

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕКУПЕРАТИВНОГО ПРИВОДА РАБОЧИХ ОРГАНОВ ЗЕРНОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА

THE EXPERIMENTAL EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF THE REGENERATIVE DRIVE OF THE WORKING BODIES OF A COMBINE HARVESTER

Д.А. ДУБОВИК¹, д.т.н.
Н.П. ПЕРШУКЕВИЧ¹
В.И. ПРИБЫЛЬСКИЙ¹, к.т.н.
О.А. БАРАН¹
А.С. ШАНТЫКО²
А.Н. ВЫРСКИЙ²

¹ Объединенный институт машиностроения НАН
Беларуси, Минск, Беларусь

² ОАО «Гомсельмаш», Гомель, Беларусь, doubovik@oim.by

D.A. DUBOVIK¹, DSc in Engineering
N.P. PERSHUKEVICH¹
V.I. PRIBYL'SKIY¹, PhD in Engineering
O.A. BARAN¹
A.S. SHANTYKO²
A.N. VYRSKIY²

¹ Joint Institute of Mechanical Engineering of the National
Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus

² JSC «Gomselmash», Gomel, Belarus, ddoubovik@oim.by

В зерноуборочных самоходных комбайнах при выполнении технологических процессов скашивания зерновых культур и очистки зерна применяются колеблющиеся рабочие органы. Имея преимущества при выполнении технологических процессов, они являются источником знакопеременной нагрузки, вызванной силами инерции масс элементов этих органов и приводящей к динамической нагруженности их приводов и вибрации рамы комбайна. Одним из путей преодоления этих недостатков является рекуперация энергии в приводах рабочих органов.

Авторами статьи предложен метод, позволяющий за счет применения рекуперации в приводе рабочих органов комбайна уменьшить динамическую нагруженность привода, а также снизить вибрацию рамы машины. На основе предложенного метода разработан способ уравнивания одноножевого режущего аппарата. Для экспериментальной оценки правомерности теоретических разработок, положенных в основу представленного технического решения, был разработан и изготовлен макетный образец привода колеблющихся рабочих органов, позволяющий моделировать работу традиционного и рекуперативного приводов режущего аппарата. Проведенные экспериментальные исследования макетного образца подтвердили правомерность теоретических предположений разработанного способа уравнивания одноножевого режущего аппарата и позволили углубить теоретические и эмпирические знания в области рекуперативных приводов. Анализ результатов экспериментальных исследований макетных образцов показал, что по сравнению с традиционным рекуперативный привод позволяет снизить нагруженность и виброактивность более чем в 1,5 раза. Установлены факторы, влияющие на эффективность рекуперативного привода режущего аппарата, к которым относятся: наличие высших гармоник в спектре движений ножа, причиной которых является предложенный механизм качающейся шайбы, резонансные явления в приводе колеблющихся масс и элементах конструкции жатки, а также стремление к упрощению конструкции привода противовеса рекуператора.

Ключевые слова: зерноуборочный самоходный комбайн, колеблющиеся рабочие органы, рекуперативный привод, режущий аппарат, механизм качающейся шайбы, экспериментальное исследование, нагруженность, виброактивность, вибрация.

In grain self-propelled harvesters, when performing technological processes of mowing grain crops and cleaning grain, the oscillating working bodies are used. Having advantages in carrying out technological processes, they are a source of alternating load caused by the inertia forces of the masses of the elements of these organs and leading to the dynamic loading of their drives and vibration of the combine frame. One way to overcome these shortcomings is the recovery of energy in the drives of the working bodies. The authors of the article have proposed a method that, due to the use of a regenerative drive, can reduce its dynamic loading, as well as reduce the vibration of the machinery frame. Based on the proposed method, a method for balancing a single-knife cutting apparatus has been developed. For an experimental assessment of the legitimacy of the theoretical developments underlying the presented technical solution, a prototype drive of oscillating working bodies was developed and manufactured, which allows simulating the operation of traditional and regenerative cutting machine drives. The experimental studies of the prototype model confirmed the validity of the theoretical background of the developed method for balancing a single-knife cutting apparatus and allowed to deepen the theoretical and empirical knowledge in the field of regenerative drives. An analysis of the results of experimental studies of prototype samples showed that, compared with a traditional drive, a regenerative drive can reduce the load and vibration activity by more than 1.5 times. The factors affecting the efficiency of the regenerative drive of a single-knife cutting device have been established, which include: the presence of higher harmonics in the law of motion of the knife provided by the rolling washer mechanism, resonance phenomena in the drive of oscillating masses and structural elements of the header, simplification of the design of the drive of the recuperator counterweight.

Keywords: self-propelled combine harvester, oscillating working bodies, regenerative drive, cutting apparatus, rolling plate mechanism, experimental research, loading, vibration activity, vibration.

Введение

Зерноуборочный самоходный комбайн (КЗС) при движении по полю на своем борту выполняет функции трех сельскохозяйственных машин [1]: жатки, молотилки, веялки. Для выполнения технологических процессов работы жатки и системы очистки рабочие органы комбайна совершают колебания [2], что является источником знакопеременной нагрузки на раму и приводит к возникновению вибрации органов управления [3], сидений механизатора и его помощника, а также всех элементов конструкции комбайна [4]. Колебания рабочих органов увеличивают нагруженность [5] и энергопотребление приводов очистки и режущего аппарата [6].

