

МЕТОД И РЕЗУЛЬТАТЫ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ ЭНЕРГИИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЗЕРНА, КОНТАКТИРУЮЩЕГО В КОЛОСЕ С ОБТЕКАТЕЛЕМ ЖАТКИ, НА ЕГО ПАРАМЕТРЫ И КАЧЕСТВО РАБОТЫ

METHOD AND RESULTS OF THE EVALUATION OF THE INFLUENCE OF THE ENERGY OF GRAIN RECOVERY, CONTACTING IN THE HEAD WITH HEADER FAIRING ON ITS PARAMETERS AND QUALITY OF WORK

А.И. БУРЬЯНОВ, д.т.н.
М.А. БУРЬЯНОВ, к.т.н.
И.В. ЧЕРВЯКОВ

ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской»», Зерноград,
Россия, burjanov2015@ yandex.ru

A.I. BUR'YANOV, DSc in Engineering
M.A. BUR'YANOV, PhD in Engineering
I.V. CHERVYAKOV

Federal State Budget Scientific Institution «Agrarian Science
Center «Donskoy», Zernograd, Russia, burjanov2015@ yandex.ru

При уборке зерновых культур комбайном с очесывающей жаткой процесс контакта растений с ее обтекателем включает удар колоса растения о поверхность обтекателя и движение по его поверхности. Наибольшая вероятность потерь тех зерен колоса, которые контактируют через прикрывающие их чешуйки с обтекателем жатки. Вид удара этих зерен зависит от формы обтекателя и угла наклона растения. При прямом ударе скорости до и после удара пропорциональны коэффициенту восстановления и могут быть направлены в прямом или обратном направлении. Если удар косой, а отклонение вектора скорости в пределах угла трения, скорость после удара определится на основе гипотезы сухого трения Ньютона. У зерновых колосовых культур стебель малой жесткости, который, по нашим данным, компенсирует демпфирующие свойства прикрывающей зерно чешуйки. При ударе колоса зерна приобретают кинетическую энергию, расходуемую на деформацию контактирующих поверхностей (потерянную энергию) и энергию восстановления. Потеря зерна произойдет, если энергия восстановления зерна больше энергии, необходимой на его отделение. Цель исследований – определение энергии, выделенной при восстановлении зерен колоса, контактирующих через прикрывающие их чешуйки с обтекателем жатки. Опробование метода выполнено путем сравнения энергии восстановления зерна озимой пшеницы безостой при контакте колоса с поверхностью обтекателя из стали и высокопрочных полимеров. Установлено, что на восьмой день уборки, при влажности хлебостоя 9–11 %, работа, необходимая на выделение одного зерна из колоса, снижается до 0,0015 Дж. При таких условиях уборочный агрегат, оборудованный очесывающей жаткой с обтекателем, изготовленным из стали, может работать без потерь зерна в первой фазе взаимодействия с ним на скоростях до 2,3 м/с, а с жаткой, обтекатель которой изготовлен из сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ), – на скоростях до 3,5 м/с.

Ключевые слова: очес, жатка, материал и форма обтекателя, зерновые колосовые, удар, энергия восстановления, потери.

When harvesting grain crops with combine with combining fairing, the process of contact of plants with its fairing includes the impact of the head of the plant on the surface of the fairing, and movement along its surface. The greatest probability of loss of those head grains that contact through the scales covering them with the fairing of the header was analyzed. The type of impact of these grains depends on the shape of the fairing and the angle of inclination of the plant. At the direct impact of the speed before and after impact are proportional to the recovery factor and can be sent in the forward or reverse direction. If the impact is oblique and the deviation of the velocity vector is within the angle of friction the velocity after impact is determined on the basis of Newton's dry friction hypothesis. In grain crops, a stalk is of low stiffness, and, according to our data, compensates for the damping properties of the grain covering the scales. When the head strikes, the grains acquire the kinetic energy expended on the deformation of the contacting surfaces (the lost energy) and the energy of recovery. The loss of grain will occur if the energy of grain recovery is greater than the energy required for its separation. The purpose of the research, the determination of the energy released during the restoration of the head grains, contacting through the scales covering them with the header fairing. The method was tested by comparing the renewal energy of the grain of winter wheat, which is insensitive to the contact of the head with the surface of the fairing made of steel and high-strength polymers. It is established that on the eighth day of harvesting, with a breadmaking humidity of 9–11 %, the work required to separate one grain from the head is reduced to 0,0015 J. Under these conditions, the harvesting unit equipped with a combing header with a fairing made of steel can work without loss of grain in the first phase of interaction with it at speeds up to 2,3 m/s, and with a header, the fairing of which is made of ultra-high molecular weight polyethylene, at speeds up to 3,5 m/s.

