

УДК 631.35:681.52

DOI 10.62595/1819-5245-2025-1-32-39

ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ПАССИВНОЙ СИСТЕМЫ КОПИРОВАНИЯ И ПОДЪЕМА АДАПТЕРОВ

Д. В. ДЖАСОВ¹, В. Б. ПОПОВ², Ю. В. ЧУПРЫНИН¹

¹Научно-технический центр комбайностроения
ОАО «Гомсельмаш», Республика Беларусь

²Учреждение образования «Гомельский государственный
технический университет имени П. О. Сухого»,
Республика Беларусь

Изложены особенности эксплуатации и условия работоспособности гидropневматической пассивной системы копирования и подъема адаптеров на примере конструкции кормоуборочного комбайна. Представлены результаты численного моделирования: выявлено и сформулировано противоречие, устранение которого позволило найти техническое решение, обеспечивающее работоспособность гидropневматической пассивной системы копирования и подъема кормоуборочного комбайна при агрегатировании его со всем шлейфом используемых с ним адаптеров.

Ключевые слова: система копирования, гидроцилиндр, пневмогидроаккумулятор, векторный способ, моделирование, анализ.

Для цитирования. Джасов, Д. В. Обеспечение работоспособности пассивной системы копирования и подъема адаптеров / Д. В. Джасов, В. Б. Попов, Ю. В. Чупрынин // Вестник Гомельского государственного технического университета имени П. О. Сухого. – 2025. – № 1 (100). – С. 32–39. – DOI 10.62595/1819-5245-2025-1-32-39

ENSURING THE OPERABILITY OF THE PASSIVE SYSTEM OF COPYING AND LIFTING ADAPTERS

D. V. JASOV¹, V. B. POPOV², Yu. V. CHUPRYNIN¹

¹Scientific and Technical Centre of Combine Harvesters
Manufacturing OJSC “Gomselmash”, the Republic of Belarus

²Sukhoi State Technical University of Gomel,
the Republic of Belarus

The article presents the features of operation and conditions of hydropneumatic passive system of copying and lifting adapters operability using the example of the design of a forage harvester. The results of numerical modeling are presented: a contradiction is identified and formulated, the elimination of which made it possible to find a technical solution that ensures the operability of the hydropneumatic passive system of copying and lifting the forage harvester when it is aggregated with the entire train of adapters used with it.

Keywords: copying system, hydraulic cylinder, pneumatic-hydraulic accumulator, vector method, modeling, analysis.

For citation. Dzhasov D. V., Popov V. B., Chuprynin Yu. V. Ensuring the operability of the passive system of copying and lifting adapters. *Vestnik Gomel'skogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta imeni P. O. Sukhogo*, 2025, no. 1 (100), pp. 32–39 (in Russian). DOI 10.62595/1819-5245-2025-1-32-39

Введение

Современный кормоуборочный комбайн является технически сложным изделием, конкурентоспособность которого определяется не только техническим уровнем его агрегатов и систем, а также и стабильностью выполнения технологического процесса.

Для обеспечения качественного технологического процесса уборки урожая с поля с минимальными потерями необходимо поддерживать заданную высоту среза относительно опорной поверхности поля. Учитывая, что поверхность поля имеет естественные неровности, для поддержания постоянства высоты среза нужно создать возможность копирования адаптером рельефа поля.

Для осуществления качественного процесса уборки перенос всей массы адаптера на опорные элементы недопустим, так как это приведет к значительному увеличению сопротивления передвижению, разрушению верхнего слоя почвы и попаданию ее в технологический тракт, а следовательно, – к повышенным потерям урожая или нарушению технологического процесса. Поэтому при проектировании кормоуборочных комбайнов применяют системы копирования, которые позволяют перенести значительную часть массы адаптера на раму сельскохозяйственной машины. При этом механизм копирования должен обеспечивать не только снижение величины нагрузки на опорные элементы конструкции адаптера до допустимой величины, но и иметь диапазон изменения ее в допустимых пределах, поддерживая постоянный контакт опорных элементов с почвой [1–3]. В то же время для случая транспортных переездов комбайна с адаптером или установки его на транспортную телегу для дальних переездов необходимо организовать подъем адаптера в максимально верхнее транспортное положение [4].

