

УДК 631.354.2.076

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ОЧИСТКИ ЗЕРНОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА ПРИ УБОРКЕ ЗЕРНОВЫХ НА СКЛОНАХ

А. В. КОТОВ

*РКУП «ГСКБ по зерноуборочной и кормоуборочной
технике», Республика Беларусь*

В. П. ЧАУС

*Учреждение образования «Гомельский государственный
технический университет имени П. О. Сухого»,
Республика Беларусь*

Введение

Самоходный зерноуборочный комбайн является наиболее сложной и наукоемкой сельскохозяйственной машиной не только среди всех машин, разрабатываемых в РКУП «ГСКБ по зерноуборочной и кормоуборочной технике», но и среди всех известных в мировой практике сельскохозяйственных машин. Наиболее важным агрегатом, определяющим производительность комбайна, является система очистки, в которой происходят сложные процессы взаимодействия различных фракций технологического продукта, находящихся под действием гравитационных сил, с воздушным потоком.

В настоящее время требования к очистке зерна довольно высоки: чистота бункерного зерна не менее 98 %, а дробленого не более 1 %. Получение чистого зерна от комбайна, которое не нуждается в дополнительной очистке, – одно из требований к современным высокопроизводительным комбайнам. Поэтому совершенствованию системы очистки зерноуборочных комбайнов постоянно уделяется особое внимание.

Постановка задачи

Как правило, отечественные самоходные зерноуборочные комбайны предназначены для прямой и раздельной уборки зерновых колосовых культур на равнинных полях с уклоном до 8°. Однако наличие на полях уклона неизбежно ведет к неравномерному распределению поступившего на очистку зернового вороха, а следовательно, к снижению эффективности его очистки. Так, при поперечном уклоне зерновой ворох перемещается к боковине, что приводит к его низкой продуваемости и к увеличению толщины слоя вороха на решетках; при продольном уклоне изменяется скорость и время движения вороха, что приводит к его скапливанию или уменьшению времени пребывания на решетках.

Чтобы повысить производительность работающего на склонах зерноуборочного комбайна и избежать существенных потерь зерна, перед конструкторскими бюро и научными организациями стоит задача наряду с применением новых принципов очистки зерна внедрять передовые конструкторские решения и разработки.

Одним из перспективных направлений повышения эффективной работы зерноуборочного комбайна на склонах является применение в системе очистки механизмов автоматического поперечного и продольного выравнивания решет.

Целью данной работы является описание и анализ режимов работы предложенного авторами усовершенствованного механизма привода очистки зерна самоходного зерноуборочного комбайна, позволяющего поддерживать требуемое положение решет относительно продольного и поперечного уклона.

Описание классической схемы системы очистки

Согласно приведенной на рис. 1 технологической схеме работы самоходного зерноуборочного комбайна, зерно, мякина, сбоина и колоски, просеявшиеся через отверстия подбарабана молотильного аппарата и соломотряса, поступают на ветро-решетную очистку, на которой ворох разделяется в результате совместного действия воздушного потока и решет. При этом решета, которые через системы рычагов связаны с механизмом привода очистки, поддерживают слой вороха и совместно с воздушным потоком взрыхляют его. Следовательно, одними из главных параметров, влияющими на сепарацию зерна в ветро-решетной очистке, являются конструктивные и кинематические параметры механизма привода очистки.