Keywords: combining, header, material and shape of the fairing, grains, impact, energy recovery, loss.

Введение

Применение очесывающих жаток, обеспечивающее повышение производительности зерноуборочных комбайнов в 1,5...2,0 раза, обусловлено стремлением сельских товаропроизводителей резко сократить продолжительность проведения уборочных работ и снизить потери зерна осыпанием, которые в целом по стране составляют свыше 15 млн тонн. Однако, как и другие машины, очесывающие жатки не лишены некоторых недостатков, обусловленных как спецификой реализуемого ими технологического процесса, так и недостаточной степенью его изученности. До настоящего времени недостаточно работ, посвященных изучению закономерностей, описывающих процесс взаимодействия убираемых растений с рабочими органами жатки, без которых весьма сложно, а иногда и невозможно, создать очесывающее устройство, наиболее полно отвечающее предъявляемым к ним требованиям. Из известных работ, выполненных в этом направлении, следует отметить публикации П.А. Шабанова [1–3], J. Yuan [4], а также ряд других [5–9].

Процесс контакта растений с обтекателем жатки включает две фазы: первая – удар, вторая – скольжение колоса по его поверхности. В статье показано развитие теоретических положений, описывающих взаимодействие в момент удара зерен, расположенных в колосьях убираемых растений со стороны обтекателя жатки. При контакте колоса растения с обтекателем, энергия, полученная им, расходуется на деформацию (потерянная энергия) и энергию восстановления. Зерна колоса, не контактирующие с обтекателем, в процессе удара приобретают меньшее количество энергии, так как часть ее расходуется на деформацию их упругих связей с колосом. Механизм определения первой части энергии (потерянная энергия) приведен в работе [6]. Энергия восстановления зерна, находящегося в колосе со стороны поверхности обтекателя, проявляется через скорость, определенную после удара о его поверхность. Если эта энергия больше работы, необходимой на выделение зерна из колоса, произойдет разрушение связи и зерно будет потеряно.

Во второй фазе, при скольжении колоса по поверхности обтекателя, выделение зерна из колоса произойдет, если сила трения колоса больше или равна усилию, необходимому для отрыва чешуйки или зерна от колоса. Так как

сила трения зависит от нормальной составляющей, которая в свою очередь зависит от усилия, вызванного упругой деформацией впереди стоящих растений, наклоненных обтекателем, то ее величину можно определить только экспериментальным методом.

Для снижения потерь зерна расположение обтекателя по высоте относительно колосьев убираемых растений изменяют с помощью гидропривода обтекателя и высоты подъема жатки, а относительно центра очесывающего барабана – только с помощью гидропривода обтекателя. Изменением положения обтекателя можно оперативно управлять, а форму его поверхности и материал, из которого он изготовлен, выбирают только при проектировании. Если эти параметры обтекателя не оптимальные, то оперативное управление его положением может лишь частично улучшить качество его функционирования, не достигнув наилучших результатов.

Цель исследований

Целью исследований является определение энергии, выделенной при восстановлении зерен колоса, контактирующих через прикрывающие их чешуйки с обтекателем жатки.

Материалы и методы исследования

При уборке комбайном, оборудованным очесывающей жаткой, повышение его производительности в сравнении с комбайном, оборудованным традиционной жаткой с такой же шириной захвата, пропорционально увеличению скорости его движения. Убираемая масса растений своими колосьями в первую очередь контактирует с наружной поверхностью обтекателя жатки. Величина ударного импульса зависит от скорости их соударения, в рассматриваемом случае – от скорости движения комбайна. В разработанной математической модели [6] показано в общем виде, как определить величину потерянной колосом в процессе удара энергии, включающую энергию, затраченную на пластическую (необратимую) и упругую (сжатие) деформацию, которая после сжатия расходуется на восстановление и оценивается массой восстанавливаемой компоненты и ее скоростью после удара.

В зависимости от формы обтекателя и месте контакта колоса на его поверхности различают прямой и косой удар. При прямом ударе отношение между нормальной скоро-

стью до и после удара определяется соотношением [10, 11]:

$$V_{n2} = -V_{n1} K, \quad (1)$$

где V_{n1} и V_{n2} – соответственно скорости до и после удара, а K – коэффициент восстановления.

