



ОБЩИЕ ПРОБЛЕМЫ МЕХАНИКИ

УДК 631.35, 681.52

Д.В. ДЖАСОВ

ведущий инженер-конструктор – руководитель сектора конструкторско-исследовательского отдела динамики, прочности, аналитической надежности

E-mail: kiodpan@gomselmash.by

НТЦК ОАО «Гомсельмаш», г. Гомель, Республика Беларусь

Поступила в редакцию 21.07.2023.

ОБЗОР И КЛАССИФИКАЦИЯ СИСТЕМ КОПИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ПОЛЯ В КОНСТРУКЦИЯХ УБОРОЧНЫХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН

Представлено описание, принцип работы и сформулирована основная функция систем копирования поверхности поля уборочных сельскохозяйственных машин. Проведен обзор существующих механизмов уравнивания и систем копирования поверхности поля, применяемых в конструкциях уборочных сельскохозяйственных машин, выделены их достоинства и недостатки. По результатам обзора конструкций различных систем копирования предложена классификация этих систем и описана структурная взаимосвязь, позволяющая в общем виде охарактеризовать различные конструкции систем копирования.

Ключевые слова: механизм уравнивания, система копирования, пневмогидроаккумулятор, пружина, рычажный механизм, сельскохозяйственная машина

DOI: <https://doi.org/10.46864/1995-0470-2023-4-65-5-15>

Введение. Уборочные сельскохозяйственные машины — это техника, функциональным назначением которой является уборка и первичная переработка технологического продукта сельскохозяйственной деятельности. Для получения и передачи в технологический тракт убираемой технологической массы уборочные сельскохозяйственные машины оборудуются адаптером — зерновым, травяным, валковой жаткой, роторной косилкой, подборщиком или любым другим устройством для уборки урожая.

Технологический процесс уборки адаптерами, расположенными на зерноуборочных или кормоуборочных машинах, заключается в следующем: порция стеблей подается к режущему аппарату жатки, срезается и направляется шнеком или ленточным транспортером к центру жатки. Далее срезанная масса захватывается и перемещается в выгрузное окно жатки, через которое подается либо на поле в виде валка для просушивания, либо в технологический тракт комбайна (наклонная ка-

мера или питающе-измельчающий аппарат) для дальнейшей обработки.

Для обеспечения качественного технологического процесса уборки с поля технологического продукта с минимальными потерями необходимо обеспечить поддержание заданной высоты среза относительно опорной поверхности поля. Учитывая, что поверхность поля имеет естественные неровности, для поддержания постоянства высоты среза необходимо обеспечить возможность копирования адаптером рельефа поля. Эту задачу можно реализовать с помощью системы копирования рельефа, что обеспечит непрерывное качественное выполнение технологического процесса с минимальными потерями. Данную функцию необходимо учитывать при проектировании, модернизации и повышении эффективности работы систем копирования в составе уборочных сельскохозяйственных машин.

Стоит отметить, что в условиях жестких ограничений как по времени, так и по финансовым

средствам, при проектировании новых уборочных машин и комбайнов использование систем копирования определенного типа характеризуется опытом применения таких систем в моделях прошедших лет. Поэтому складывается ситуация, при которой в пределах модельного ряда на новых машинах редко используются кардинально новые системы копирования. Это связано с тем, что проектированием одного типа уборочных машин занимается один рабочий коллектив, а другого типа машин — другой коллектив, не связанный с первым. Часто срывается установка, что при проектировании целесообразно использовать такую систему, которая ранее зарекомендовала себя неплохо. Это приводит к тому, что в новых энергонасыщенных самоходных уборочных машинах с широкой линейкой разнообразных (как по габаритам, так и по массе) адаптеров порой приходится сталкиваться с ухудшением качества работы систем копирования, которые изначально были предназначены только для определенного типа адаптеров. Как итог — необходимость искать компромиссные варианты для модернизации таких систем.

Для поиска наиболее эффективных решений возникает необходимость в упорядочивании информации по конструкциям разнообразных систем копирования поверхности поля, используемых в разных уборочных машинах.

