

УДК 621.82

Л.И. БОЙКО, д-р техн. наук, О.В. КЛИМОВИЧ  
Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, г. Минск

## АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИЙ И МЕТОДОВ СНИЖЕНИЯ НАГРУЖЕННОСТИ ПРИВодОВ ВОЗДУШНО-РЕШЕТНЫХ СИСТЕМ ОЧИСТОК ЗЕРНОВОГО ВОРОХА КОМБАЙНОВ

*Рассмотрены существующие конструкции систем очистки зерноуборочных комбайнов, намечены пути снижения нагрузки их приводов.*

**Ключевые слова:** система очистки, зерноуборочный комбайн, нагрузка, приводы, инерционная нагрузка

**Введение.** Зерноуборочные комбайны в силу специфики выполняемых технологических процессов должны выполнять свою работу в жестко ограниченные сроки. Недостаточная производительность, равно как и пониженная надежность, вызывающая даже незначительные простои, могут привести к срывам сроков уборки зерна, что приведет к существенным потерям урожая.

Одной из главных систем, приводящей к повышенной вибрации, вызывающей снижение надежности и долговечности узлов и механизмов всего комбайна, ухудшающей эргономику машины, является система очистки зернового вороха. В существующих публикациях многочисленными авторами рассматривались как проблемы уравновешенности систем очистки зерноуборочных комбайнов, так и методы снижения нагрузки приводов, однако, как правило, рассматривалась либо конкретная система очистки [1, 2], либо методы уравновешивания приводов без учета особенностей систем очистки зернового вороха [3, 4, 5]. Настоящая статья ставит своей целью рассмотрение проблем нагрузки, характерных для всего класса ветро-решетных систем очистки комбайнов.

Ветро-решетные очистки, нашедшие подавляющее применение в зерноуборочных комбайнах, можно разделить на два типа — одностанные и двустанные. Оба типа содержат верхний и нижний решетчатые станы, транспортирующее устройство, осуществляющее подачу мелкого вороха из-под молотильного барабана и соломотряса на верхнее решето. Транспортирующее устройство может быть выполнено в виде одной или нескольких транспортных досок — автономных или расположенных с перепадом в общем коробе, бесконечного планчатого транспортера, в виде батареи параллельных шнеков, находящихся в открытых коробах и расположенных вдоль комбайна под молотильным аппаратом.

Очистки снабжены приводным механизмом, содержащим, как правило, колебательный вал и спаренный шатун. Колебательный вал приводится в движение от двигателя комбайна.

Основное отличие одностанных очисток от двустанных заключается в том, что в первых верхнее и нижнее решето смонтированы в общем коробе и, следовательно, колеблются в одной фазе как одно целое, а в двустанных очистках верхний и нижний решетчатый стан колеблются в противофазе.

**Одностанные очистки.** В 1961 году в Великобритании была зарегистрирована одностанная очистка (заявка № 964979), содержащая установленные в общем коробе верхнее 3 и нижнее 5 решета, транспортирующее устройство, выполненное в виде транспортной доски 6, жестко прикрепленной к данному коробу, и кривошипно-шатунный приводной механизм 1, 2 (рисунок 1).

Данная очистка из серии одностанных очисток, с точки зрения уравновешенности ее подвижных масс, является наиболее неуравновешенной, так как оба решета и транспортная доска колеблются как одно тело. Если принять во внимание то, что масса подвижных звеньев очистки комбайна достигает 300 кг и более, а ускорение ее центра масс достигает порядка 30 м/с<sup>2</sup>, то со стороны такой одностанной очистки на корпус комбайна действует возмущающая сила значительной величины, а также некоторый момент сил инерции.

Наряду с очисткой, рассмотренной выше, получили развитие одностанные очистки, содержащие двуплечие коромысла, к нижним плечам которых присоединен двухрешетный стан, а к верхним — транспортирующее устройство, выполненное в виде одной или нескольких транспортных досок.