Так как при прямом ударе тангенциальная составляющая отсутствует то:

$$V_2 = -V_1 K. \quad (2)$$

В общем случае при наиболее сложной, выпуклой поверхности обтекателя направление вектора скорости движения жатки в зоне контакта колоса чаще всего не совпадает с радиусом кривизны обтекателя, проведенным через точку контакта (рис. 1). Для описания взаимодействия колоса с поверхностью обтекателя предложено использовать представление о взаимосвязи между нормальными и тангенциальными составляющими до и после удара и коэффициентом трения на основе гипотезы сухого трения Ньютона:

$$V_{\tau 2} - V_{\tau 1} = \pm f (V_{n2} - V_{n1}), \quad (3)$$

где f – коэффициент трения.

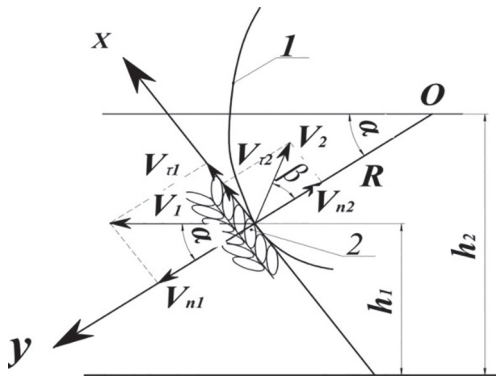


Рис. 1. Схема взаимодействия колоса с наружной поверхностью обтекателя для случаев, когда вектор скорости агрегата и радиус кривизны дуги в точке контакта направлены под углом друг к другу (случай косоуго удара):

- 1 – контур наружной поверхности обтекателя;
- 2 – колос в зоне контакта с обтекателем

Из рис. 1 видно, что численные значения нормальных и тангенциальных составляющих до и после удара можно определить по выражениям:

$$V_{\tau 1} = |V_1| \sin \alpha; \quad V_{n1} = |V_1| \cos \alpha;$$

$$V_{\tau 2} = |V_2| \sin \beta; \quad V_{n2} = -|V_2| \cos \beta.$$

При этом из рис. 1: $\alpha = \frac{\arcsin(h_2 - h_1)}{R}$.

Тогда [11] $\operatorname{tg} \beta = \left(\frac{1}{K} \right) \operatorname{tg} \alpha - f \left(1 + \frac{1}{K} \right)$.

Как видно из приведенных выше выражений, зная скорость движения комбайна, коэффициент восстановления зерна, при контакте с поверхностью обтекателя, выполненной из определенного вида материала, и коэффициент трения колоса по нему, можно провести все необходимые расчеты по определению энергии, затраченной на деформацию зерен, способную вызвать их отделение от колоса.

В общем случае стержень колоса, в зависимости от степени и направления полеглости, наклонен по отношению к радиусу кривизны в точке контакта под углом как в пределах угла трения, так и больше его значения. Если угол наклона стержня колоса больше угла трения, имеет место удар со скольжением.

Ниже рассмотрены варианты контакта растений в зависимости от угла наклона их стебля и колоса с выпуклой поверхностью обтекателя для случая, когда вектор скорости агрегата и радиус кривизны дуги в точке контакта располагаются на одной линии. На рис. 2 показаны возможные ситуации при контакте растений, имеющих различную степень полеглости и ее ориентацию по отношению к поверхности обтекателя. Как видно из рис. 2, прямой удар при контакте колоса плашмя и в торец (позиции П I и П II). Ударному

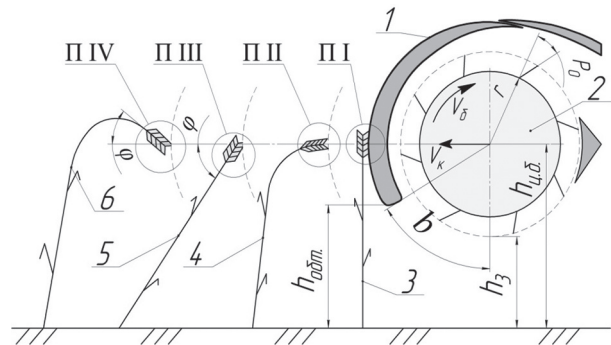


Рис. 2. Схема зон взаимодействия очесываемых растений с наружной поверхностью обтекателя и очесывающим зубом жатки:

- 1 – обтекатель; 2 – барабан очесывающий;
- 3–6 – растения, контактирующие с обтекателем при различном наклоне стебля и колоса;
- П I – прямой удар по колосу плашмя;
- П II – прямой удар в торец колоса; П III – косоуго удар с последующим скольжением вверх-вниз;
- П IV – косоуго удар с последующим скольжением вниз

воздействию при контакте колоса плашмя (позиция П I) возможны два случая. В первом случае с поверхностью обтекателя контактируют два ряда зерен колоса, а во втором – один. В позиции П I после удара (вторая фаза) растение будет наклоняться вперед по ходу движения, а колос – скользить вниз по поверхности обтекателя. При контакте растений с обтекателем, представленных в позициях П III и П IV, удар косой и колос контактирует с поверхностью обтекателя условно половиной торцевой поверхности. По виду контакта для этих вариантов определяли количество зерен в колосе, находящихся в контакте с обтекателем.