Для обеспечения конкурентоспособности производители сельскохозяйственной техники вынуждены увеличивать производительность выпускаемых КЗС [2]. Увеличение производительности сопровождается повышением пропускной способности, которое достигается возможностью установки зерноуборочных жаток с большей шириной захвата, а также увеличением скорости движения комбайна по полю [7], требующим повышения частоты работы режущего аппарата. С развитием технологий в растениеводстве и увеличением урожайности зерновых культур производители сельскохозяйственной техники расширяют типоразмерные ряды своей продукции за счет разработки и освоения производства тракторов [8] и КЗС более высоких классов [9]. При этом увеличение пропускной способности очистки осуществляется, как правило, масштабированием ее параметров с учетом ограничений, накладываемых компоновочными решениями размещения рабочих органов, а также увеличением конструктивной ширины захвата жатки [10]. В результате возрастают нагрузки, возникающие в механизме привода, что актуализирует разработку методов снижения нагруженности и виброактивности приводов колеблющихся рабочих органов.

Выполненные ранее исследования свидетельствуют о возможности снижения динамических нагрузок в приводе, вызванных силами инерции колеблющихся масс, за счет рекуперативного привода в несколько раз. Например, в работах [11, 12], где приведены результаты, соответственно, теоретических и экспериментальных исследований привода режущего аппарата на базе механизма качаю-

щейся шайбы (МКШ), указано, что теоретически с помощью рекуперативного привода имеется возможность снижения инерционной нагрузки в определяющем надежность привода сопряжении по сравнению с традиционным приводом в 8 раз [11]. При экспериментальных исследованиях в стендовых условиях снижение этой нагрузки зафиксировано в 5 раз [12]. При этом следует отметить, что техническое решение рекуперативного привода, предложенное в указанных работах, не предусматривает уравнивание действия инерционных сил масс ножа на раму жатки.

Сотрудниками Объединенного института машиностроения НАН Беларуси совместно со специалистами научно-технического центра комбайностроения ОАО «Гомсельмаш» предложены методы снижения нагруженности и виброактивности привода колеблющихся рабочих органов, основанные на использовании рекуперации энергии в механизмах привода [3, 13]. Разработан способ уравнивания одноножевого режущего аппарата на основе применения в конструкции привода упругого элемента и противовеса, при котором с помощью привода обеспечивают противофазные колебания ножа и противовеса. Причем, противофазные колебания центров масс ножа и противовеса осуществляют по траекториям, лежащим на одной прямой, с соотношением амплитуд колебаний ножа и противовеса обратно пропорциональным их массам. Нож и противовес соединяют упругим элементом, сила упругости которого направлена по упомянутой прямой. При этом упругий элемент выполняют жесткостью c , определяемой из выражения:

$$c = bk. \quad (1)$$

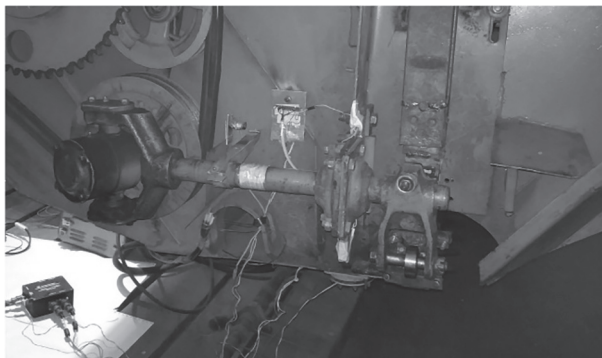
В выражении (1) коэффициент b учитывает условия работы режущего аппарата, отклонения частоты колебаний ножа от номинального значения, нелинейность и стабильность характеристики жесткости упругого элемента и др., k – номинальная жесткость упругого элемента, значение которой рассчитывается по формуле:

$$k = \frac{4\pi^2 f^2 m_n m_{пр}}{m_n + m_{пр}},$$

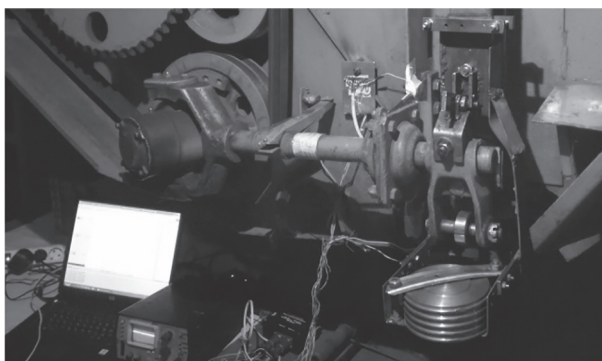
где f – номинальная частота колебаний ножа; m_n и $m_{пр}$ – масса ножа и противовеса.

Для оценки правомерности предложенных теоретических положений в Объединенном институте машиностроения НАН Беларуси

разработан и изготовлен макетный образец привода колеблющихся рабочих органов, позволяющий моделировать работу традиционного (рис. 1, *а*) и рекуперативного (рис. 1, *б*) приводов режущего аппарата КЗС.