В различных учебных пособиях, как правило, дается описательная часть общей конструкции уборочных машин и комбайнов, в которых наличие в их составе систем копирования подается либо как факт [1], либо как выдержка из инструкций по эксплуатации [2, 3], либо как собирательное описание принципа работы механической и автоматической систем копирования [4]. При этом на сегодняшний день существует множество разнообразных систем копирования, исследование которых приводится лишь в узкоспециализированных публикациях по заданной тематике. Например, в публикациях [5–7] описаны механические системы копирования, применяемые на некоторых комбайнах и косилках. В публикациях [8, 9] показаны системы копирования с пневмогидроаккумуляторами (ПГА), используемые в кормоуборочных комбайнах, а в публикации [10] предлагается построение активной системы копирования контактного типа для применения ее в конструкции кормоуборочного комбайна. В публикациях [11, 12] приводится описание систем с бесконтактным типом копирования, применяемых на сеялках, а в публикации [13] — в ботвоудалительных машинах. В публикации [14] предлагается использовать систему, названную авторами устройством для автоматического копирования рельефа поля, используемую для зерноуборочного комбайна. И это лишь малая часть подобных работ, в которых описываются различные механизмы

и системы, выполняющие по сути одну функцию — поддержание постоянства высоты расположения рабочего органа относительно поверхности поля.

Анализ конструкций систем копирования показывает, что поддержание высоты расположения рабочих органов относительно поверхности поля выполняется различными механизмами и способами, среди которых встречаются как разнородные элементы конструкции, выполняющие одинаковую функцию, так и конструктивно похожие между собой, но выполняющие разную роль. Из сказанного вытекает необходимость структуризации и классификации систем копирования рельефа поля.

В связи с этим автором поставлена задача провести обзор наиболее распространенных существующих систем копирования, применяемых в конструкции уборочных машин, с целью структуризации их элементов для упрощения понимания принципа работы систем копирования, а также выделить их достоинства и недостатки, позволяющие находить новые эффективные решения при проектировании таких систем.

Основная часть. Все разнообразие систем копирования рельефа поля можно разделить на три большие группы: пассивные, активные и гибридные.

К пассивным системам копирования можно отнести системы, у которых отсутствует управление параметрами, влияющими на высотное регулирование, в процессе работы. В таких системах механизм настраивается один раз перед работой и во время копирования рельефа поля не проводится перенастройка его параметров под изменяющиеся условия работы. Такие системы могут быть как механического типа, с использованием пружинно-рычажных механизмов, так и гидropневматического, с использованием замкнутого контура «гидроцилиндр — пневмогидроаккумулятор» («ГЦ — ПГА»). В последнем случае ПГА совместно с ГЦ выполняет роль упругого элемента [8, 9].

В процессе уборки поверхность поля перед уборочной сельскохозяйственной машиной изменяется как в продольном, так и в поперечном направлении. Поэтому по способу отслеживания механизмами копирования поверхности поля относительно направления движения сельскохозяйственной машины их можно разделить на механизмы, копирующие в продольной, поперечной и продольно-поперечной плоскостях.

Последний вариант чаще всего используется в пассивных системах с использованием пружинно-рычажных механизмов на самоходных косилках, в которых левая и правая стороны навески независимы (рисунок 1 а). Подобного рода механизм использовался также на комбайнах «Нива», «Енисей», «Колос» [3] (см. рисунок 1 б). Отличительной

особенностью таких механизмов в конструкции зерноуборочных комбайнов является использование взаимосвязанных нижних рычагов, выполненных в виде П-образной рамки, которая крепится на корпусе наклонной камеры с помощью одного шарового шарнира. В обоих случаях блоки пружин используются как для продольного, так и для поперечного уравнивания одновременно. Несмотря на компоновочные достоинства такой схемы, можно отметить следующие ее недостатки: значимые гистерезисные потери, сложность обеспечения необходимой характеристики изменения реакции на башмаке в продольной и поперечной плоскостях во всем диапазоне копирования, взаимное влияние параметров сторон механизма друг на друга, а для зерноуборочных комбайнов также большая сложность агрегатирования.

В конструкциях современных зерноуборочных комбайнов с использованием пружинно-рычажных механизмов копирования функции продольного и поперечного копирования, как правило, разделены (рисунок 2). Для этого используется переходная рамка 8, на которую непосредственно навешивается адаптер. Она сочленяется с наклонной камерой и имеет ось качания 6 в продольном направлении. Адаптер же относительно рамки имеет ось качания 7 в поперечном направлении. В итоге для успешного копирования профиля поля используется два разных блока пружин 1 и 3 со своими параметрами, тягами и рычагами.