В позиции П III колос, после удара во второй фазе, начнет движение вверх до выравнивания стебля, после чего будет двигаться вниз. Колос растения в позиции П II контактирует с обтекателем всей торцевой частью и после удара с равной вероятностью может начать движение как вверх по обтекателю (явление желательное), так и вниз.

При движении вниз колоса растений в позициях П II и П IV процесс складывается неблагоприятный, так как при этом коэффициент его трения увеличивается (движение от вершины колоса к стеблю), а при дальнейшем наклоне стебля, вследствие его упругих свойств, колос может наклониться так, что окажется вне зоны действия очесывающих зубьев, что вызовет гарантированные потери зерна недоочесом. Очевидно, избежать этого явления можно, если обтекатель спроектировать с изменяемым углом наклона наружной поверхности. В данной работе мы рассматривали только первую фазу – процесс удара колоса растения об обтекатель.

При прямом ударе тангенциальная составляющая отсутствует, и тогда скорость V_2 определится из выражений (1) и (2). Энергия колоса, затраченная на деформацию зерен, способную вызвать их отделение от колоса, запишется в следующем виде:

$$T = \frac{m}{2n}; V_2^2 = \frac{m}{2}(V_1 K)^2, \quad (4)$$

где V_2 – скорость колоса и связанного с ним зерна после удара о наружную плоскость обтекателя, м/с; m – масса колоса, кг; n – количество зерен, контактирующих с поверхностью обтекателя.

Учитывая, что нормальные составляющие скоростей до и после удара связаны выражением (1), из выражения (3) для случая косо

удара, когда колос наклонен к вектору скорости движения жатки под углом трения φ , можно определить значение тангенциальной составляющей после удара:

$$V_{\tau 2} = V_{\tau 1} \pm f \cdot V_{n1} \cdot (1 + K). \quad (5)$$

Выражение (5) вне области применимости при условии:

$$|V_{\tau 1}| + f V_{n1} (1 + K) < 0.$$

Скорость V_2 определяется из выражения:

$$V_2 = \sqrt{(V_{n2})^2 + (V_{\tau 2})^2}.$$

При косом ударе колосьев растений, изображенных на рис. 2, энергия колоса, затраченная на деформацию зерен, способную вызвать их отделение от колоса:

$$T = \frac{m}{2n} \cdot \left\{ (V_1 K \cos \varphi)^2 + [V_1 \sin \varphi + f V_1 \cos \varphi (K + 1)]^2 \right\}, \quad (6)$$

где φ – угол трения.

Величина коэффициентов трения и восстановления зависит как от свойств колоса, зерна, так и материала, из которого изготовлена поверхность обтекателя. В последние годы в связи с созданием полимерных материалов нового поколения делаются попытки их более широкого применения в конструкциях зерноуборочных комбайнов, погрузочно-разгрузочных и зерноочистительных машин. Это связано с тем, что при значительно возросших прочностных характеристиках пластиков их модуль упругости примерно на два порядка ниже модуля упругости стали, вследствие чего поверхностью обтекателя, изготовленного из пластика будет поглощена большая часть энергии, чем поверхностью выполненной из стали, а коэффициент трения – ниже. Пластик не подвержен коррозии, а поверхность обтекателя, выполненная из стали, после длительного хранения в начальный период уборки потребует время на приработку.

Все изложенные выше положения основаны на качественной оценке явления. В данной работе приведены результаты оценки влияния характеристик материалов, используемых в конструкции обтекателя с выпуклой вперед по ходу наружной поверхностью, на величину вероятных потерь зерна за жаткой при первой фазе контакта с ним колоса растения.

Определение величины потерянной энергии выполняли по выражениям (4) и (6) в таблицах Microsoft Office Excel 2007.

Оценивали влияние характеристик обтекателя, изготовленного из стали, пластика сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ) и керамопласта (ВМПЭ).