а



б

Рис. 1. Макетные образцы привода колеблющихся рабочих органов:
а – традиционный; *б* – рекуперативный с противовесом

Цель исследований

Экспериментальные исследования разработанного рекуперативного привода колеблющихся рабочих органов КЗС, а также выявление факторов, влияющих на его эффективность.

Материалы и методы

Экспериментальная оценка эффективности рекуперативного привода проводилась методом сравнения численных значений технических параметров рекуперативного и традиционного приводов ножа режущего аппарата жатки, колебательное движение которых обеспечивалось посредством МКШ. В качестве измеряемых параметров принимались нагруженность и виброактивность привода жатки, а также вибрация рамы. Оценка нагруженности привода производилась по величине кру-

тящего момента на валу колебателя МКШ, оценка виброактивности – по силе, действующей на опору вала колебателя МКШ в направлении колебаний ножа. Вибрация рамы жатки оценивалась по ее виброускорению, измеряемому датчиком вибрации (акселерометром).

Для исследования технических параметров рекуперативного привода использовалась стендовая установка (рис. 2), включающая традиционный привод, рекуператор, противовес, тензометрическое оборудование, оборудование для регистрации и записи результатов измерений.

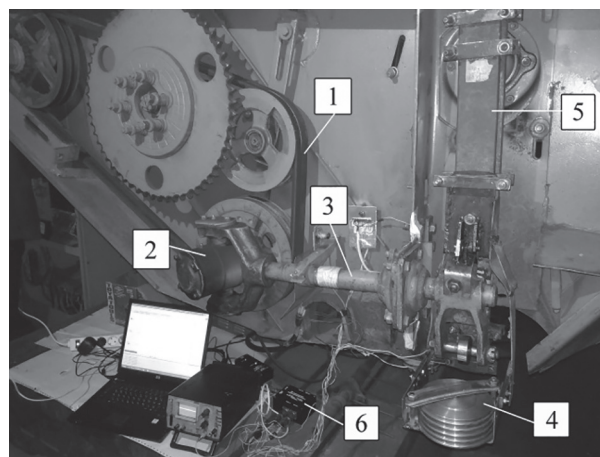


Рис. 2. Общий вид стендовой установки:
1 – ременная передача; 2 – МКШ; 3 – вал колебателя; 4 – противовес; 5 – рекуператор; 6 – тензометрическое оборудование

Стендовая установка

Рекуперативный привод, в отличие от традиционного, содержит рекуператор (пружину) и систему грузов (противовес). Во время включения электрического шкафа управления привода двигатель через карданный вал передает крутящий момент клиноременной передаче с натяжным роликом. Ведомый шкив ременной передачи через вал связан с МКШ, который передает колебательные движения валу колебателя. Вал колебателя рекуперативного привода посредством тяг и шарниров связан с пружиной, спинкой ножа и противовесом. Работа ножа обеспечивается за счет передачи знакопеременной силы от вала колебателя. Для имитации массы комбайна использована плита на виброопорах массой 9 тонн, на которой посредством кронштейнов закреплялась жатка.

Испытания проводились на макетных образцах привода (рис. 1) с массой ножа в сборе

8 кг. Для рекуперативного макетного образца использован рекуператор массой 8,5 кг, изготовленный в виде аналога плоской U-образной пружины, свободные концы которой соединены с противовесом, содержащим систему грузов массой 5 кг, и головкой ножа.

Приборы и оборудование

Измерения проводились методом тензометрирования. Тензометрическое оборудование (рис. 3) включало усилитель-преобразователь, источник питания постоянного тока, набор кабелей и тензорезисторов, а также необходимое программное обеспечение для регистрации, записи и обработки сигналов с тензорезисторов на персональном компьютере. В качестве измерительного оборудования использовалось многоканальное интегрированное устройство – усилитель АТ1-8 с USB-адаптером производства ООО «Тилком» и программным обеспечением «Профи».

Для экспериментальных исследований использовались линейные тензорезисторы с одной измерительной решеткой 5П1-5-100-А12 ($K = 2,18 \pm 0,01$), соединенные между собой по полумостовой схеме включения. Расположение датчиков на стендовой установке приведено на рис. 4.

Датчик вибрации размещался на раме жатки в зоне крепления опоры вала колебателя МКШ, датчик крутящего момента – непосредственно на валу колебателя, датчик виброактивности привода режущего аппарата – на кронштейне опоры вала колебателя. Направления максимальной чувствительности датчиков в местах их установки совпадало с направлениями колебаний измеряемых величин.

Проведение измерений

Перед проведением измерений осуществлялась наладка привода режущего аппарата жатки, выполнялась тарировка датчиков и оборудования, проводились тестовые измерения. Кратность проведения стендовых испытаний составляла не менее 3 раз для каждого варианта (традиционный и рекуперативный) привода.