Так, на рисунке 2 приведена схема очистки самоходного зерноуборочного комбайна [6], содержащая

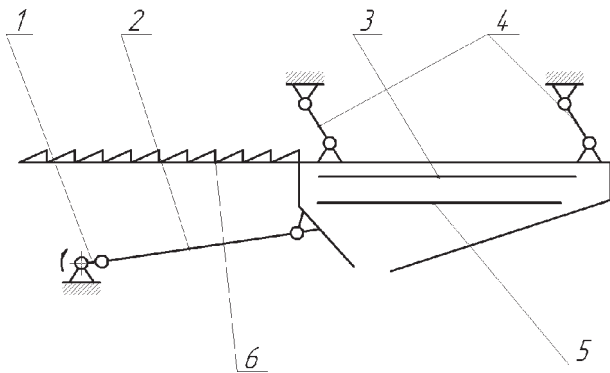


Рисунок 1 — Схема одностанной очистки: 1 — кривошип; 2 — шатун; 3 — верхний решетный стан; 4 — шарнирные подвески; 5 — нижний решетный стан; 6 — транспортная доска

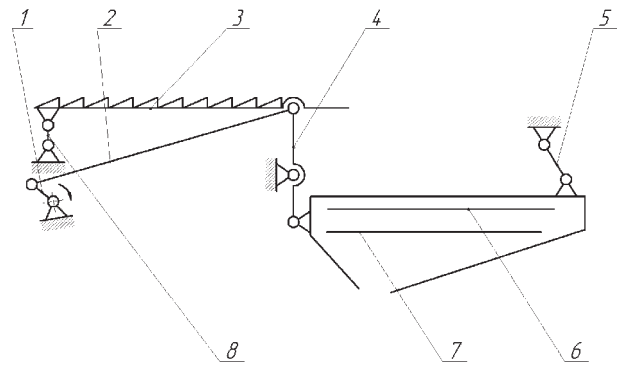


Рисунок 3 — Схема одностанной очистки с двухплечим рычагом и транспортной доской: 1 — кривошип; 2 — шатун; 3 — транспортное решето; 4 — двухплечее коромысло; 5, 8 — шарнирные подвески; 6 — верхний решетный стан; 7 — нижний решетный стан

ветрорешетную очистку с двухплечими коромыслами 3, к верхним плечам которых шарнирно присоединено установленное на подвесах транспортирующее устройство 7. Транспортирующее устройство выполнено в виде донного транспортера, состоящего из нескольких отдельных частей, расположенных одна над другой со смещением в общем корпусе так, что образуется несколько ступеней падения, через которые продувается воздух. К нижним плечам коромысел шарнирно присоединены верхний 4 и нижний 6 решетные станы.

На рисунке 3 приведена конструкция подобной системы очистки [7], в которой вместо донного транспортера используется транспортное решето 3.

В данных очистках благодаря противофазному движению транспортирующего устройства и двухрешетного стана силы инерции подвижных масс различной величины уравниваются частично, а возникающий при этом момент сил инерции остается неуравновешенным. Таким образом, ни главный вектор, ни главный момент сил инерции масс подвижных звеньев не равны нулю. Вследствие этого и данная очистка является возбудителем существенных колебаний и вибраций комбайна.

**Двустанные очистки.** Приступая к анализу двустанных ветрорешетных очисток, необходимо подчеркнуть, что очистки данного типа нашли очень широкое применение как в отечественных, так и в зарубежных зерноуборочных комбайнах.

На рисунке 4 изображена двустанная очистка, содержащая транспортную доску 8, соединенную систе-

мой рычагов и тяг с двухплечим коромыслом 3, шарнирно присоединенные к нему верхний решетный стан 4 и нижний решетный стан 7, шарнирные подвески 5, 6, 9 и кривошипно-шатунный приводной механизм 1, 2. Система очистки подобной конструкции запатентована в США [8].

В подобных двустанных очистках транспортная доска и верхний решетный стан, соединенные последовательно, колеблются в противофазе с нижним решетным станом. Учитывая то, что суммарная масса верхнего стана и транспортной доски значительно превосходит массу нижнего стана, колеблющегося к тому же с меньшей амплитудой, а траектории движения центров инерции подвижных масс по условиям компоновки значительно разнесены, то данные очистки являются неуравновешенными как по главному вектору сил инерции, так и по главному моменту сил инерции.