В связи с вышеизложенным целью представленной работы является обеспечение работоспособности пассивной системы копирования и подъема кормоуборочного комбайна со всем шлейфом используемых с ним адаптеров с учетом накладываемых ограничений.

Основная часть

В кормоуборочных комбайнах наиболее широкое применение получили механизмы пассивного копирования с использованием в качестве упругого элемента пневмогидроаккумуляторов (ПГА), гидравлически соединенных с гидроцилиндрами (ГЦ) навесной системы. Принципиальная схема такого механизма приведена на рис. 1.

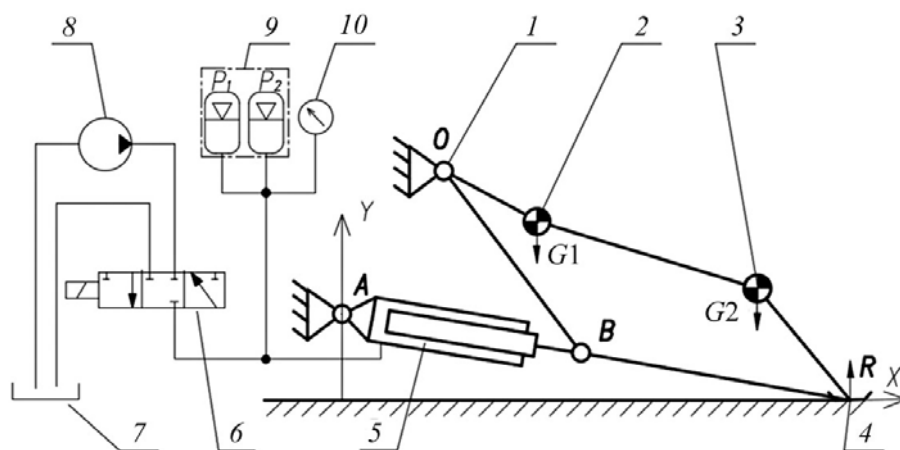


Рис. 1. Принципиальная схема пассивной гидропневматической системы копирования:
 1 – ось качания ПИА совместно с адаптером; 2 – точка $G1$ – центр тяжести ПИА;
 3 – точка $G2$ – центр тяжести адаптера; 4 – точка R – опорный элемент адаптера;
 5 – ГЦ; 6 – гидрораспределитель; 7 – гидробак; 8 – гидронасос;
 9 – блок ПГА; 10 – датчик давления

Согласно классификации, предложенной автором в [4], показанная на рис. 1 схема представляет собой систему продольного копирования гидропневматического типа с рабочим замкнутым контуром «ГЦ – ПГА». Отслеживание профиля поля – силовое (т. е. по остаточной реакции на башмаке), с помощью контакта башмака с поверхностью. В пассивных системах данного типа для разгрузки опорных элементов адаптера используются те же гидроцилиндры, которые осуществляют подъем и перевод адаптера в транспортное положение. Отсюда следует неоспоримое преимущество таких систем – нет необходимости иметь два исполнительных элемента: установленный гидроцилиндр служит как для разгрузки адаптера при осуществлении технологического процесса в диапазоне копирования, так и для подъема его в транспортное положение.

В данной схеме адаптер жестко присоединен к питающе-измельчающему аппарату (ПИА) и совершает копирование профиля поля за счет качания совместно с ПИА вокруг шарнира, расположенного на оси вращения вала измельчающего барабана. Такая схема получила широкое распространение в кормоуборочных комбайнах не только благодаря минимальному количеству используемых элементов и простоте компоновки. Активное ее использование связано также с тем, что качание ПИА совместно с адаптером вокруг оси вращения измельчающего барабана позволяет иметь постоянный зазор между подающими вальцами питающего аппарата и ножами измельчающего барабана, а жесткое соединение адаптера с питающе-измельчающим аппаратом даст возможность организовать стационарную зону перепада технологической массы из адаптера в питающий аппарат [5].