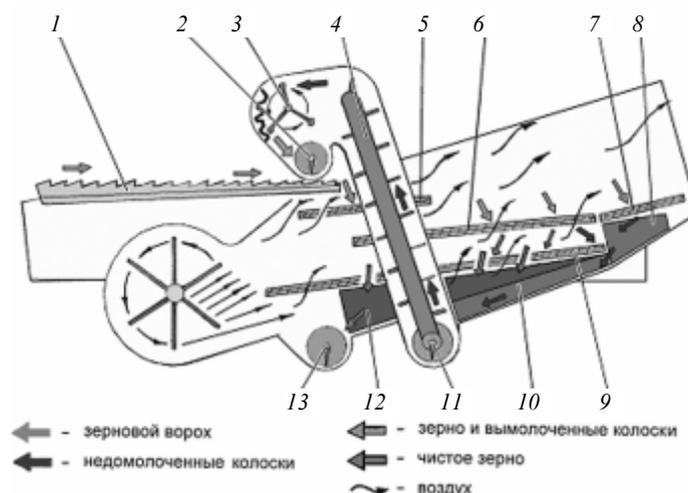


Рис. 1. Технологическая схема механизма очистки: 1 – доска стрясная; 2 – шнек распределительный; 3 – устройство домолачивающее; 4 – элеватор колосовой; 5 – решето дополнительное; 6 – решето верхнее; 7 – удлинитель; 8 – поддон удлинителя; 9 – решето нижнее; 10 – поддон колосовой; 11 – шнек колосовой; 12 – поддон зерновой; 13 – вентилятор

Кинематическая схема классического механизма привода очистки зерноуборочного комбайна приведена на рис. 2 и включает следующие основные элементы: доску стрясную 1, верхнее 2, нижнее 3 и дополнительное 5 решета, удлинитель 4 и систему рычагов колебательного механизма. Оптимально подобранные кинематические параметры классического механизма привода очистки обеспечивают минимальный уровень потерь при работе зерноуборочного комбайна на ровных полях.

Основные недостатки классического механизма привода очистки наблюдаются при работе зерноуборочного комбайна на полях с уклоном, когда в процессе работы происходит увеличение или уменьшение угла наклона решет в продольной или поперечной плоскости. При увеличении продольного угла наклона решет растительная масса скапливается у перехода к удлинителю, и расщепить ее воздушным потоком практически невозможно (рис. 1). В связи с этим конец нижнего решета и начало удлинителя выключаются из работы, так как в этих местах зерно и колосья, находящиеся в верхней части вороха, не имеют возможности выделиться, «пробившись» через всю толщу скопившейся массы. При уменьшении

продольного угла наклона решет время пребывания растительной массы на нижнем решете резко уменьшается и часть зерна не успевает выделиться и уходит в колосовой шнек. При изменении поперечного угла наклона решет зерновой ворох перемещается к одной из боковин, что приводит к его низкой продуваемости в этой зоне.

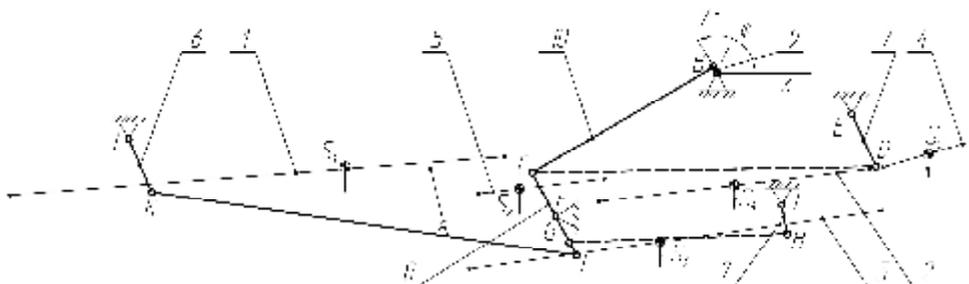


Рис. 2. Кинематическая схема механизма привода очистки: 1 – доска стрясная; 2 – решето верхнее; 3 – решето нижнее; 4 – удлинитель; 5 – решето дополнительное; 6 – подвеска передняя; 7 – подвеска задняя; 8 – двулучий рычаг; 9 – кривошип; 10 – шатун

Описание усовершенствованной схемы системы очистки

Анализ схем систем очисток зерноуборочных комбайнов, эффективно работающих на склонах, и углубленный патентный поиск показали, что во многих аналогичных конструкциях применены системы автоматического поперечного и продольного выравнивания, работа которых обеспечивает горизонтальное положение решет при работе поперек склонов до 20° , а вдоль – до 8° . Используя полученную информацию и имеющийся опыт, была разработана усовершенствованная система очистки зерноуборочного комбайна, включающая механизмы автоматического продольного и поперечного выравнивания решет.

Кинематическая схема усовершенствованного классического механизма привода очистки с автоматическим продольным выравниванием решет приведена на рис. 3.