На рисунке 5 представлена очистка, в которой транспортирующее устройство выполнено в виде набора параллельных шнеков 8, расположенных в открытых коробах под молотильным аппаратом. Такие очистки встречаются, например, в патентах США [9, 10] и СССР [11].

Исключение в этих очистках одной из колеблющихся масс — транспортной доски — обеспечивает частичную статистическую уравновешенность решетных станов 4, 7 и некоторое снижение величины главного момента сил инерции. В то же время транспортирующее устройство, выполненное в виде шнеков,

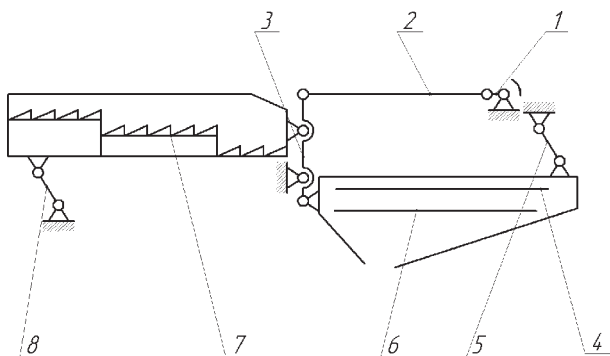


Рисунок 2 — Схема одностанной очистки с двухплечим рычагом и ступенчатым транспортером: 1 — кривошип; 2 — шатун; 3 — двухплечее коромысло; 4 — верхний решетный стан; 5, 8 — шарнирные подвески; 6 — нижний решетный стан; 7 — транспортная доска

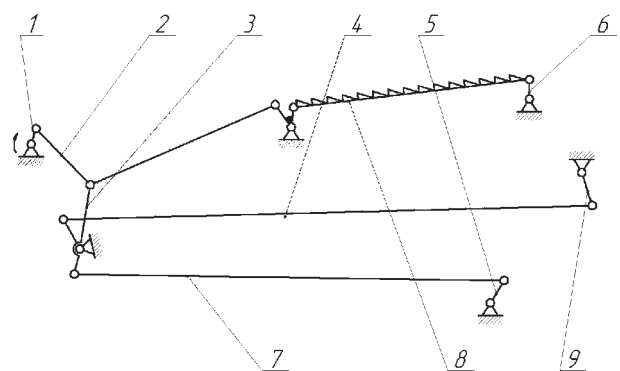


Рисунок 4 — Схема двустанной очистки: 1 — кривошип; 2 — шатун; 3 — двухплечее коромысло; 4 — верхний решетный стан; 5, 6, 9 — шарнирные подвески; 7 — нижний решетный стан; 8 — транспортная доска

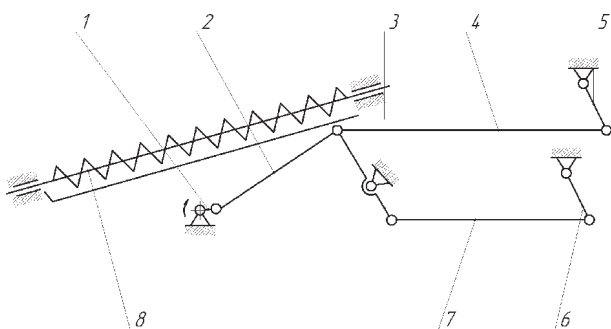


Рисунок 5 — Схема двустатной очистки со шнековым транспортирующим устройством: 1 — кривошип; 2 — шатун; 3 — двуплечее коромысло; 4 — верхний решетный стан; 5, 6 — шарнирные подвески; 7 — нижний решетный стан; 8 — транспортный шнек

не обеспечивает предварительного расслоения мелкого вороха на фракции, подает его на решета порциями, вследствие чего пропускная способность очистки и качество ее работы снижаются.

Известны также частично уравновешенные двустатные очистки, заслуживающие более полного анализа. Такие очистки в общем случае содержат транспортную доску, нижний и верхний решетный станы, установленные на раме комбайна на наклонных коромыслах (подвесках), а также кривошипно-шатунный привод, представляющий собой колебательный вал с одним или двумя приводными шатунами (на плоской схеме).