Как видно из приведенных выражений, для проведения вычислений необходима информация о величине коэффициентов трения при контакте продуктов очеса и коэффициентов восстановления зерна с поверхностью обтекателя, выполненной из стали и названных выше полимеров, которую определяли с учетом рекомендуемых методов, изложенных в ряде работ [10, 11], с использованием изготовленного в институте оборудования и приспособлений. На рис. 3 и 4 представлены оборудование и приспособления, используемые для определения угла и коэффициентов трения покоя и движения. Прибор для измерения угла трения покоя изготовили с использованием головки чертежного прибора «Пеленг». С целью повышения чувствительности прибора с его обратной стороны поворотную часть головки и станину связали винтовым соединением. «Тонкая» настройка головки достигается вращением гайки-барашки, установленной на винте.

При использовании прибора В.А. Желиговского [12] к торцу рамки, жестко соединенной с головкой чертежного прибора, с помощью фиксаторов закрепляли полосу испытуемого материала и выставляли ее на линии *C*. Закрепленный на специальном носителе образец с испытуемым продуктом очеса (на рис. 4 – колос, наклеенный на корпус подвижной части), контактирует с поверхностью испы-

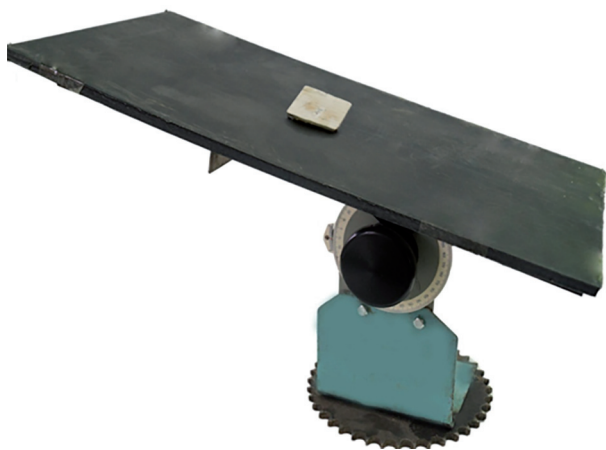


Рис. 3. Прибор для определения угла трения покоя

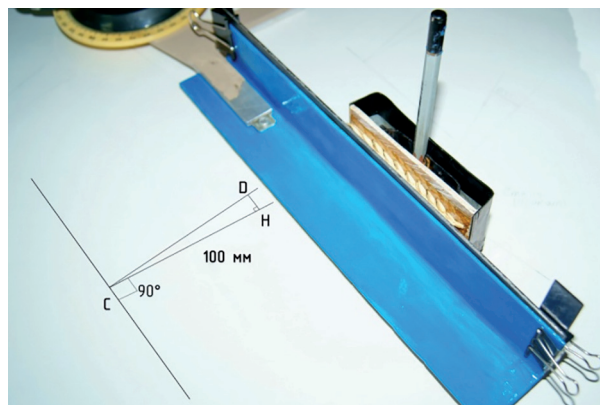


Рис. 4. Прибор для определения угла трения движения

туемого материала. При перемещении всей конструкции параллельно линии *C* на 100 мм рамка с испытуемым продуктом сместится по линии *CD* на расстояние, равное отрезку *DN*, перпендикулярному *CH*. Из соотношения отрезков *CH* и *HD*, являющихся сторонами прямоугольного треугольника, определяли величину коэффициента трения движения, а по его величине – угла трения движения.

Основные результаты

В табл. 1 и 2 проведены результаты экспериментальных исследований по определению коэффициентов трения покоя и трения движения зерна и колоса по поверхностям, выполненным из стали, керамопласта и сверхвысокомолекулярного полиэтилена СВМПЭ.

Таблица 1

Значения коэффициента трения покоя зерна и колоса озимой пшеницы сорта «Дмитрий» при контакте с разными поверхностями

Материал обтекателя	Зерно	Колос
Сталь шлифованная	0,44	0,53
СВМПЭ	0,26	0,27
Керамопласт	0,25	0,21

Таблица 2

Значение коэффициента трения движения зерна и колоса озимой пшеницы сорта «Дмитрий» при контакте с разными поверхностями

Материалы	Зерно	Колос (по ходу наклона чешуек)
Сталь шлифованная	0,20	0,25
СВМПЭ	0,17	0,18
Керамопласт	0,16	0,17