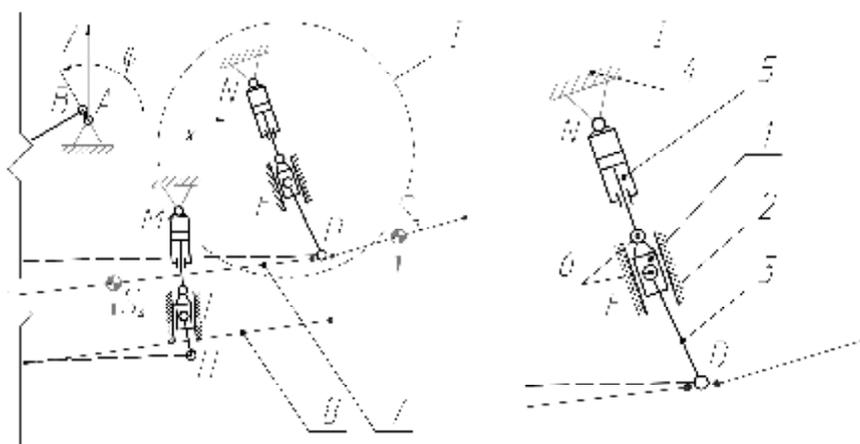


Рис. 3. Кинематическая схема усовершенствованного механизма привода очистки с автоматическим продольным выравниванием решет: 1 – ползун; 2 – направляющая; 3 – подвеска решета; 4 – рама комбайна; 5 – управляющий гидроцилиндр; 6 – поворотный шарнир; 7 – верхнее решето; 8 – нижнее решето

Помимо основных конструктивных особенностей, присущих классической схеме механизма привода очистки, в данную схему входят ползуны, установленные в задней части рамы комбайна и связанные одним шарниром со штоком гидроцилиндра, а вторым – с подвеской. При продольном наклоне зерноуборочного комбайна выравнивание решет происходит за счет поднимания или опускания хвостовой части решет посредством гидроцилиндра регулирования продольного наклона.

Кинематическая схема усовершенствованного механизма привода очистки с автоматическим поперечным выравниванием решет приведена на рис. 4.

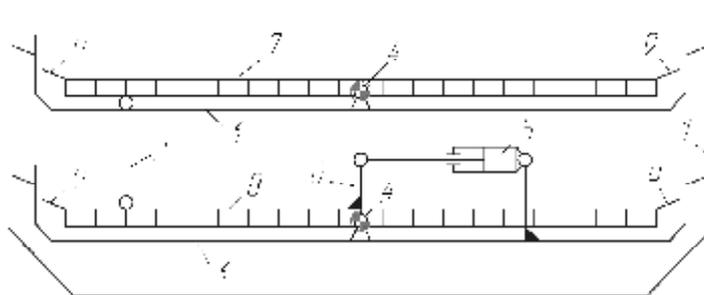


Рис. 4. Кинематическая схема усовершенствованного механизма привода очистки с автоматическим поперечным выравниванием решет: 1 – боковина; 2 – тяга; 3 – поперечная балка; 4 – сферический шарнир; 5 – управляющий гидроцилиндр; 6 – рычаг; 7 – верхнее решето; 8 – нижнее решето; 9 – эластичные уплотнители

Механизм автоматического поперечного выравнивания решет включает тягу, соединяющую верхнее и нижнее решета, которые связаны с передними поперечными балками с помощью сферических шарниров. Нижнее решето соединяется с передней поперечной балкой гидроцилиндром, один конец которого шарнирно присоединен к передней поперечной балке, а другой – с рычагом, жестко укрепленном на том же решете. При поперечном наклоне гидроцилиндр воздействует на нижнее решето, поворачивая его относительно продольной оси, а верхнее решето поворачивается посредством тяги. Установка сферических шарниров в центре тяжести решет или вблизи него, позволяет практически полностью исключить влияние массы решет на нагруженность элементов механизма поперечного выравнивания решет.

Достоинством предложенного усовершенствованного механизма привода очистки с автоматическим продольным и поперечным выравниванием решет является то, что совместное применение в нем гидравлического силового привода и датчиков уклона позволяет гарантированно обеспечить требуемое продольное и поперечное положение и поддержку решет.