Результаты и обсуждение

Примеры осциллограмм сигналов измеряемых величин для традиционного и рекуперативного приводов, полученных при проведении экспериментальных исследований с помощью программного обеспечения «Профи», приве-

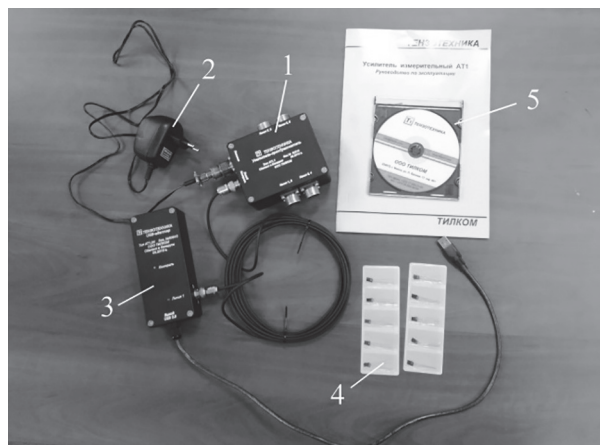


Рис. 3. Тензометрическое оборудование:
1 – усилитель-преобразователь АТ1-8;
2 – USB-адаптер; 3 – блок питания; 4 – набор тензорезисторов; 5 – программное обеспечение

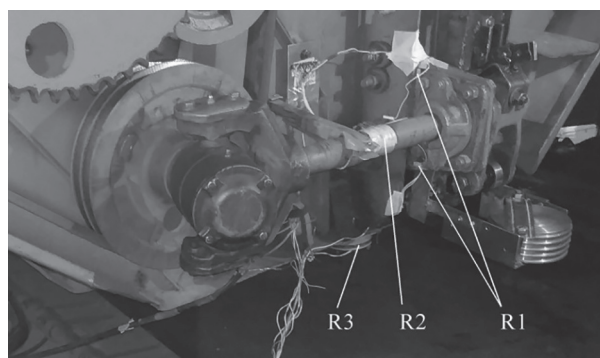
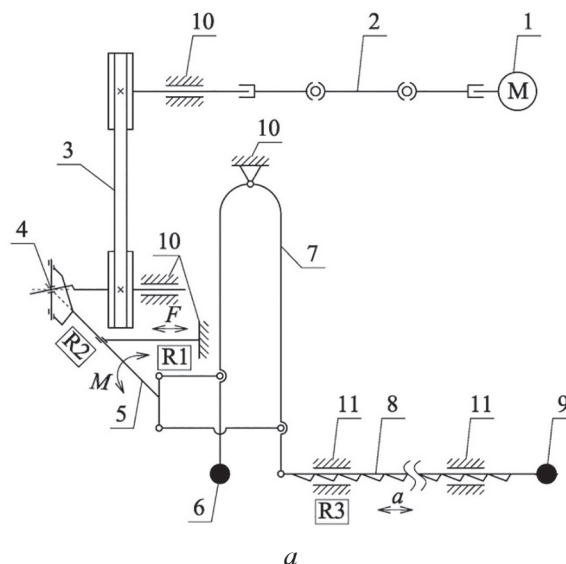


Рис. 4. Расположение датчиков на стендовой установке:
а – схема привода; б – общий вид; R1, R2, R3 – датчики силы, крутящего момента и виброускорения; 1 – двигатель; 2 – карданный вал; 3 – ременная передача; 4 – МКШ; 5 – вал колебателя; 6 – противовес; 7 – пружина; 8 – нож режущего аппарата жатки; 9 – имитация массы ножа; 10 – опоры; 11 – направляющие ножа

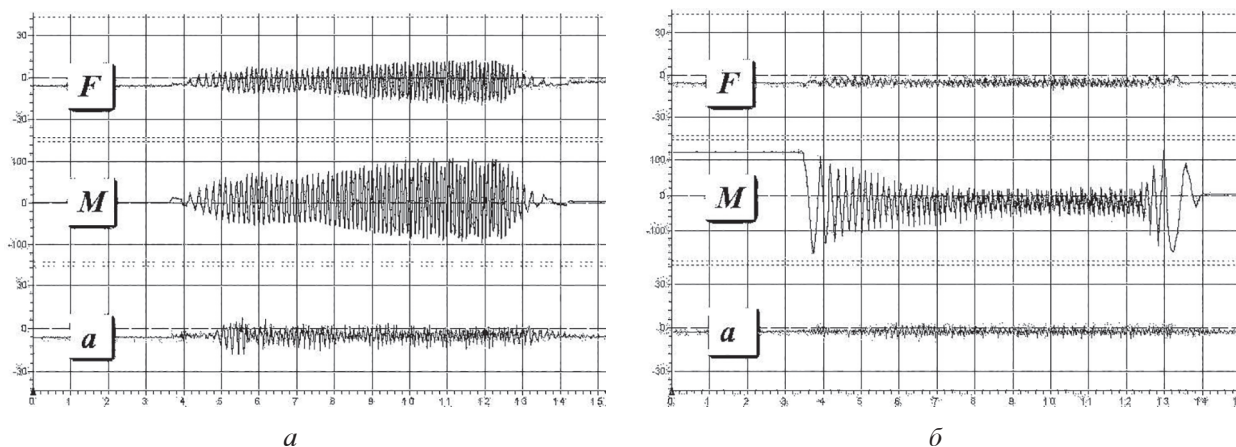


Рис. 5. Осциллограммы сигналов с датчиков для различных типов конструктивного исполнения привода:
а – традиционный привод; б – рекуперативный привод