Коэффициент восстановления зерна при ударе о поверхность перечисленных выше испытуемых материалов определяли из зависимости, предложенной в работе [10]: $K = (h_1/h)^{0,5}$, где h – высота падения зерна на испытуемую поверхность; h_1 – высота отскока зерна после контакта с испытуемой поверхностью (материал, из которого изготовлен обтекатель или зубья очесывающего барабана). Как видно из приведенных в таблицах данных, коэффициент трения покоя зерна и колоса по стали более чем в два раза выше, чем по поверхности, выполненной из СВМПЭ и керамопласта. Коэффициент трения движения колоса по стали выше на 33–32 %, чем по полиэтиленам, а зерна – на 18–20 %. Численные значения коэффициента восстановления зерна при ударе его о стальную поверхность составили 0,5, а о поверхность из сверхвысокомолекулярного полиэтилена СВМПЭ – 0,4. Полученные данные использовали при расчете энергии восстановления зерна в растениях, зона контакта которых располагается на выпуклой поверхности обтекателя таким образом, что вектор скорости агрегата и радиус кривизны дуги в точке контакта находятся на одной линии (рис. 2).

На рис. 5 представлен график зависимости энергии, затраченной на деформацию зерна при контакте колоса с обтекателем, выполненным из стали СВМПЭ.

Здесь кривые 1 и 2 отображают изменение энергии восстановления зерна, при ударе колоса плашмя. При этом кривая 1 иллюстрирует контакт колоса с обтекателем гранью, а кривая 2 – ребром. Поэтому во всем диапазоне скоростей энергия восстановления одного зерна при контакте колоса ребром в два раза выше, чем гранью.

Из выражения (6) видно, что чем больше значение коэффициентов трения и восстановления, тем больше вычисленное значение энергии восстановления. Так как при ударе колоса о стальную поверхность $K = 0,5$, а $f = 0,53$, то кривая 3 (см. рис. 5, а), иллюстрирующая изменение энергии восстановления зерна при прямом ударе, располагается ниже кривой 4, иллюстрирующей зависимость изменения энергии восстановления зерна при косом ударе.

При ударе колоса о поверхность обтекателя, выполненную из СВМПЭ (см. рис. 5, б), значения коэффициентов восстановления и трения составляют $K = 0,4$ и $f = 0,27$ соответственно,

поэтому численные значения изменения энергии восстановления зерна, рассчитанные для позиций растений П II, П III и П IV, отличаются незначительно, и при выбранном масштабе их изменение с увеличением скорости движения агрегата отображается кривой 3.

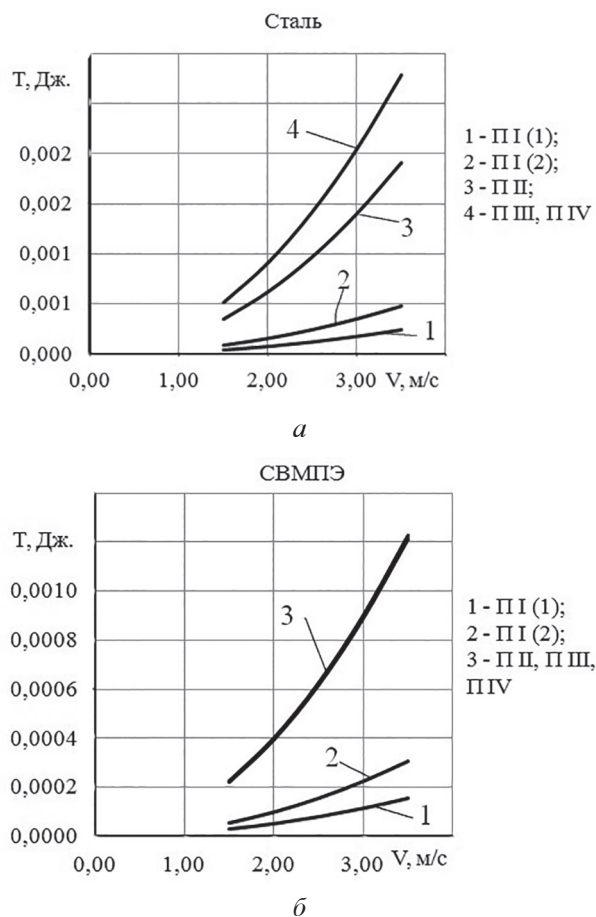


Рис. 5. Зависимость энергии, затраченной зерном на восстановление зерна от скорости движения жатки при контакте колоса с поверхностью обтекателя, выполненного из:
а – стали; б – полиэтилена СВМПЭ

Затраты энергии на восстановление одного зерна после удара, полученные теоретическим путем, сравнивали с затратами на вымолот одного зерна, равными 0,065 Дж, приведенными в справочнике [13]. Так как способ получения данных, представленных в справочнике [13], заметно отличается от реального процесса, приводим также полученные нами результаты исследований, выполненных на лабораторной установке, реализующей процесс очеса [14]. Было установлено, что при влажности хлебостоя 9–11 % работа на выделение одного зерна из колоса снижается до 0,0015 Дж на восьмой день уборки. В таких условиях уборочный агрегат, оборудованный очесывающей

жаткой с обтекателем из стали, может работать без потерь зерна в первой фазе взаимодействия на скоростях до 2,3 м/с, а с жаткой, обтекатель которой изготовлен из СВМПЭ, – на скоростях до 3,5 м/с.