Усовершенствованная система очистки зерноуборочного комбайна работает следующим образом. При движении зерноуборочного комбайна по склону с продольным наклоном (рис. 3) гидроцилиндры 5 регулирования продольного наклона решет, получая сигнал от датчика уклона, поднимают или опускают заднюю часть верхнего 7 и нижнего 8 решет. При этом ползуны 1 со стороны левой и правой боковины зерноуборочного комбайна перемещаются одновременно по направляющим пазам 2, исключая перемещение решет в поперечном направлении. При движении зерноуборочного комбайна по склону с поперечным наклоном (рис. 4) гидроцилиндр 5 регулирования поперечного наклона решет также, получая сигнал от датчика уклона, воздействует на рычаг 6, обеспечивая поворот нижнего решета 8 относительно продольной оси, проходящей через сферический шарнир 4. Поскольку

нижнее 8 и верхнее 7 решета связаны тягой 2, то и верхнее 7 решето также совершает поворот. Таким образом, механизмы автоматического продольного и поперечного выравнивания обеспечивают равномерное распределение зернового вороха по поверхности решет системы очистки.

Моделирование режимов работы усовершенствованной системы очистки

Усовершенствованный механизм привода очистки зерноуборочного комбайна требует проведения дополнительного исследования уровня нагруженности несущей конструкции комбайна и уровня вибрации. С этой целью при помощи перспективного программного комплекса виртуального моделирования механических систем ADAMS (Automatic Dynamic Analysis of Mechanical Systems) была разработана виртуальная 3D модель механизма привода очистки самоходного зерноуборочного комбайна. Данный программный комплекс сертифицирован по ISO 9001, 9002 и гарантирует правильность расчетов при точном воспроизведении объекта и действующих нагрузок с помощью специальных элементов описания [1]. Полученные с помощью пакета ADAMS результаты анализа могут быть представлены как в табличной, так и графической форме.

Создание любой модели рычажного механизма при помощи пакета ADAMS подразумевает описание всех ее характеристик: геометрических размеров, физических свойств, способов соединения подвижных и неподвижных частей и т. д. На рис. 5 приведена виртуальная 3D модель механизма привода очистки на примере самоходного зерноуборочного комбайна КЗС-1218, сформированная непосредственно с помощью собственных инструментов в пакете ADAMS.

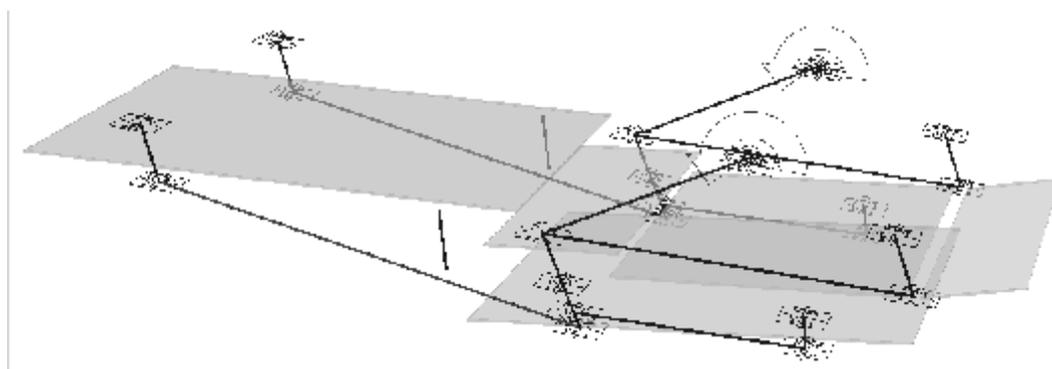


Рис. 5. 3D виртуальная модель механизма привода очистки самоходного зерноуборочного комбайна, сформированная в пакете ADAMS

В РКУП «ГСКБ по зерноуборочной и кормоуборочной технике» применение пакета ADAMS при разработке и исследовании рычажных механизмов сельскохозяйственных машин на ранних стадиях проектирования началось относительно недавно. Но уже проведенное моделирование при помощи данного пакета различных типов рычажных механизмов показало его высокую эффективность, а также высокую степень сходимости полученных результатов с результатами натуральных экспериментов [3]–[5].