дены на рис. 5. Здесь F – осциллограмма сигнала с датчика виброактивности (датчика силы на кронштейне опоры вала колебателя) R1 (см. рис. 4); M – осциллограмма сигнала с датчика крутящего момента на валу колебателя R2; a – осциллограмма сигнала с датчика вибрации рамы R3 (акселерометра). Осциллограммы отображают весь цикл работы привода при испытаниях: пуск, номинальный режим и остановку привода. На осциллограммах для традиционного привода (рис. 5, а) можно видеть, что размахи сигналов с датчиков силы и крутящего момента растут с увеличением частоты колебаний ножа. При этом соотношение их величин приблизительно постоянно. В то же время для рекуперативного привода (рис. 5, б) размах крутящего момента имеет максимальные значения при пуске и остановке привода и принимает минимальные значения при номинальной частоте (при совпадении вынужденной частоты колебаний ножа с собственной частотой двухмассовой колебательной системы: масса ножа – упругий элемент – масса противовеса). При этом размах силы на опоре вала колебателя несущественно зависит от частоты колебаний ножа и значительно ниже, чем для традиционного привода при номинальной частоте. Явной зависимости величины виброускорений рамы жатки от частоты колебаний ножа не обнаруживается ни для традиционного, ни для рекуперативного привода. При этом размах виброускорений заметно ниже для рекуперативного привода.

При эксплуатации подавляющую часть времени режущий аппарат работает на номинальной частоте колебаний ножа. В связи с этим оценка эффективности рекуперативного при-

вода производилась для этой частоты. В программной среде «Профи», используя возможность масштабирования осциллограмм, были обработаны и проанализированы все полученные при экспериментальных исследованиях результаты измерений. По виду осциллограмм всех измеряемых величин можно утверждать, что их колебания носят полигармонический характер. Установлено, что совпадение вынужденной частоты колебаний ножа с собственной частотой созданной колебательной находится в диапазоне 7,3...7,5 Гц. Сравнение размахов сигналов измеряемых величин для рекуперативного привода с противовесом и традиционного при номинальной частоте показало, что размахи колебаний крутящего момента на валу колебателя, силы на его опоре и виброускорения рамы жатки для рекуперативного привода в 1,5...2 раза меньше, чем для традиционного.

С целью выявления факторов, влияющих на величину снижения виброактивности и нагруженности исследуемого рекуперативного привода, была проведена обработка полученных результатов с помощью компьютерной программы Vibroanalyzer. На рис. 6–8 приведены спектры сигналов с датчиков при номинальной частоте колебаний ножа режущего аппарата, численно равной 7,32 Гц, полученные с помощью этой программы.

Сравнение спектров сигналов с датчика крутящего момента на валу колебателя МКШ для традиционного и рекуперативного приводов при номинальной частоте колебаний ножа (рис. 6) показывает, что на основной частоте (7,32 Гц) амплитуда сигнала для рекуперативного привода в 2,2 раза меньше, чем для тради-

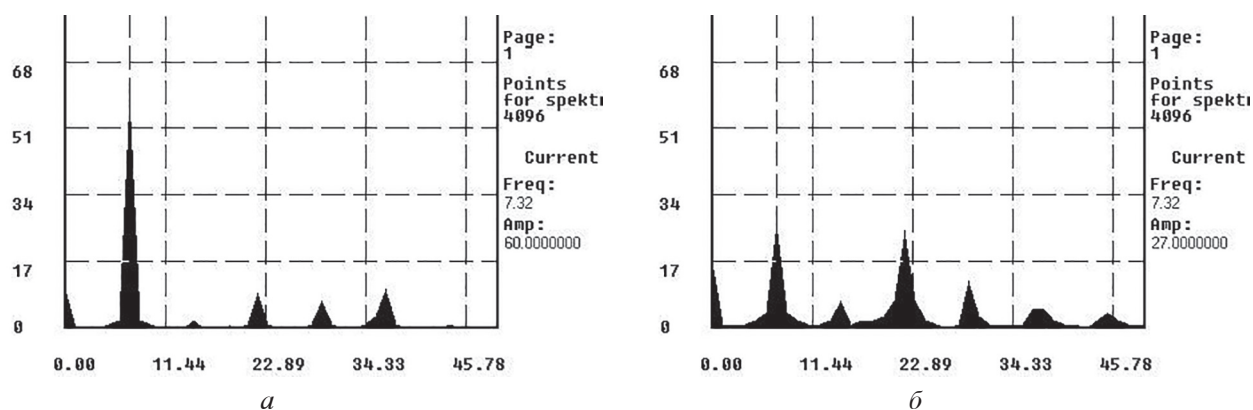


Рис. 6. Спектры сигналов с датчика крутящего момента на валу коленчатого вала МКШ:
а – традиционный привод; б – рекуперативный привод

