRATOR**

В статье приведен анализ технологического процесса сепарации зернового вороха на конвейерном решете одноименной очистки зерноуборочного комбайна. Предусмотренный в конструкции этой 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 позволили определить величину и направление возникающего при соударении упомянутых роликов импульса силы, воздействующего также на компоненты сепарируемого на решете вороха. В традиционной ветрорешетной очистке зерноуборочного комбайна одним из факторов активизации процесса сепарации зернового вороха является колебательное движение, придаваемое всему решетному стану. Однако, ввиду большой массы решетного 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 создает малоамплитудные колебательные движения (вибрации) отдельных участков рабочей ветви конвейерного решета. Такие колебания не оказывают сколь-либо заметного влияния на остов комбайна, но обеспечивают свое назначение – активизацию процесса сепарации. Такие вибрации возникают при контакте роликов несущей цепи конвейерного решета и роликов вибратора. В статье дается краткий анализ процесса сепарации в момент контакта упомянутых роликов, обосновывается рассмотрение этого контакта как физического явления удара, аналитически определяются возникающие при

этом скорости и силы, в частности, величина ударного импульса силы и ее направление.

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.

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

Key words: combine, cleaning, heap, separation, conveyor, impact, roller, impulse, force, speed, direction, activation.

Бекаров Гумар Аламахадович – магистрант направления подготовки «Агроинженерия», ФГБОУ ВО Кабардино-Балкарский ГАУ, г. Нальчик
Тел.: 8 928 718 08 85

Bekarov Gumar Alamakhadovich – Master student in the field of training «Agricultural Engineering», FSBEI HE Kabardino-Balkarian SAU, Nalchik
Tel.: 8 928 718 08 85

Бекаров Аламахад Дошаевич – кандидат технических наук, доцент кафедры механизации сельского хозяйства, ФГБОУ ВО Кабардино-Балкарский ГАУ, г. Нальчик

Bekarov Alamahad Doshievich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Agricultural Mechanization, FSBEI HE Kabardino-Balkarian SAU, Nalchik

Введение. Для активизации процесса сепарации зернового вороха на конвейерном решете одноименной очистки зерноуборочного комбайна предусмотрен пассивный вибратор. Пассивен он в том смысле, что собственного движения, привода не имеет. Под верхней ветвью конвейерного решета, непосредственно под несущей цепью с левой и правой стороны молотилки комбайна на консольных осях установлены ролики с определенным шагом t_b , которые при контакте с роликами несущей цепи могут проворачиваться, но другого движения не имеют. При малой скорости движения конвейерного решета V_n в момент контакта роликов несущей цепи с роликами вибратора происходит простое перекачивание роликов цепи по ролику вибратора. И соответствующий участок конвейерного решета в этот момент совершает волнообразное движение. Поэтому на частицы вороха, находящиеся на решете, такое перекачивание 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 $V_n = 5-8$ м/с и больше, так как в этом случае при контакте роликов цепи и вибратора происходит удар, а не простое перекачивание. Удар приводит к подбрасыванию как самого участка решета в

момент контакта, так и частиц вороха, находящихся на этом участке [1-4].

Величина этого подбрасывания применительно к самому участку цепи ограничена её натяжением, 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 решетка, ими образованная, становится реже и зёрна легче её проходят до поверхности решета, а затем сквозь него [5, 6].

Результаты исследований. 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:

$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \left[\int_t^{t+\Delta t} F * dt \right] = J, \quad (1)$$

где:

J – ударный импульс силы, являющийся конечной величиной, определяемой выражением:

$$mV'' - mV' = J, \quad (2)$$

Здесь mV' и mV'' – количество движения тела до удара и после него.

Рассмотренный выше случай контакта роликов при работе конвейерного решета совпадает с приведенными 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:

а) оба ролика рассматриваются как шары, т.е. их контакт происходит в точке, а не по линии;

б) ролик цепи решета рассматривается как материальная точка с некоторой массой m и скоростью $V_{л}$;

в) оба ролика – упругие тела и поэтому удар также упругий;

г) ролик вибратора рассматривается как неподвижное тело.

Правомерность сделанных допущений обосновывается тем, что ролик вибратора имеет толщину 5 мм и его кромка по наружному диаметру выполнена закругленной, т.е. 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 [7] рассмотрены различные случаи действия удара на тело. В нашем случае удар не прямой (см. рис.), направление скорости ролика цепи $V_{л}$ в начале удара составляет некоторый угол α с нормалью nA к касательной, проведенной в точке A удара к окружности роликов вибратора и цепи решета.