Исследование виртуальной модели механизма привода очистки было проведено для трех режимов работы зерноуборочного комбайна: уборка зерновых на ровной местности и уборка зерновых на полях с продольным уклоном $\pm 8^\circ$. При этом проводилась сравнительная оценка отклонений интересующих величин усовершенствованного механизма привода очистки по каждому из трех принятых режимов работы зерноуборочного комбайна.

Анализ усовершенствованной конструкции механизма очистки

Как известно, одними из наиболее важных параметров, влияющих на нагруженность несущей конструкции зерноуборочного комбайна и уровень вибрации, являются кинематический режим работы механизма привода очистки, его динамическая неуравновешенность и величина реакций в шарнирах.

О кинематическом режиме работы механизма привода очистки можно судить по величине и направлению скорости, ускорению всех характерных точек механизма. Изменение данных величин должно обеспечивать наилучшее выполнение технологического процесса, а их оптимальные параметры приведены в специальной литературе или могут быть дополнительно уточнены экспериментальным путем с учетом специфики конкретного комбайна [5].

Анализ в пакете ADAMS кинематического режима работы усовершенствованного механизма привода очистки на примере зерноуборочного комбайна КЗС-1218 показал, что для рассматриваемых трех режимов работы зерноуборочного комбайна кинематические параметры характерных точек механизма (скорости и ускорения) имеют незначительные отклонения и близки к рекомендуемым в специальной литературе значениям.

О динамической неуравновешенности механизма привода очистки можно судить по изменению формы и площади траектории движения общего центра масс системы. Учитывая, что на продолжительность расчета в пакете ADAMS разработанной 3D модели механизма привода очистки не влияет число элементов с массово-инерционными характеристиками, то в модель были введены массы и осевые моменты инерции всех основных элементов механизма (см. рис. 2). Это позволило получить результаты, максимально приближенные к действительности.

На рис. 6 приведены полученные в пакете ADAMS графики изменения траектории движения общего центра масс усовершенствованного механизма привода очистки на примере зерноуборочного комбайна КЗС-1218 для трех рассматриваемых режимов работы.

Анализ траектории движения общего центра масс усовершенствованного механизма привода очистки показал увеличение площади траектории при спуске зерноуборочного комбайна с уклона и ее уменьшение при подъеме. При этом траектория движения общего центра масс системы сохраняет свою форму, незначительно изменяясь по горизонтали и вертикали принятой системы координат.