Одним из направлений развития подобных очисток является повышение их уравновешенности за счет противофазного движения колеблющихся масс по различным схемам. В этом случае отдельные участки используются в качестве уравновешивающих масс — противовесов. Общая масса очисток не увеличивается. Эти очистки можно разделить на несколько групп.

Во-первых, это очистки, у которых транспортная доска 8 и верхний решетный стан 4 соединены шарнирно и колеблются в одной фазе, а нижний решетный стан 7 — в противофазе к ним, с меньшей амплитудой колебаний (рисунок 6). К очисткам данного типа относятся очистки комбайнов СК-5 «Нива» и СК-6 «Колос» [12]. Подобные двустатные очистки в заявках и патентах соответствующего класса изобретений встречаются наиболее часто, например, в патентах СССР [13], Великобритании [14], Российской Федерации [15].

Эти очистки наиболее просты, однако они и наиболее неуравновешенны. В связи с тем, что уравновешивающая масса — нижний решетный стан — в несколько раз меньше по величине и к тому же имеет

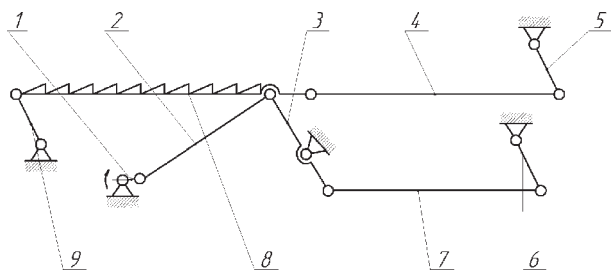


Рисунок 6 — Схема двустатной очистки комбайнов «Нива» и «Колос»: 1 — кривошип; 2 — шатун; 3 — двуплечее коромысло; 4 — верхний решетный стан; 5, 6, 9 — шарнирные подвески; 7 — нижний решетный стан; 8 — транспортная доска

меньшую амплитуду колебаний, а вектор сил инерции ее центра масс значительно смещен относительно центра масс транспортной доски и верхнего решетного стана, эти очистки во время работы вызывают значительные колебания корпуса.

Во-вторых, это очистки, у которых транспортная доска и нижний решетный стан колеблются в одной фазе, а верхний решетный стан — в противофазе. На рисунке 7 представлена схема механизма очистки зерновой части вороха комбайна «Полесье-Ротор» (КЗР-10) [16], которая относится к данному типу двустатных очисток. В данной очистке нижний решетный стан 10 и стрясная доска 1 колеблются в противофазе с верхним решетом 6, удлинителем 8 и дополнительным решето 3. Поскольку суммарная масса стрясной доски 1 и нижнего решетного решета 10 незначительно больше массы верхнего решетного стана, а амплитуда колебаний большей массы меньше, то данная очистка является более уравновешенной, чем все рассматривавшиеся ранее. Удачна схема очистки и тем, что не содержит дополнительных кривошипов и шатунов. Однако действие значительных знакопеременных инерционных нагрузок от колеблющихся масс не только вызывает колебания рамы комбайна, но и нагружает привод системы очистки, что вызывает повышенный износ в шарнирах привода.

**Пути снижения нагруженности.** Таким образом, анализ патентных материалов показал, что к настоящему времени известно большое количество самых разнообразных схем одностанных и двустатных ветрорешетных очисток для зерноуборочных комбайнов. Однако, из всего множества известных очисток не нашлось ни одной, у которой силы инерции и моменты сил инерции основных колеблющихся масс были бы полностью уравновешены путем их перераспределения. Следствием неуравновешенности системы очистки является воздействие значительных знакопеременных сил как на раму машины, так и на привод.

В вышеприведенных конструкциях уравновешивание механизмов и приводов решается путем перераспределения масс звеньев, устраняя воздействие привода на раму машины. Данный метод, однако, не решает проблемы нагруженности самого привода, следствием чего являются его малая долговечность, повышенные нагрузки в шарнирах и вибрации рамы.

Известны два метода снижения нагруженности приводов с колеблющимися рабочими органами, воздействующие на сам источник возмущений и позволяющие существенно ослабить или полностью погасить его действие на привод [17].