Такое решение используется для четкого разделения функций механизмов продольного и поперечного копирования, которые позволяют обеспечить конкретные значения целевых параметров, а также максимально снизить их взаимное влияние друг на друга при копировании поверхности поля во всех направлениях. Кроме этого, исполь-

зование двух механизмов вместо одного позволило значительно упростить процесс агрегатирования и уменьшить время на проведение подготовительно-заключительных работ.

Для успешного совместного функционирования двух систем остаточная сила реакции на башмаке, реализуемая механизмом продольного копирования, должна быть больше остаточной силы реакции, реализуемой механизмом поперечного уравнивания, во всем рабочем диапазоне значений высоты неровностей профиля. В этом случае при наезде на неровность одним из крайних башмаков адаптера произойдет отработка неровностей в поперечном направлении. Если же остаточная реакция на башмаке от механизма продольного копирования будет меньше, чем от механизма поперечного уравнивания, то при наезде на неровность одним из крайних башмаков произойдет всплывание адаптера по всей ширине в продольном направлении. Это приведет к потерям по высоте среза по всей ширине адаптера.

Для снижения взаимного влияния механизмов поперечного и продольного копирования их стремятся разместить в различных плоскостях. Поэтому расположение пружинно-рычажных механизмов относительно наклонной камеры отличается на комбайнах разных производителей. На наклонных камерах зерноуборочных комбайнов производства ОАО «Гомсельмаш» и ООО «Комбайновый завод «Ростсельмаш» механизмы продольного уравнивания размещены по бокам наклонной камеры в вертикальной плоскости, а механизмы поперечного уравнивания — в горизонтальной (снизу на РСМ-142 ACROS) либо фронтальной (КЗС-10К, КЗС-1218) плоскостях. На комбайнах «Лида-1300» производства ОАО «Лидагропроммаш» и некоторых моделях комбайнов

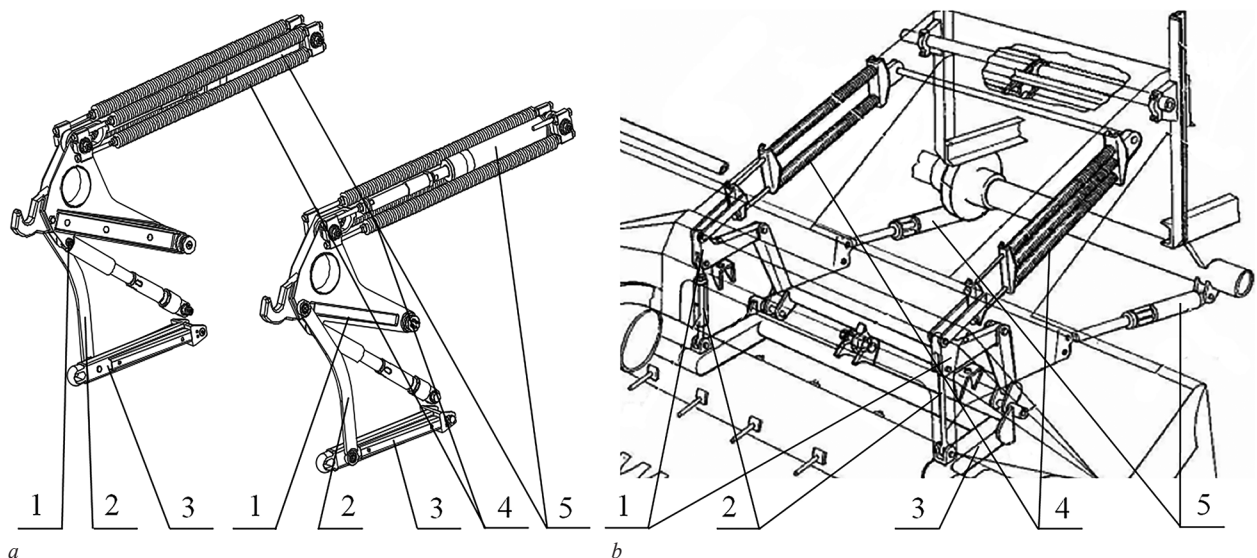


Рисунок 1 — Системы уравнивания: *a* — косилки самоходной; *b* — комбайнов «Нива» и «Колос»;
 1 — рычаг верхний; 2 — раскос/подвеска; 3 — рычаг нижний; 4 — блоки пружин; 5 — гидроцилиндры подъема/опускания
Figure 1 — Balancing systems of: *a* — self-propelled mower, *b* — Niva and Kolos combines;
 1 — upper arm; 2 — strut/suspension; 3 — lower arm; 4 — spring blocks; 5 — lifting/lowering hydraulic cylinders