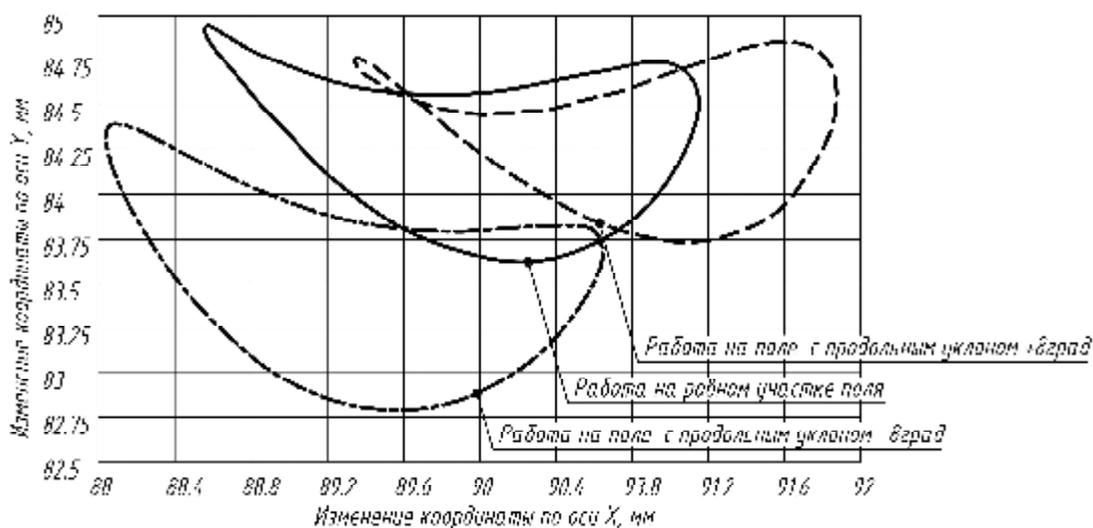


Рис. 6. Траектория изменения общего центра масс системы очистки

О нагруженности несущей конструкции рамы зерноуборочного комбайна можно судить по величине изменения модуля реакций во всех неподвижных шарнирах механизма привода очистки. Здесь наибольший интерес представляют значения модуля реакции в точках крепления подвесок нижнего и верхнего решет (см. рис. 3, точки *I, E*) усовершенствованного механизма привода очистки, так как данная фиксация точек на раме комбайна не характерна для механизма привода очистки классического типа. На рис. 7 приведены полученные в пакете ADAMS годографы изменения значения модуля реакции в шарнирах крепления подвесок нижнего и верхнего решет одной из сторон усовершенствованного механизма привода очистки на примере зерноуборочного комбайна КЗС-1218 в зависимости от угла поворота кривошипа для рассматриваемых трех режимов работы.