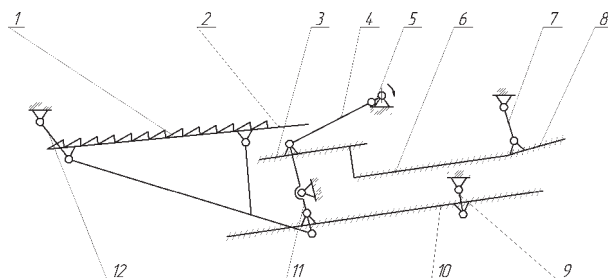


Рисунок 7 — Схема очистки зерноуборочного комплекса «Полесье-Ротор»: 1 — стрясная доска; 2 — пальцевая решетка; 3 — дополнительное решето; 4 — шатун; 5 — кривошип; 6 — верхнее решето; 7, 9, 12 — шарнирные подвески; 8 — удлинитель верхнего решета; 10 — нижнее решето; 11 — двуплечий рычаг

Первый метод, называемый кинематическим, состоит во введении в привод дополнительного источника колебаний с определенными характеристиками, гасящего существующий источник. Например, описано использование данного метода для снижения нагруженности привода режущего аппарата косилки-плющилки [18] и карданного привода [17].

Второй метод, называемый силовым, заключается в установке в привод специальных динамических разгрузителей, настраиваемых на частоту источников колебаний (рабочих органов). Такой подход к решению поставленной задачи позволяет локализовать механическую энергию источника колебаний внутри неконсервативной колебательной системы [5].

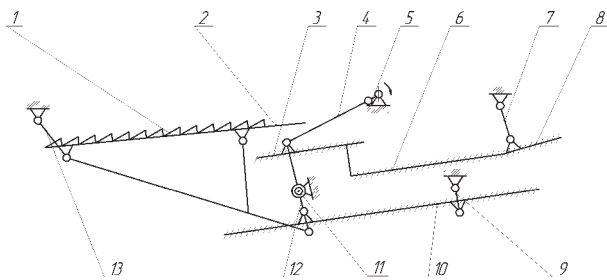
Поскольку колебания рабочих органов являются необходимыми для выполнения технологического процесса очистки зерна и их гашение нецелесообразно, то предлагается воспользоваться силовым методом. Рассмотрим применение силового метода снижения нагруженности по отношению к приводу системы очистки зерноуборочного комплекса КЗР-10 «Полесье-Ротор».

Для аккумуляции кинетической энергии решетчатых станов и стрясной доски системы очистки разработан торсионный рекуператор энергии.

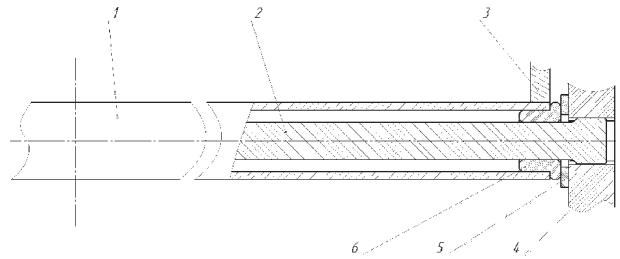
Привод системы очистки с торсионным рекуператором энергии 11 (рисунок 8) содержит два кривошипа 5, которые приводят в движение шатуны 4. Шатуны 4 шарнирно связаны с одним из концов двуплечих рычагов 12 и верхним решетом 6, установленном на подвесах 7. Стрясная доска 1 связана тягами с двуплечими рычагами 12. Двуплечие рычаги 12 связаны с торсионным рекуператором энергии 11.

Разработанный торсионный рекуператор энергии (рисунок 9) содержит два торсионных вала 2, установленных последовательно в трубе 1. Одни концы торсионных валов 2 жестко связаны с двуплечими рычагами 4. Труба 1 жестко закреплена на раме системы очистки 3.