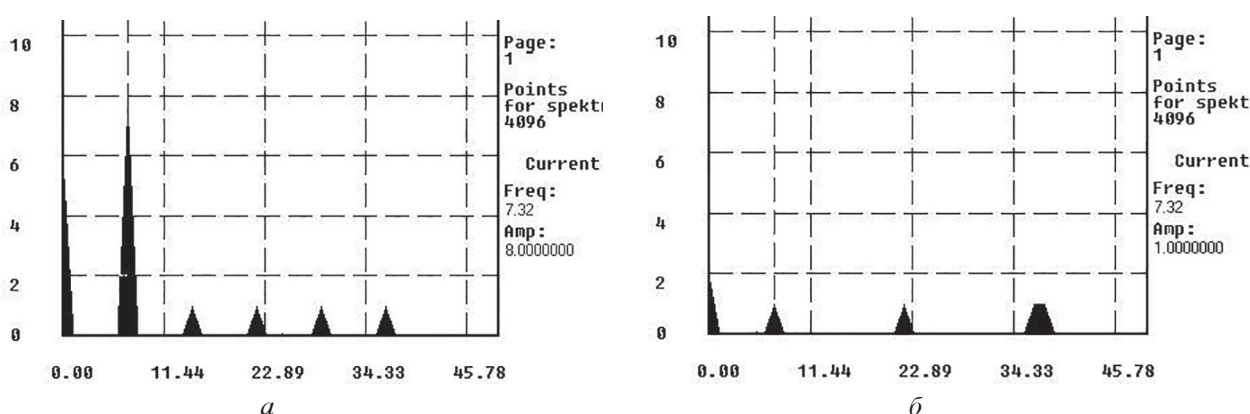


Рис. 7. Спектры сигнала с датчика силы на кронштейне опоры вала коленчатого вала МКШ:
а – традиционный привод; б – рекуперативный привод

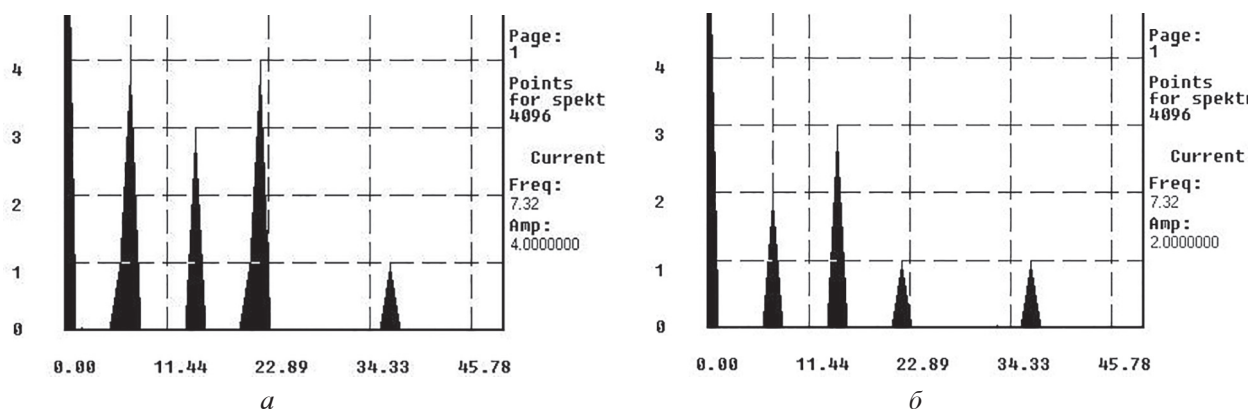


Рис. 8. Спектры сигналов с датчика виброускорений рамы жатки:
а – традиционный привод; б – рекуперативный привод

ционного. В то же время на третьей гармонике (21,96 Гц), наоборот, для рекуперативного привода амплитуда в 3 раза больше, чем для традиционного, и приблизительно равна амплитуде на основной частоте. При этом соотношение размахов колебаний, определенных по осциллограммам, составляет около 1,5. Следовательно, в увеличение размаха колебаний крутящего момента на валу коленчатого вала МКШ существенный

вклад вносит третья гармоника. Оценка ожидаемой величины третьей гармоники для рекуперативного привода показывает, что ее увеличение может составить приблизительно в 2 раза в связи с удвоением инерционной составляющей вследствие добавления в механическую систему массы противовеса. Анализ конструкции и работы привода позволил установить, что причиной такого увеличения третьей гар-

моники (в 3 раза) являются резонансные явления в приводе вследствие смещения резонансной частоты в рабочий диапазон привода из-за удвоения инерционной составляющей.

Анализ спектров сигналов с датчика силы на опоре вала колебателя МКШ при частоте колебаний ножа 7,32 Гц для традиционного и рекуперативного приводов (рис. 7) показывает, что на номинальной частоте для рекуперативного привода амплитуда силы на опоре в 8 раз меньше, чем для традиционного привода. Амплитуды высших порядков имеют приблизительно одинаковый уровень. Остаточная неуравновешенность рекуперативного привода объясняется неточностью подбора параметров противовеса из-за дискретности массы грузов. Кроме того, привод противовеса с целью упрощения его конструкции выполнен с помощью тяги, которая не обеспечивает передачу нагрузки через центр тяжести грузов противовеса. При этом нагрузка передается через «ветвь» U-образной пружины. Такое решение при условии гармонической возбуждающей силы для двухмассовой колебательной системы (массы ножа – упругий элемент – масса противовеса) при совпадении частот собственных колебаний системы и возбуждающей силы не приводило бы к передаче существенных сил на опору вала колебателя МКШ. Однако при наличии гармоник высших порядков они частично передаются на опору вала.