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

Реакция поверхности ролика вибратора направлена по нормали nA . Следовательно, проекция этой силы на касательную tA будет равна нулю. Согласно теореме о проекции количеств движения (на касательную tA), имеем:

$$mV_{от} - mV_{лт} = 0 \quad \text{или} \quad V_{от} = V_{лт}. \quad (3)$$

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

$$|V_{он}| = k|V_{лн}| \quad \text{или} \quad V_{он} = -k|V_{лн}|, \quad (4)$$

где:

k – коэффициент восстановления определен опытным путем и равен для стали $k = 5/9$.

Если угол между вектором скорости V_o и нормалью nA равен β (рис. 1), то можно записать:

$$V_{он} = V_o \cos \beta \quad \text{или} \quad V_{от} = V_o \sin \beta. \quad (5)$$

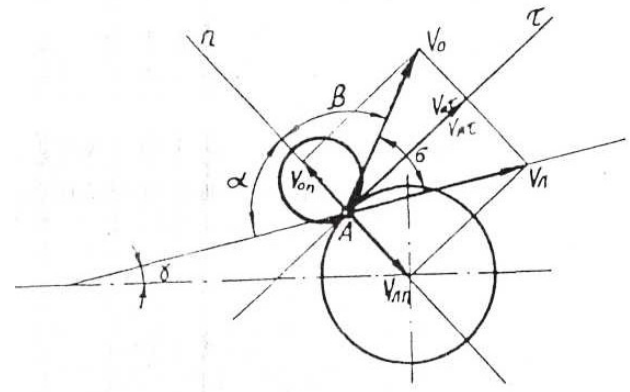


Рисунок 1 – Схема скоростей, возникающих при соударении роликов решета и вибратора

Аналогично:

$$V_{лн} = -V_{л} \cos \alpha \quad \text{или} \quad V_{лт} = V_{л} \sin \alpha, \quad (6)$$

где:

α – угол между направлениями скорости $V_{л}$ и нормалью nA , град. (рис. 1).

Внося эти значения в предыдущие равенства, получаем:

$$V_o \sin \beta = V_{л} \sin \alpha \quad \text{и} \quad V_o \cos \beta = k V_{л} \cos \alpha. \quad (7)$$

Возводим оба уравнения (7) в квадрат

$$\begin{aligned} V_o^2 \sin^2 \beta &= V_{л}^2 \sin^2 \alpha \quad \text{и} \\ V_o^2 \cos^2 \beta &= k^2 V_{л}^2 \cos^2 \alpha. \end{aligned} \quad (8)$$

И почленно сложим:

$$\begin{aligned} V_o^2 (\sin^2 \beta + \cos^2 \beta) &= \\ &= V_{л}^2 (\sin^2 \alpha + k^2 \cos^2 \alpha). \end{aligned} \quad (9)$$

Откуда имеем:

$$V_o^2 = V_{л}^2 (\sin^2 \alpha + k^2 \cos^2 \alpha). \quad (10)$$

Следовательно:

$$V_o = V_{л} \sqrt{\sin^2 \alpha + k^2 \cos^2 \alpha}. \quad (11)$$

Почленно разделив уравнения (11), имеем:

$$\frac{V_o \sin \beta}{V_o \cos \beta} = \frac{V_{л} \sin \alpha}{k V_{л} \cos \alpha} \quad \text{или} \quad \operatorname{tg} \beta = 1/k \operatorname{tg} \alpha. \quad (12)$$

Выражения (11) и (12) определяют модуль и направление скорости V_0 .

Выражение (12) можно представить в виде:

$$\operatorname{tg} \beta = 1,8 \operatorname{tg} \alpha. \quad (13)$$

Угол α зависит, как нами установлено, от диаметров роликов вибратора и параметров несущей цепи решета.

Следовательно, на частицу, находящуюся на решете в момент удара, будет действовать ударный импульс равный $S = mV_0$, или с учетом выражения (11):

$$S = mV_{\text{л}} \sqrt{\sin^2 \alpha + k^2 \cos^2 \alpha}. \quad (14)$$

Выражение (14) можно немного упростить следующим образом:

$$\begin{aligned} S &= mV_{\text{л}} \sqrt{1 - \cos^2 \alpha + k^2 \cos^2 \alpha} = \\ &= mV_{\text{л}} \sqrt{1 - \cos^2 \alpha (1 - k^2)}. \end{aligned} \quad (15)$$

Подставив $k=5/9=0,556$, имеем:

$$S = mV_{\text{л}} \sqrt{1 - 0,69 \cos^2 \alpha}. \quad (16)$$

Литература

1. *Бекаров А.Д.* Аналитическое определение амплитуды колебаний конвейерного решета для сыпучих материалов // *Материалы научн.-практ. конф. КБГСХА (инженерно-технические науки)*. – Нальчик, 1995. – Ч. 3. – С. 56-60.