Как было сказано выше, при проектировании механизма копирования гидропневматического типа основной задачей является поддержание величины реакции на башмаке на уровне условного горизонта с минимизацией ее разброса во всем диапазоне копирования. Это условие достаточно просто выполнить при исследовании механизма известными методами [1, 6–8], если речь идет об обеспечении копирования комбайна, агрегатируемого с одним адаптером. Однако в реальности в течение уборочного сезона на кормоуборочных машинах могут применяться различные адаптеры в зависимости от убираемой культуры и цели уборки – жатки для грубостебельных культур, травяные жатки или подборщики. Все эти адаптеры обладают как разной массой, так и вылетом центра тяжести, что приводит к необходимости поиска компромисса между «идеальной» характеристикой копирования для каждого из них и возможностью обеспечения удовлетворительной работоспособности для всего шлейфа применяемых адаптеров.

Ситуация усугубляется тем, что на характеристику копирования существенное влияние оказывает величина гистерезиса при подъеме и опускании адаптера, вызванная потерями на трение в элементах гидравлики: прокладок – о гильзу, местными сопротивлениями и пр. Так как в механизме копирования применяются гидроцилиндры одного типоразмера, то величина этого гистерезиса станет одинаково постоянной, однако величина вклада его в характеристику копирования для более легкого адаптера будет более существенной, чем для самого тяжелого.

В связи с этим при проектировании нового механизма копирования профиля поля была поставлена задача: создать математическую модель и с ее помощью осуществить подбор параметров гидропневматической системы копирования таким образом, чтобы обеспечить удовлетворительное копирование и подъем для всего ряда работающих адаптеров.

Для удобства описания в тексте адаптеры будем называть следующим образом: жатка для уборки трав – адаптер 1; жатка для уборки грубостебельных культур – адаптер 2; подборщик – адаптер 3. Наиболее тяжелым является адаптер 1, а наиболее

легким – адаптер 3, который отличается по массе от наиболее тяжелого в 1,9 раза. Данная задача решалась с помощью широко известного векторного метода исследования механизмов [1, 5–8], применяемого для кинематического и силового анализа любых рычажных механизмов, а также модуля математического описания работы системы «ГЦ – ПГА» [5].

Предварительный анализ показал, что при использовании различных адаптеров из-за разного рабочего давления в гидросистеме в диапазоне копирования не представляется возможным обеспечить параметры ПГА с одним значением давления закачки газом. Поэтому было принято решение использовать два блока ПГА: с зарядкой газом одного блока – 50 кг/см^2 , а второго – 25 кг/см^2 . Применение двух разных блоков позволяет обеспечивать характеристику копирования наиболее легкого адаптера при сохранении удовлетворительной характеристики более тяжелых адаптеров.

Для снижения влияния величины гистерезисных потерь на рабочую характеристику копирования необходимо стремиться использовать максимальные значения рабочего давления в замкнутой полости системы «ГЦ – ПГА» [5]. Поэтому для максимизации рабочего давления в гидросистеме для всех трех адаптеров применены гидроцилиндры с рабочим диаметром плунжера 63 мм. Также для формирования характеристики копирования настроечное давление закачки жидкости в замкнутую полость системы «ГЦ – ПГА» для каждого из адаптеров было подобрано таким образом, чтобы при опускании адаптера в нижний диапазон копирования нагрузка на башмаке никогда не была отрицательной, т. е. чтобы адаптер не зависал в промежуточном положении.

Полученные результаты изменения нагрузки на башмаке адаптера при копировании профиля поля при движении адаптера вверх представлены на рис. 2. Для удобства графиков характеристика изменения нагрузки на башмаке при движении адаптера вниз была опущена. Из-за малого изменения рабочего давления в замкнутой полости гидросистемы величина гистерезисных потерь практически постоянна. По этой причине характеристика изменения нагрузки на башмаке при движении адаптера вниз будет располагаться параллельно показанным на рис. 2 линиям 1–3, но смещенным на величину: для адаптера 1 – 380 Н; для адаптера 2 – 300 Н; для адаптера 3 – 350 Н.