Решетчатый стан механизма очистки зерноуборочного комплекса с торсионным рекуператором энергии работает следующим образом: кривошипы 5 (см. рисунок 8) через шатуны 4 сообщают верхнему решетному стану 6, двуплечему рычагу 12, нижнему решетному стану 10 и стрясной доске 1 возвратно-поступательное движение. Колебания верхнего решетчатого стана 6 и стрясной доски 1 осуществляются в противофазе. Двуплечие рычаги 12 закручивают торсионные валы рекуператора энергии 11. Вследствие этого в торсионных валах возникает сила упругости, кото-



**Рисунок 8** — Схема привода системы очистки зерноуборочного комплекса КЗР-10 «Полесье-Ротор» с торсионным рекуператором энергии: 1 — стрясная доска; 2 — пальцевая решетка; 3 — дополнительное решето; 4 — шатун; 5 — кривошип; 6 — верхнее решето; 7, 9, 13 — шарнирные подвески; 8 — удлинитель верхнего решета; 10 — нижнее решето; 11 — торсионный рекуператор энергии; 12 — двуплечий рычаг



**Рисунок 9** — Схема торсионного рекуператора энергии: 1 — труба; 2 — торсионный вал; 3 — рама системы очистки; 4 — двуплечий рычаг; 5 — шайба; 6 — втулка

рая воздействует на двуплечие рычаги 12. В крайних положениях торсионные валы максимально закручены, сила упругости, возникающая в них, помогает приводу разогнать систему, а затем остановить. Применение данной схемы привода дает возможность создать силу упругости, которая всегда направлена противоположно силе инерции стрясной доски 1 и решетчатых станов 6 и 10.

Предварительное теоретическое исследование кинематики рекуперативного привода показывает возможность снижения его нагруженности и виброактивности по сравнению с серийным приводом.

**Заключение.** Анализ существующих схем очисток зерноуборочных комбайнов показал, что достигнут существенный прогресс в задаче снижения степени воздействия колеблющихся масс путем их перераспределения на раму машины. В то же время, достигнуть значительного снижения нагруженности привода систем очисток не удалось. В связи с этим, одним из перспективных направлений развития систем очисток видится путь снижения воздействия инерционных нагрузок на их привод.

#### Список литературы

1. Щербаков, В.М. Уравновешивание системы очистки комбайна «Дон-1500Б» / В.М. Щербаков, Н.И. Стрикунов // Вестн. Алтайского гос. аграрного ун-та. — 2007. — № 7. — С. 48—50.
2. Михайлов, В.В. Моделирование на ЭВМ динамики систем рычажных механизмов / В.В. Михайлов [и др.]. — Минск: ИНДМАШ АН БССР, 1989. — 47 с. — (Оперативно-информационные материалы / Ин-т проблем надежности и долговечности машин АН БССР).
3. Артоболевский, И.И. Методы уравновешивания сил инерции в рабочих машинах со сложными кинематическими схемами / И.И. Артоболевский. — М.-Л.: Изд-во Акад. наук СССР, 1938. — 46 с.
4. Ходосевич, В.И. Исследование динамических нагрузок в приводе прохотов картофелеуборочного агрегата: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.04. / В.И. Ходосевич. — Минск, 1971. — 155 с.
5. Бойко, Л.И. К построению автоколебательной системы в приводах рабочих органов машин / Л.И. Бойко, А.М. Гоман, Н.Л. Ракова // Вес. Нац. акад. наук Беларуси. Сер. физ.-техн. наук. — 1999. — № 1. — С. 24—29.
6. Самоходный зерноуборочный комбайн: пат. 3228326 ФРГ(DE), МКИ А01 F12/32 / Hemker Heinrich Dipl Ing, Heidjann Franz Ing Grad; CLAAS OHG. — № 19820729; заявл. 29.07.82; опубл. 09.02.84 // Изобретения в СССР и за рубежом. РИ / Гос. комитет СССР по делам изобретений и открытий. — 1984. — Вып. 1. — № 16. — С. 31.
7. Очистка зерноуборочного комбайна: пат. 2137349 РФ, МПК7 А 01 F 12/44 / С.Ф. Сороченко, А.Н. Антропов; заявитель Алтайский гос. техн. ун-т им. И.И. Ползунова. — № 9811124/13; заявл. 08.06.98; опубл. 20.09.99 // Изобретения. Заявки и патенты / Федеральный ин-т пром. собственности. — 1999. — № 26. — С. 247.