2. *Бекаров А.Д.* Экспериментальная проверка влияния линейной скорости решета конвейерной очистки зерноуборочного комбайна на показатели ее работы // *Материалы научн.-практ. конф. КБГСХА (технические науки)*. – Нальчик, 1996. – Вып. 2. – С. 65-68.

3. *Бекаров А.Д.* Экологически безопасные методы борьбы с сорняками путем совершенствования рабочих органов уборочных машин // *Экология и сельскохозяйственная техника: материалы 2-ой научно-практической конференции*. – С-Петербург-Павловск, 2000. – С. 66-69.

4. *Бекаров А.Д.* Некоторые результаты испытания зерноуборочного комбайна с усовершенствованными рабочими органами // *Материалы юбилейной конференции, посвященной 20-летию КБГСХА*. – Нальчик, 2001. – С. 49-53.

5. *Бекаров А.Д.* Характеристика движения частиц вороха, сепарируемого на горизонтально расположенном в комбайне конвейерном решете // *Материалы научно-*

В нашей работе [2] 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, м.

С учетом этого, выражение (16) приводится к виду:

$$\begin{aligned} S &= mV_{\text{л}} \sqrt{1 - \frac{0,69t^2}{(d+D)^2}} = \\ &= \frac{mV_{\text{л}}}{d+D} \sqrt{(d+D)^2 - 0,69t^2}. \end{aligned} \quad (17)$$

Как видно из выражения (8), величина ударного импульса при контакте роликов несущей цепи конвейерного решета и роликов вибратора зависит от линейной скорости решета, и шага несущей цепи решета и диаметров, контактирующих (соударяющихся) роликов, а направление возникающего импульса силы определяется выражением (12).

практической конференции, посвященной 25-летию КБГСХА. – Нальчик, 2006. – С. 23-29.

References

1. *Bekarov A.D.* Analiticheskoe opredelenie amplitudy kolebanij kon-vejernogo resheta dlya sypuchih materialov // *Materialy nauchn.-prakt. konf. KBGSKHA (inzhenerno-tekhnichekije nauki)*. – Nal'chik, 1995. – Ch. 3. – S. 56-60.

2. *Bekarov A.D.* Eksperimental'naya proverka vliyaniya linejnoy skorosti resheta konvejernoj ochistki zernouborochno go kombajna na pokazateli ee raboty // *Materialy nauchn.-prakt. konf. KBGSKHA (tekhnichekije nauki)*. – Nal'chik, 1996. – Vyp. 2. – S. 65-68.

3. *Bekarov A.D.* Ekologicheskije bezopasnye metody bor'by s sornyakami putem sovershenstvovaniya rabochih organov uborochnyh mashin // *Ekologiya i sel'skochozyajstvennaya tekhnika: Materialy 2-oj nauchno-prakticheskoy konferencii*. – S-Peterburg-Pavlovsk, 2000. – S. 66-69.

4. *Bekarov A.D.* Nekotorye rezul'taty ispytaniya zernouborochno go kombajna s usovershenstvovannymi rabochimi organami // *Materialy yubilejnoy konferencii, posvyashchennoj 20-letiyu KBGSKHA*. – Nal'chik, 2001. – S. 49-53.

5. *Bekarov A.D.* Harakteristika dvizheniya chastic voroha, separiruемого na gorizontal'no

raspolozhenom v kombajne konvejernom reshete // Materialy nauchno-prakticheskoy konferencii, posvyashchennoj 25-letiyu KBGSKHA. – Nal'chik, 2006. – S. 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 // Материалы VI межвузовской конференции сотрудников и обучающихся аграрных вузов Северо-Кавказского федерального округа, «Иновации в агропромышленном комплексе», посвященной 100-летию со дня рождения проф. З.Х. Шауцукова (Нальчик, 21-22 апреля 2017г.). – Нальчик, 2017. – С. 40-42.

6. *Voronkov I.M.* Kurs teoreticheskoy mekhaniki, izd. 11-e. – M.: Nauka, 1964. – 596 s.

7. *Bekarov A.D., Shetov A.V., Bekulov A.M.* K opredeleniyu vozmozhnyh znachenij diametra rolika vibratora konvejernogo resheta ochistki. Materialy VI mezhvuzovskoj konferencii sotrudnikov i obuchayushchihsya agrarnyh vuzov Severo-Kavkazskogo federal'nogo okruga, «Innovacii v agropromyshlennom komplekse», posvyashchennoj 100-letiyu so dnya rozhdeniya prof. Z.H. Shaucukova (Nal'chik, 21-22 aprelya 2017g.). – Nal'chik, 2017. – S. 40-42.