Выводы

1. Для случая, когда точка контакта колоса с обтекателем расположена так, что радиус кривизны к ней и вектор скорости жатки параллельны, энергия восстановления зерна с обтекателем, выполненным из стали, в 2,4 раза выше, чем с обтекателем, выполненным из сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ). Объяснение этому следует из анализа полученных уравнений, где видно, что с увеличением коэффициента восстановления и коэффициента трения энергия восстановления зерна увеличивается.

2. При контакте колоса с обтекателем, выполненным как из стали, так и СВМПЭ, минимум энергии, выделенной зерном при его восстановлении, будет при контакте колоса плашмя с поверхностью обкатателя всей его боковой гранью и несколько возрастает при контакте колоса ребром (одним рядом колосков). Это объясняется тем, что масса колоса в обоих случаях остается одинаковой, а количество зерен, находящихся в непосредственном контакте, изменяется. Следует также учитывать, что энергия, выделенная при ударе, поглощается поверхностью обкатателя, изготовленного из СВМПЭ, больше, чем из стали.

3. Установлено, что, при влажности хлеба 9–11 %, на восьмой день уборки работа на выделение одного зерна из колоса снижается до 0,0015 Дж. При таких условиях уборочный агрегат, оборудованный очесывающей жаткой с обтекателем, изготовленным из стали, может работать без потерь зерна в первой фазе взаимодействия с ним на скоростях до 2,3 м/с, а с жаткой, обтекатель которой изготовлен из СВМПЭ, – на скоростях до 3,5 м/с.

Литература

1. Шабанов П.А. Определение зависимости некоторых параметров очесывающего устройства от состояния стеблестоя // Комплексная механизация и автоматизация сельскохозяйственного производства: сб. статей. Ростовский-на-Дону институт сельскохозяйственного машиностроения. Ростов-на-Дону, 1978. С. 39–47.
2. Шабанов П.А. Исследование движения стебля с малой жесткостью в процессе очеса // Совершен-

ствование уборки и послеуборочной обработки зерна: тр. ЧИМЭСХ. Челябинск, 1981. Вып. 168. С. 28–36.

3. Шабанов П.А. Исследование движения жесткого стебля под действием очесывающего рабочего органа // Повышение производительности и качества работы зерноуборочных и зерноочистительных машин: Науч. тр. ЧИМЭСХ. Челябинск, 1984. С. 31–36.
4. Yuan J., Lan Y. Development of a Cereal Stripping Harvester. *Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal*. 2007. Vol. IX. pp. 1–12
5. Бурьянов, М.А. Параметры и режимы процесса очеса зерновых культур навесной на комбайн жаткой: дис. канд. техн. наук. Зерноград, 2011. 184 с.
6. Бурьянов М.А., Бурьянов А.И., Костыленко О.А. Методика обоснования параметров обкатателя однобарабанной очесывающей жатки // Тракторы и сельхозмашины. 2015. № 7. С. 19–23.
7. Бурьянов М.А., Бурьянов А.И., Костыленко О.А. Методика математического моделирования взаимодействия растений зерновых культур с очесывающим барабаном жатки // Тракторы и сельхозмашины. 2015. № 9. С. 19–22.
8. Бурьянов М.А., Бурьянов А.И., Червяков И.В. Методика математического моделирования процесса движения зерна в транспортирующем канале очесывающей жатки // Тракторы и сельхозмашины. 2015. № 10. С. 27–30.
9. Бурьянов А.И., Бурьянов М.А. Определение скорости зернополовистого вороха в очесывающей жатке // Техника в сельском хозяйстве. 2012. № 5. С. 6–8.
10. Добронравов В.В., Никитин Н.Н., Дворников А.Л. Курс теоретической механики; М.: Высшая школа, 1966. 624 с.
11. Кобринский А.Е., Кобринский А.А. Виброударные системы (динамика и устойчивость). М.: Наука, 1973. 591 с.
12. Желиговский В.А. Прибор для определения коэффициентов трения: патент на полезную модель № 65957, Россияская Федерация. Опубликовано 01.01.1946.
13. Справочник конструктора сельскохозяйственных машин: в 2 т. / под ред. А.В. Красниченко. М.: Машгиз, 1962. Т. 1. 655 с.
14. Бурьянов М.А., Червяков И.В. Методы и средства определения величины потерь зерна при уборке зерновых колосовых культур очесывающей жаткой // Разработка инновационных технологий и технических средств для АПК Ч. 1 СКНИИМЭСХ. Зерноград, 2013. С. 134–140.