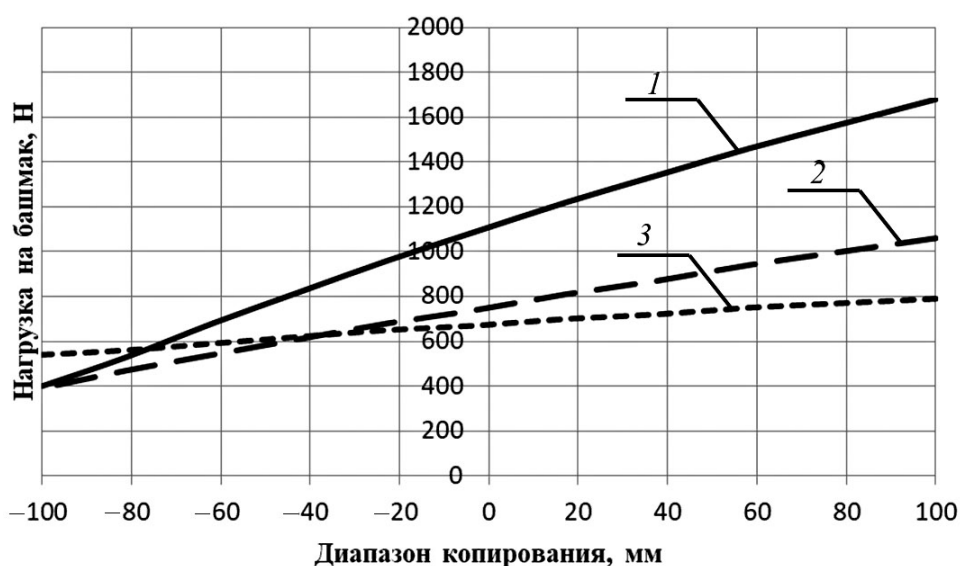


Рис. 2. Изменение нагрузки в диапазоне копирования на башмаках:

1 – адаптера 1; 2 – адаптера 2; 3 – адаптера 3

По результатам расчета нагрузка на башмак в среднем положении диапазона копирования при движении вверх с использованием гидроцилиндров $\varnothing 63$ мм будет равна: для адаптера 1 – 1090 Н; для адаптера 2 – 750 Н; для адаптера 3 – 650 Н. Разброс значений реакции от минимального до максимального значения составляет: для адаптера 1 – 1300 Н; для адаптера 2 – 670 Н; для адаптера 3 – 480 Н.

Исходя из результатов полученных характеристик для всех трех адаптеров наибольшая величина нагрузки на башмак и максимальный разброс значений этой нагрузки в диапазоне копирования наблюдается для адаптера 1. При этом для адаптеров 2 и 3 как величина нагрузки, так и ее разброс находится в допустимых пределах. Это связано с тем, что адаптер 1 конструктивно имеет не только большую массу, но и вылет центра тяжести. Снизить величину реакции для адаптера 1 при принятых параметрах механизма копирования не представляется возможным в силу того, что в этом случае нагрузка на башмаки адаптеров 2 и 3 снизится до недопустимо малых величин, а это, в свою очередь, также отрицательно скажется на процессе уборки. Выход из положения в этом случае возможен за счет применения башмаков адаптера 1 с повышенной площадью контакта с опорной поверхностью.

Дальнейшее исследование работоспособности гидропневматической системы выявило, что при полученной удовлетворительной характеристике копирования всех трех адаптеров невозможен подъем самых тяжелых адаптеров 1 и 2 (рис. 3, а). Как показывают результаты расчета, это происходит из-за того, что для адаптера 1 требуемое для подъема давление во всем диапазоне хода гидроцилиндра превышает давление предохранительного клапана системы, заложенное техническим заданием. При этом для адаптера 2 превышение давления наблюдается, начиная с величины хода гидроцилиндра, равной 75 мм, или другими словами подъем адаптера может осуществляться только до высоты 150 мм по башмаку, что недостаточно для полноценной работы комбайна при уборке.