Величина виброускорений рамы жатки определяется не только действием возбуждающих сил, но и динамическими свойствами элементов самой рамы и подвески ее на стенде. Тем не менее, из рис. 8 видно, что общий уровень виброускорений рамы жатки, фиксируемый акселерометром, для рекуперативного привода существенно ниже, чем для традиционного. Остаточная вибрация рамы может быть вызвана причинами, объясняющими наличие колебаний силы на опоре вала колебателя МКШ. Кроме того, анализ конструкции стенда показывает, что акселерометр воспринимает колебания, вызванные силами инерции неуравновешенных масс шкивов, МКШ и другими источниками колебаний.

Анализ результатов измерений, полученных в ходе экспериментальных исследований, позволил выявить факторы, влияющие на эффективность применения рекуперативного привода режущего аппарата для снижения его нагруженности и виброактивности, которые

необходимо учитывать при проектировании конструкции приводов. Одним из главных факторов является наличие гармонических составляющих высших порядков в законе движения ножа с механизмом преобразования вращательного движения в колебательное движение на основе МКШ. Рекуперативное устройство на основе упругого элемента с линейной характеристикой упругости не уравнивает гармонические составляющие высших порядков, а присоединение массы противовеса удваивает величину крутящего момента на валу колебателя на этих частотах. Вторым фактором являются резонансные явления в приводе на частотах гармоник. Присоединение дополнительной массы (противовеса) в колебательную систему снижает частоту резонансных колебаний, и она может попадать в рабочий диапазон привода, вызывая повышение нагрузки на вал колебателя МКШ. Кроме того, к увеличению размаха крутящего момента на валу колебателя относительно ожидаемого значения могут привести ударные нагрузки, возникающие в режущем аппарате или непосредственно в приводе.

Заключение

Таким образом, проведенные экспериментальные исследования макетного образца рекуперативного привода жатки зерноуборочного комбайна с преобразователем на базе МКШ подтвердили правомерность разработанного способа уравнивания одноножевого режущего аппарата и позволили углубить теоретические и эмпирические знания в области рекуперативных приводов. Анализ результатов экспериментальных исследований макетных образцов показал, что по сравнению с традиционным рекуперативный привод позволяет снизить нагруженность и виброактивность более чем в 1,5 раза. Установлены факторы, влияющие на эффективность рекуперативного привода режущего аппарата, к которым относятся: наличие высших гармоник в спектре движений ножа, причиной которых является предложенный механизм качающейся шайбы, резонансные явления в приводе колеблющихся масс и элементах конструкции жатки, а также стремление к упрощению конструкции привода противовеса рекуператора.

Литература

1. Дубовик Д.А., Бакалова Л.Ю., Шантыко А.С. Тенденции развития уборочной сельхозтехники // Новые материалы, оборудование и технологии

- в машиностроении: материалы междунар. науч.-техн. конф. молодых ученых. Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2018. С. 39.
2. Дубовик Д.А., Еловой О.М., Бакалова Л.Ю. Основные направления развития автотракторокомбайностроения. Минск: Объед. ин-т машиностр. Нац. акад. наук Беларуси, 2014. 176 с.
 3. Дубовик Д.А., Першукевич Н.П., Ракова Н.Л. Снижение вибрации рам машин с рекуперативными приводами колеблющихся рабочих органов // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы междунар. науч.-техн. конф. Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2017. С. 67–68.
 4. Мартыненко Д.С. Повышение эффективности системы очистки зерноуборочного комбайна путем применения рекуперативного привода решет и транспортной доски: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Тюмень, 2015. 21 с.
 5. Высоцкий М.С., Амельченко П.А., Дубовик Д.А., Стасилевич А.Г. Влияние привода ведущих колес на управляемость трактора // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 2007. № 1. С. 36–38.
 6. Высоцкий М.С., Дубовик Д.А. Коэффициент полезного действия ходовых систем колесных машин // Доклады НАН Беларуси. 2007. Т. 51. № 2. С. 91–94.
 7. Дубовик Д.А. Скоростной класс тракторов // Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности: материалы междунар. науч.-техн. конф. молодых ученых. Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2018. С. 38.
 8. Амельченко П.А., Дубовик Д.А., Ключников А.В., Ващула А.В. Современные тенденции сельхозтракторостроения // Известия НАН Беларуси. Серия физико-технических наук. 2018. Т. 63. № 1. С. 76–92. DOI: 10.29235/1561-8358-2018-63-1-76-92.
 9. Поддубко С.Н., Амельченко П.А., Стасилевич А.Г., Витязь П.А., Дубовик Д.А., Ващула А.В., Жуковский И.Н., Ключников А.В. Тракторы XXI века: состояние и перспективы. Минск: Белоруская наука, 2019. 207 с.
 10. Амельченко П.А., Дубовик Д.А., Бакалова Л.Ю., Ващула А.В. Основные тенденции развития современного сельскохозяйственного тракторостроения // Наука, образование и производство в XXI веке: Современные тенденции развития: материалы юбилейн. междунар. конф. Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2016. С. 157–158.
 11. Бойко Л.И., Прибыльский В.И., Ракова Н.Л., Першукевич Н.П. Расчет рекуперативного привода режущего аппарата жатки // Известия НАН Беларуси. Серия физико-технических наук. 2012. № 2. С. 30–37.
 12. Бойко Л.И., Прибыльский В.И., Ракова Н.Л., Першукевич Н.П. Испытания рекуперативного привода режущего аппарата жатки // Известия НАН Беларуси. Серия физико-технических наук. 2013. № 1. С. 54–61.
 13. Дубовик Д.А., Першукевич Н.П., Шаповал И.А., Вырский А.Н. Способ снижения виброактивности и нагруженности привода одноножевого режущего аппарата // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы междунар. науч.-техн. конф. Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2018. С. 81–82.