References

1. Shabanov P.A. Determination of the dependence of some parameters of the combing device on the state of the stalk. *Kompleksnaya mekhanizatsiya i avtomatizatsiya sel'skokhozyaystvennogo proizvodstva: sb. statey. Rostovskiy-na-Donu institut sel'skokhozyaystvennogo mashinostroeniya. Rostov-na-Donu [Integrated mechanization and automation of agricultural production: Collection articles. Rostov-on-Don Institute of Agricultural Machinery]*, 1978, pp. 39–47 (in Russ.).
2. Shabanov P.A. Investigation of stalk movement with low stiffness in the course of the comb // *Perfection of harvesting and post-harvest grain processing. Tr. ChIMESKh. Chelyabinsk, 1981. Vyp. 168, pp. 28–36 (in Russ.)*.
3. Shabanov P.A. Investigation of the movement of a rigid stalk under the effect of a combing working element. *Povyshenie proizvoditel'nosti i kachestva raboty zernouborochnykh i zernoochistitel'nykh mashin. Nauch. tr. ChIMESKh [Increase of productivity and quality of work of grain-harvesting and grain-cleaning machines: scientific works]. Chelyabinsk, 1984, pp. 31–36 (in Russ.)*.
4. Yuan J., Lan Y. Development of a Cereal Stripping Harvester. *Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal. 2007. Vol. IX. nr. 1–12*
5. Bur'yanov, M.A. *Parametry i rezhimy protsessa ochesa zernovykh kul'tur navesnoy na kombayn zhatkoy: dis. kand. tekhn. nauk [Parameters and regimes of the process of combing cereals cropped on a harvester by a reaper: dissertation for degree of Doctor of Technical Sciences]. Zernograd, 2011. 184 p.*
6. Bur'yanov M.A., Bur'yanov A.I., Kostylenko O.A. The method of justifying the parameters of the fairing of a single-drum combing header. *Traktory i sel'khoz mashiny. 2015. No 7, pp. 19–23 (in Russ.)*.
7. Bur'yanov M.A., Bur'yanov A.I., Kostylenko O.A. Method of mathematical modeling of the interaction of plants of grain crops with a combing drum. *Traktory i sel'khoz mashiny. 2015. No 9, pp. 19–22 (in Russ.)*.
8. Bur'yanov M.A., Bur'yanov A.I., Chervyakov I.V. Method of mathematical modeling of the process of grain movement in the transport channel of the combing header. *Traktory i sel'khoz mashiny. 2015. No 10, pp. 27–30 (in Russ.)*.
9. Bur'yanov A.I., Bur'yanov M.A. Determination of the grain heap rate in the combing header. *Tekhnika v sel'skom khozyaystve. 2012. No 5, pp. 6–8 (in Russ.)*.
10. Dobronravov V.V., Nikitin N.N., Dvornikov A.L. *Kurs teoreticheskoy mekhaniki [Course of theoretical mechanics]. Moscow: Vysshaya shkola Publ., 1966. 624 p.*
11. Kobrinskiy A.E., Kobrinskiy A.A. *Vibroudarnye sistemy (dinamika i ustoychivost') [Vibro-impact systems (dynamics and stability)]. Moscow: Nauka Publ., 1973. 591 p.*
12. Zheligovskiy V.A. *Pribor dlya opredeleniya koefitsientov treniya [The device for determining the coefficients of friction]: patent na poleznuyu model' No 65957, Rossiyskaya Federatsiya. Opublikovano 01.01.1946.*
13. *Spravochnik konstruktora sel'skokhozyaystvennykh mashin [Reference book of the designer of agricultural machines]: v 2 t. Pod red. A.V. Krasnichenko. Moscow: Mashgiz Publ., 1962. Vol. 1. 655 p.*
14. Bur'yanov M.A., Chervyakov I.V. Methods and means for determining the magnitude of grain losses during the harvesting of cereal crops by combing reaper. *Razrabotka innovatsionnykh tekhnologiy i tekhnicheskikh sredstv dlya APK. Ch. 1 SKNIIMESKh. Zernograd, 2013, pp. 134–140 (in Russ.)*.