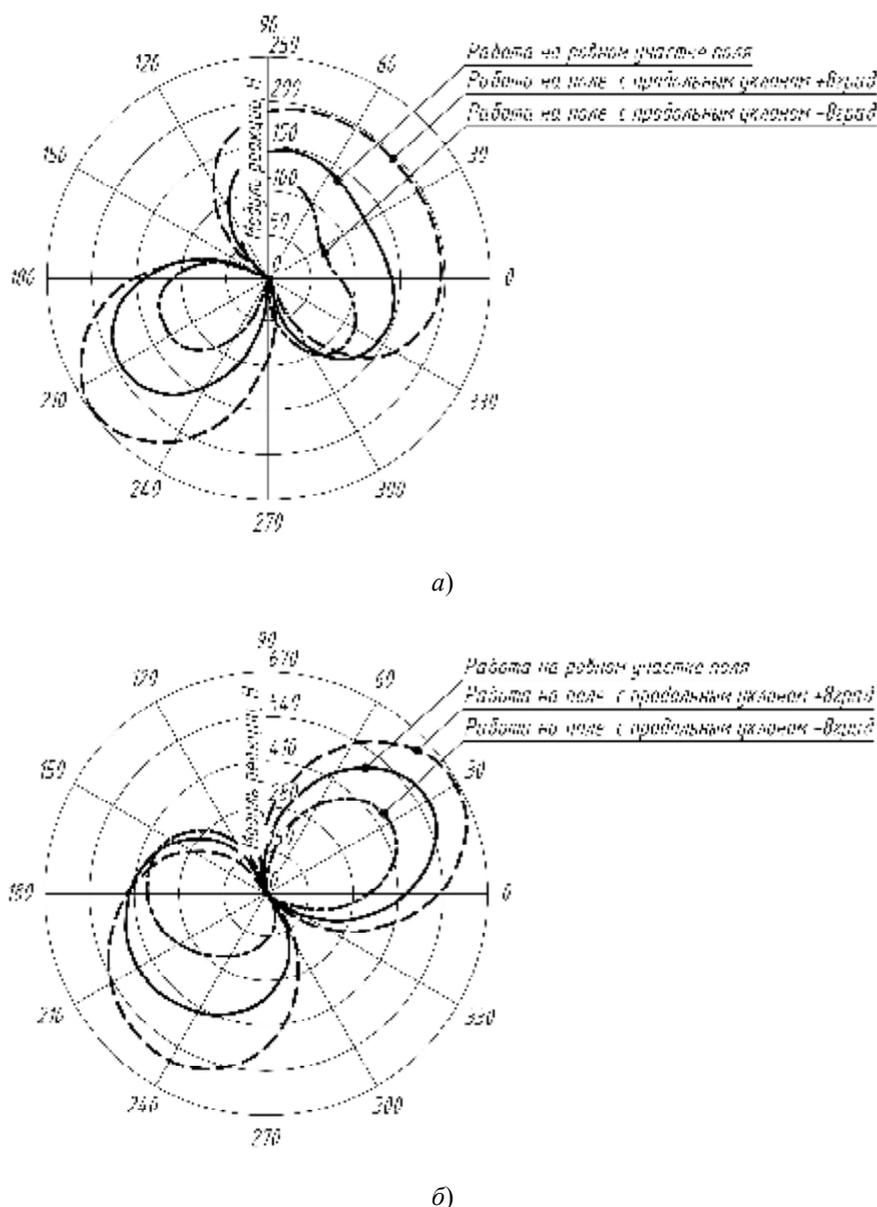


Рис. 7. Годографы изменения модуля реакции в шарнирах механизма очистки в зависимости от угла поворота кривошипа: *а* – модуль реакции в шарнире крепления нижнего решета; *б* – модуль реакции в шарнире крепления верхнего решета

Анализ нагруженности несущей конструкции рамы усовершенствованного механизма привода очистки показал, что для рассматриваемых трех режимов работы

зерноуборочного комбайна величина изменения нагрузки в точках крепления нижнего и верхнего решет составляет не более 30 %. При этом для одной стороны механизма привода очистки модуль реакции в шарнире крепления нижнего решета не превышает 300 Н, а для верхнего решета – 700 Н, что значительно меньше максимально-допустимой нагрузки воспринимаемой сайлентблоками очистки.

Таким образом, применение усовершенствованного механизма привода очистки незначительно повлияет на нагруженность несущей конструкции зерноуборочного комбайна и уровень вибрации.

Заключение

1. Предложенная усовершенствованная система очистки зерноуборочного комбайна позволяет равномерно распределять зерновую массу по решетам как при продольном, так и при поперечном уклонах. Это позволяет зерноуборочному комбайну работать при оптимальных скоростях на пересеченных местностях с высокой производительностью без потери качества обрабатываемого урожая. Использование предлагаемой системы очистки зерноуборочного комбайна при уборке зерновых поперек склонов до 20° и вдоль – до 8° позволит снизить потери зерна не менее, чем на 15 %.

2. Недостатком предложенной усовершенствованной конструкции механизма очистки является то, что введение в конструкцию силовых гидроцилиндров, предъявляет повышенные требования к элементам их крепления в условиях циклически изменяющихся нагрузок.

Литература

1. Using ADAMS/ View. Version 9, Part number 91 SOLVUG-01, Mechanical Dynamics, Inc., USA, 1998. – 968 p.
2. Котов, А. В. Проектирование и исследование рычажных механизмов сельскохозяйственных машин при помощи пакета ADAMS / А. В. Котов, А. А. Дюжев, Ю. В. Чупрынин // Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України : зб. наук. праць / УкрНДПВТ ім. Л. Погорілого ; редкол.: В. І. Кравчук [та ін.]. – Дослідницьке, 2008. – Вип. 12(26). – С. 239–248.
3. Котов, А. В. Проектирование и исследование механизма очистки зерноуборочного комбайна при помощи пакета ADAMS / А. В. Котов, Ю. В. Чупрынин, А. А. Дюжев // Тракторы, автомобили, мобильные энергетические средства: проблемы и перспективы развития : докл. междунар. науч.-практ. конф., Минск, 11–14 февр. 2009 г. / редкол. А. В. Кузьмицкий [и др.]. – Минск, 2009. – С. 165–171.
4. Мельник, Д. В. Кинетостатический анализ механизма очистки зерноуборочного комбайна с помощью пакета MSC.ADAMS / Д. В. Мельник // Исследования и разработки в области машиностроения, энергетики и управления : материалы VIII Междунар. межвуз. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и магистрантов, Гомель, 28–29 апр. 2008 г. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2008. – С. 39–42.
5. Котов, А. В. Применение векторного анализа для оптимизации механизма привода системы очистки зерна зерноуборочного комбайна при его проектировании / А. В. Котов, Ю. В. Чупрынин // Механика машин, механизмов и материалов. – 2009. – № 2(7). – С. 43–48.