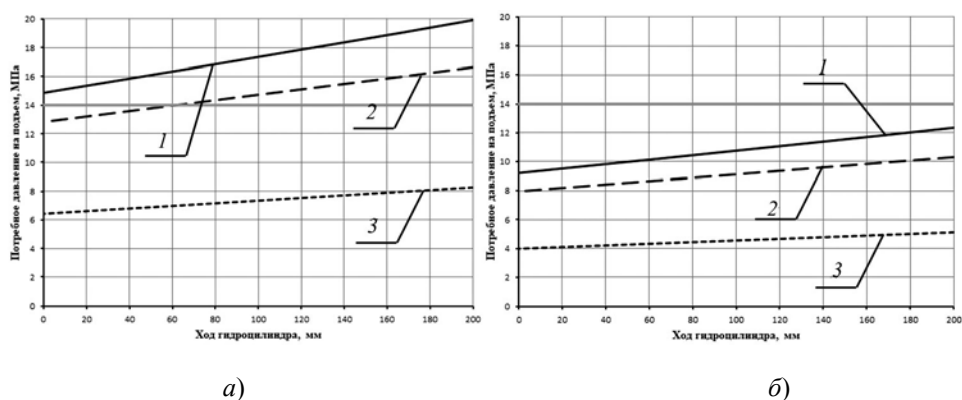


Рис. 3. Характеристика подъема адаптеров с ГЦ $\varnothing 63$ мм (а) и с ГЦ $\varnothing 80$ мм (б):
1 – адаптер 1; 2 – адаптер 2; 3 – адаптер 3

Из предыдущего анализа видно, что установка гидроцилиндров с диаметром плунжера 63 мм, хорошо подходящего для обеспечения удовлетворительной характеристики копирования, недопустима, так как не обеспечивается полный подъем адаптеров 1 и 2. Следовательно, для осуществления максимального подъема любых адаптеров, применяемых с кормоуборочным комбайном, нужно использовать гидроцилиндры с большим диаметром. Предварительный расчет установил, что для обеспечения работоспособности комбайна со всеми адаптерами во всем диапазоне подъема необходимо применять гидроцилиндры с диаметром плунжера не менее 80 мм (рис. 3, б). В этом случае подъем самого тяжелого адаптера обеспечивается с минимальным запасом 13 % по давлению.

Однако, как показывают проверочные расчеты, использование гидроцилиндров с диаметром плунжера 80 мм приводит к тому, что значительно изменяется характеристика копирования для всех трех адаптеров (рис. 4). По результатам расчета при применении гидроцилиндров $\varnothing 80$ мм нагрузка на башмак адаптера (рис. 4) в среднем положении диапазона копирования при движении вверх составит: для адаптера 1 – 1420 Н; для адаптера 2 – 900 Н; для адаптера 3 – 880 Н. Разброс значений реакции от минимального до максимального значения будет следующим: для адаптера 1 – 1220 Н; для адаптера 2 – 650 Н; для адаптера 3 – 480 Н.

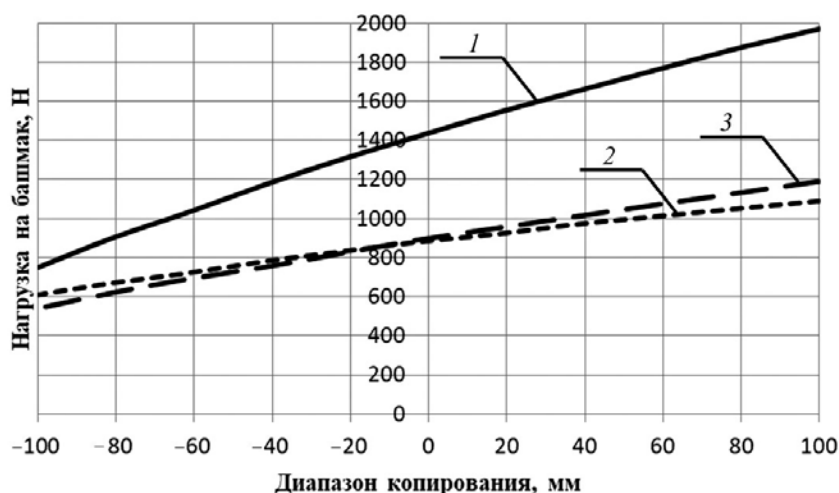


Рис. 4. Изменение нагрузки в диапазоне копирования на башмаках (с ГЦ $\varnothing 80$ мм):
1 – адаптера 1; 2 – адаптера 2; 3 – адаптера 3

Как видим из результатов проверочного расчета механизма копирования, при использовании гидроцилиндров с диаметром плунжера 80 мм растет величина нагрузки на башмаке в середине диапазона копирования в 1,2–1,35 раза.

Из вышеуказанного следует, что применение первого ГЦ (с плунжером $\varnothing 63$ мм) не обеспечивает подъем наиболее тяжелых адаптеров во всем диапазоне, а использование второго ГЦ (с плунжером $\varnothing 80$ мм) – не дает удовлетворительной характеристики копирования всех трех адаптеров. Для решения этого противоречия коллектив авторов [9] предложил техническое решение, обеспечивающее работоспособность систем подъема и уравнивания во всем диапазоне работы навески кормоуборочного комбайна с помощью применения тандем-ГЦ, схема которого дана на рис. 5.