8. Устройство для очистки уборочного комбайна: пат. 6672957 США, IPC1-7 A 01 F12/32 / Voss Douglass A, Eckrote Richard C, Honas Robert, Voss Douglass A, Eckrote Richard C, Honas Robert; заявитель AGCO CORPORATION. — № 20020328; заявл. 28.05.02; опубл. 09.10.03 // Изобретения стран мира / ИИЦ Роспатента. — 2005. — Вып. 1. — № 1. — С. 17.
9. Combine Grain Cleaner: пат. 3556108 США, IPC1-7 A 01 F12/32 / William H. Knapp, Davenport, Iowa, Richard A. DePauw, East Moline, Caroll Q. Gochanour; заявитель International Harvester Company Chicago. — № 784054; заявл. 16.12.68; опубл. 19.01.71 // Official Gazette / Пат. ведомство США. — 1971. — № 3A. — С. 32.
10. Convertible Rotor: пат. 3621850 США, A01F12/22 / William H. Knapp, Davenport, Iowa, Richard I. Wood, El Dorado Springs; заявитель International Harvester Company Chicago. — № 995; заявл. 06.01.70; опубл. 23.11.71 // Official Gazette / Пат. ведомство США. — 1971. — № 49A. — С. 9.
11. Прямоточный зерноуборочный комбайн: пат. 727101 СССР, УДК 631.361.022(088.8) / Ричард А. Де Пов, Девид Дж. Густавсон; заявитель Интернешнл Харвестер Компании. — № 2392804/30.5; заявл. 30.05.79; опубл. 05.04.80 // Открытия. Изобретения. Промышленные образцы. Товарные знаки / ЦНИИПЭИ. — 1980. — № 13. — С. 267.
12. Изаксон, Х.И. Зерноуборочные комбайны «Нива» и «Колос» / Х.И. Изаксон. — 2-е изд. — М.: Колос, 1980. — 416 с.
13. Очистка зерноуборочного комбайна: пат. 381324 СССР, УДК 631.361.02(088.8) / А.В. Кузнецов, Г.В. Сурилова, В.П. Гаврилов, В.И. Машанов; заявитель Сибирский НИИ электрификации сельского хозяйства. — № 1646701/30.11; заявл. 30.11.71; опубл. 22.05.73 // Открытия. Изобретения. Промышленные образцы. Товарные знаки / ЦНИИПЭИ. — 1973. — № 22. — С. 6.
14. Зерноочиститель для уборочного комбайна: пат. 2293080 Великобритания, МПК7 А 01 F12/48 / Marc Rene Monique Jonckheere; New Holland Belgium NV. — № 9418803.4; заявл. 17.09.94; опубл. 20.03.96 // Изобретения стран мира / ИИЦ Роспатента. — 1998. — Вып. 1. — № 2. — С. 9.
15. Очистка зерноуборочного комбайна: пат. 2183397 РФ, МПК7 А 01 F 12/44 / Е.Ф. Ветров, В.П. Чернявская, П.М. Арбузов, А.П. Малышев, А.Г. Никитан; заявитель ООО «Аэровис Лтд». — № 2001114421/13; заявл. 30.05.01; опубл. 20.06.02 // Изобретения. Полезные модели / Федеральный институт промышленной собственности. — 2002. — № 17. — С. 184.
16. Дюжев А.А. Зерноуборочные машины «Полесье»: пособие / А.А. Дюжев [и др.]. — Минск : Беларусь, 2008. — 156 с.
17. Бойко, Л.И. Механика приводов колеблющихся рабочих органов машин / Л.И. Бойко. — Минск: Мэджик Бук, 2003. — 240 с.
18. Ходосевич, В.И. Гашение крутильных колебаний привода режущего аппарата / В.И. Ходосевич, Л.И. Бойко, Т.В. Бойко // Улучшение эксплуатац. качеств и конструкций тракторов и с.-х. машин: сб. науч. тр. / БСХ. — Горки, 1976. — Вып. 84. — С. 76—83.

Boiko L.I., Klimovich O.V.

#### The analysis of structures and methods of reducing loading of cleaning system's drives of combine harvesters

The article considers various designs of grain cleaning system's drives of combine harvesters, outlines ways to reduce their loading.

Поступила в редакцию 06.12.2010.