References

1. Dubovik D.A., Bakalova L.YU., SHantyko A.S. Agricultural machinery development trends. Novye materialy, oborudovanie i tekhnologii v mashinostroenii: materialy mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. molodyh uchenykh [New materials, equipment and technologies in mechanical engineering: materials of international scientific and technical conference of young scientists]. Mogilev: Belorus.-Ros. un-t Publ., 2018, p. 39.
2. Dubovik D.A., Elovoy O.M., Bakalova L.YU. Osnovnye napravleniya razvitiya avtotraktorokombajnostroeniya [The main directions of the development of automotive, tractor and combine manufacturing]. Minsk: Ob"ed. in-t mashinostr. Nac. akad. nauk Belarusi Publ., 2014. 176 p.
3. Dubovik D.A., Pershukevich N.P., Rakova N.L. Vibration reduction of machine frames with regenerative drives of oscillating working bodies. Materialy, oborudovanie i resursosberegayushchie tekhnologii: materialy mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. [Materials, equipment and resource-saving technologies: materials of international scientific and technical conference of young scientists]. Mogilev: Belorus.-Ros. un-t Publ. 2017, pp. 67–68 (in Russ.).
4. Martynenko D.S. Povyshenie effektivnosti sistemy ochistki zernouborochnogo kombajna putem primeniya reku-perativnogo privoda reshyot i transportnoj doski: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk [Improving the efficiency of the cleaning system of the combine harvester through the use of a regenerative drive sieve and transport board: Abstract to Dissertation for Degree of Ph.D. (Engineering)]. Tyumen', 2015. 21 p.
5. Vysockij M.S., Amel'chenko P.A., Dubovik D.A., Stasilevich A.G. The influence of wheels drive on tractor steering. Traktory i sel'skohozyajstvennyye mashiny. 2007. No 1, pp. 36–38 (in Russ.).

6. Vysockij M.S., Dubovik D.A. Efficiency of the suspension systems of wheeled vehicles. Doklady NAN Belarusi. 2007. Vol. 51. No 2, pp. 91–94 (in Russ.).
7. Dubovik D.A. Tractor speed rate. Novye materialy, oborudovanie i tekhnologii v promyshlennosti : materialy mezhdunarod. nauch.-tekhn. konf. molodyh uchenyh [New materials, equipment and technologies in mechanical engineering: materials of international scientific and technical conference of young scientists]. Mogilev, Belarus.-Ros. un-t Publ. 2018, pp. 38 (in Russ.).
8. Amel'chenko P.A., Dubovik D.A., Klyuchnikov A.V., Vashchula A.V. Modern trends in agricultural tractor construction. Izvestiya NAN Belarusi. Seriya fiziko-tekhnicheskikh nauk. 2018. Vol. 63. No 1, pp. 76–92 (in Russ.). DOI: 10.29235/1561-8358-2018-63-1-76-92.
9. Poddubko S.N., Amel'chenko P.A., Stasilevich A.G., Vityaz' P.A., Dubovik D.A., Vashchula A.V., Zhukovskij I.N., Klyuchnikov A.V. Traktory XXI veka: sostoyanie i perspektivy [21st century tractors: state and prospects]. Minsk: Belaruskaya navuka, 2019. 207 p.
10. Amel'chenko P.A., Dubovik D.A., Bakalova L.YU., Vashchula A.V. The main trends in the development of modern agricultural tractor manufacturing. Nauka, obrazovanie i proizvodstvo v XXI veke: Sovremennye tendencii razvitiya: materialy yubilejn. mezhdunar. konf. [Science, education and production in the 21st century: modern development trends: materials of anniversary international conference]. Mogilev: Belarus.-Ros. un-t. 2016, pp. 157–158 (in Russ.).
11. Bojko L.I., Pribyl'skij V.I., Rakova N.L., Pershukevich N.P. Calculation of the regenerative drive of the header cutting device. Izvestiya NAN Belarusi. Seriya fiziko-tekhnicheskikh nauk. 2012. No 2, pp. 30–37 (in Russ.).
12. Bojko L.I., Pribyl'skij V.I., Rakova N.L., Pershukevich N.P. Tests of the regenerative drive of the cutting unit of the header. Izvestiya NAN Belarusi. Seriya fiziko-tekhnicheskikh nauk. 2013. No 1, pp. 54–61 (in Russ.).
13. Dubovik D.A., Pershukevich N.P., Shapoval I.A., Vyrskij A.N. A method of reducing vibration activity and load of a single-knife cutting apparatus drive. Materialy, oborudovanie i resursosberegayushchie tekhnologii: materialy mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. [Materials, equipment and resource-saving technologies: materials of international scientific and technical conference]. Mogilev: Belarus.-Ros. un-t Publ. 2018, pp. 81–82 (in Russ.).