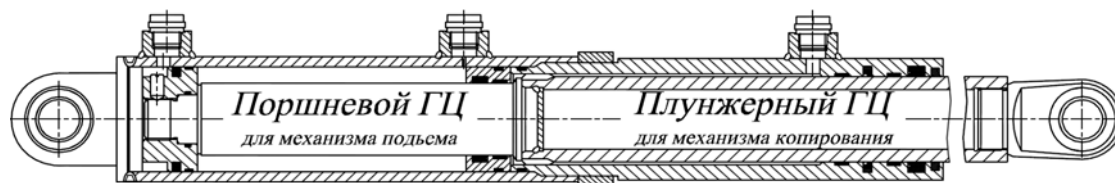


Рис. 5. Тандем-гидроцилиндр

Тандем-ГЦ состоит из двух совмещенных в одном корпусе гидроцилиндров плунжерного и поршневого типов с разделенными рабочими полостями и совмещает две функции в механизме навески: функции подъема и функции копирования. При подъеме и опускании адаптеров работает поршневая полость большего диаметра,

а при осуществлении технологического процесса происходит закачка жидкости до давления, необходимого для уравнивания адаптера, в полость с меньшим диаметром плунжера системы «ГЦ – ПГА».

Таким образом, для обеспечения работоспособности описываемой в работе системы копирования и подъема кормоуборочного комбайна со всеми адаптерами было предложено в ее конструкции применить тандем-ГЦ, имеющий поршневую полость диаметром 80 мм и штоковую полость диаметром 63 мм. В этом случае получаем характеристику изменения потребного для подъема давления адаптеров, представленную на рис. 3, б, а характеристика изменения нагрузки на башмаке для каждого из адаптеров будет соответствовать графикам, приведенным на рис. 2.

Заключение

В рамках проведенной работы были описаны условия работоспособности системы копирования и подъема адаптеров кормоуборочного комбайна, а также сформирована ее математическая модель с помощью векторного способа по известной методике [5, 8]. Благодаря результатам исследования было определено и сформулировано противоречие, устранение которого дало возможность найти техническое решение, обеспечивающее работоспособность механизма копирования и подъема кормоуборочного комбайна при агрегатировании его со всеми используемыми с ним адаптерами. Данное техническое решение успешно испытано в полевых условиях и внедрено в конструкцию навески и системы копирования гидropневматического типа некоторых кормоуборочных машин производства ОАО «Гомсельмаш».

Литература

1. Математическая модель механизма уравнивания и подъема косилки-плющилки ротационной / Д. В. Джасов, А. Д. Конявский, А. С. Шантыко, Ю. В. Чупрынин // Актуальные вопросы машиноведения : сб. науч. тр. / Объед. ин-т машиностроения Нац. акад. наук Беларуси. – Минск, 2020. – Вып. 9. – С. 27–30.
2. Попов, В. Б. Особенности аналитического описания механизма агрегатирования косилки самоходной КС-200 / В. Б. Попов // Вестник Гомельского государственного технического университета имени П. О. Сухого. – 2024. – № 1 (96). – С. 41–47. – DOI 10.62595/1819-5245-2024-1-41-47
3. Попов, В. Б. Формирование функциональной математической модели механизма вывешивания адаптера кормоуборочного комбайна «Полесье-3000» / В. Б. Попов // Вестник Гомельского государственного технического университета имени П. О. Сухого. – 2010. – № 4. – С. 37–44.
4. Джасов, Д. В. Обзор и классификация систем копирования поверхности поля в конструкциях уборочных сельскохозяйственных машин / Д. В. Джасов // Механика машин, механизмов и материалов. – 2023. – № 4 (65). – С. 5–15.
5. Рехлицкий, О. В. Математическое описание системы уравнивания адаптеров мобильной кормоуборочной машины с применением пневмогидроаккумулятора / О. В. Рехлицкий, Ю. В. Чупрынин // Механика машин, механизмов и материалов. – 2014. – № 1 (26). – С. 40–48.
6. Джасов, Д. В. Оптимизация параметров механизма подъема капота косилки с применением газовых пружин / Д. В. Джасов, Д. Н. Иванов, А. С. Шантыко // Вестник аграрной науки Дона. – 2018. – № 2 (42). – С. 65–73.
7. Котов, А. В. Векторный анализ кинематических характеристик двухшарнирной карданной передачи / А. В. Котов // Тракторы и сельхозмашины. – 2020. – Т. 87, № 1. – С. 39–48.
8. Джасов, Д. В. Анализ кинематики механизма привода системы очистки зерноуборочного комбайна КЗС-10К / Д. В. Джасов, А. Н. Вырский, Ю. В. Чупрынин // Актуальные вопро-

сы машиноведения : сб. науч. тр. / Объед. ин-т машиностроения Нац. акад. наук Беларуси. – Минск, 2018. – Вып. 7. – С. 79–82.

9. Патент BY 22334, МПК А 01 D 41/127, А 01 D 34/24, А 01 D 63/10. Гидравлический привод подъемного устройства уборочного модуля сельскохозяйственной машины : заявлено 15.06.2016 ; опубл. 28.02.2018 / Подрез В. В., Волков И. В., Шиш Н. В. ; заявитель ОАО «Гомсельмаш». – 3 с.

Reference

1. Dzhasov D. V., Konyavskii A. D., Shantyko A. S., Chuprynin Yu. V. Mathematical model of the mechanism for balancing and lifting the rotary windrower. *Aktual'nye voprosy mashinovedeniya: sb. nauch. tr.* Minsk, Ob"edinennyi institut mashinostroeniya Natsional'noi akademii nauk Belarusi, 2020, iss. 9, pp. 27–30 (in Russian).
2. Popov V. B. Peculiarities of analytical description of self-propelled KS-200 mower aggregation mechanism, *Vestnik Gomel'skogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta imeni P. O. Sukhogo*, 2024, no. 1 (96), pp. 41–47 (in Russian). DOI 10.62595/1819-5245-2024-1-41-47
3. Popov V. B. Formation of a functional mathematical model of the mechanism for hanging the adapter of the Polesie-3000 forage harvester. *Vestnik Gomel'skogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta imeni P. O. Sukhogo*, 2010, no. 4, pp. 37–44 (in Russian).
4. Dzhasov D. V. Overview and classification of copying systems of field surface in designs of harvesting agricultural machines. *Mekhanika mashin, mekhanizmov i materialov = Mechanics of machines, mechanisms and materials*, 2023, no. 4 (65), pp. 5–15 (in Russian).
5. Rekhmitskii O. V., Chuprynin Yu. V. A mathematical formulation of mobile forage harvester adapters balance system with hydropneumatic accumulator application. *Mekhanika mashin, mekhanizmov i materialov = Mechanics of machines, mechanisms and materials*, 2014, no. 1 (26), pp. 40–48 (in Russian).
6. Dzhasov D. V., Ivanov D. N., Shantyko A. S. Optimisation of parameters of the mower bonnet lifting mechanism using gas springs. *Vestnik agrarnoi nauki Dona = Bulletin of Agrarian Science of the Don*, 2018, no. 2 (42), pp. 65–73 (in Russian).
7. Kotov A. V. Vector analysis of kinematic characteristics of a double-jointed cardanic gear. *Traktory i sel'khoz mashiny = Tractors and agricultural machinery*, 2020, vol. 87, no. 1, pp. 39–48 (in Russian).
8. Dzhasov D. V., Vyrskii A. N., Chuprynin Yu. V. Analiz kinematiki mekhanizma privoda sistemy ochistki zernouborochного kombaina KZS-10K. *Aktual'nye voprosy mashinovedeniya = Current issues of mechanical engineering: sb. nauch. tr.* Minsk, Ob"edinennyi institut mashinostroeniya Natsional'noi akademii nauk Belarusi, 2018, iss. 7, pp. 79–82 (in Russian).
9. Podrez V. V., Volkov I. V., Shish N. V. Gidravlicheskiy privod pod"emного ustroystva uborochного modulya sel'skokhozyaistvennoy mashiny. Patent Respublika Belarus'. no. BY 22334, МПК А 01D 41/127, А 01D 34/24, А 01D 63/10, 2018 (in Russian).

Поступила 19.12.2024 г.