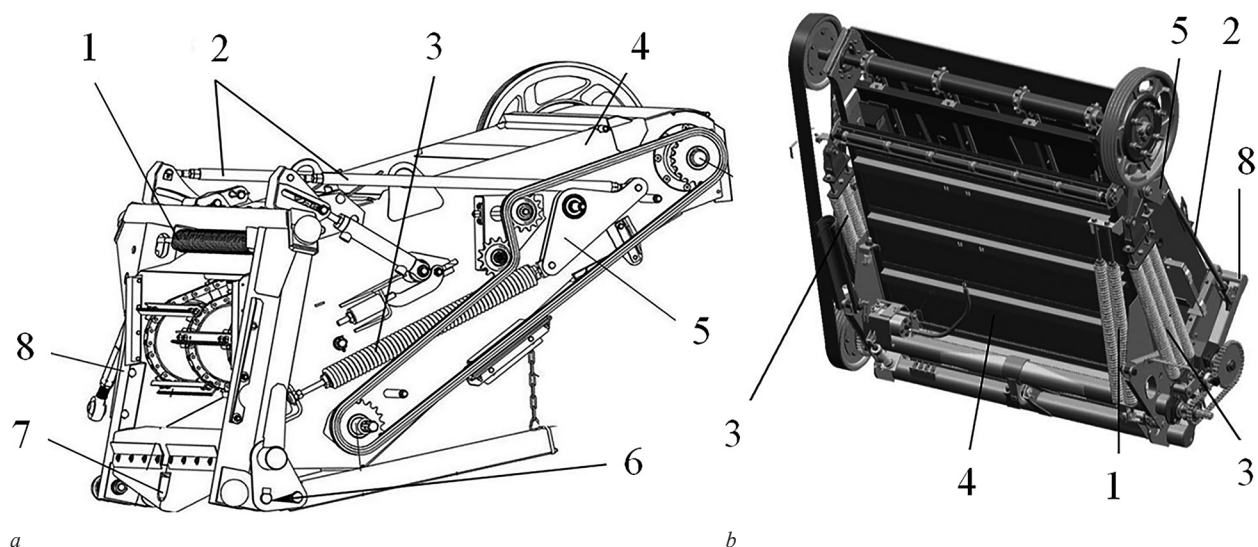


Рисунок 2 — Пружинно-рычажные механизмы уравнивания комбайнов: а — КЗС-10К; б — РСМ-142 АСРОС;

1 — блок пружин поперечного уравнивания; 2 — тяга; 3 — блок пружин продольного уравнивания; 4 — рама наклонной камеры; 5 — двуплечий рычаг; 6 — ось качания рамки; 7 — ось качания жатки; 8 — рамка переходная

Figure 2 — Spring-lever mechanisms of harvester balancing: а — KZS-10K; б — RSM-142 ACROS;

1 — block of springs of transverse balancing; 2 — rod; 3 — block of springs of longitudinal balancing; 4 — frame of inclined chamber; 5 — double-shouldered lever; 6 — frame pivot axis; 7 — cutterbar pivot axis; 8 — transition frame

компании Case механизмы продольного копирования располагают в горизонтальной плоскости сверху наклонной камеры. При этом механизмы поперечного уравнивания размещаются по бокам наклонной камеры.

В связи с вышесказанным, по расположению пружинно-рычажных механизмов относительно приемного устройства уборочной сельскохозяйственной машины, будь то наклонная камера (НК), питающе-измельчающий аппарат (ПИА) или навеска, можно выделить механизмы копирования с боковым (в вертикальной плоскости), фронтальным (спереди) или горизонтальным (верхним/нижним) расположением.

Как показывает многолетний опыт эксплуатации сельскохозяйственной уборочной техники, пружинно-рычажные механизмы копирования обладают конструктивной простотой и ремонтпригодностью и хорошо зарекомендовали себя на полях с небольшими неровностями поверхности. Однако на работоспособность таких механизмов накладывает влияние большой статистический разброс значений высоты неровностей даже в пределах одного поля. Это связано с конструктивной особенностью таких механизмов. При превышении этого диапазона вверх происходит резкое увеличение нагрузки на башмаках, что приводит к эффекту бульдозерения, чрезмерному уплотнению или разрушению верхнего слоя почвы и попаданию почвы вместе с убираемой культурой в технологический тракт. При выходе из рабочего диапазона вниз происходит зависание адаптера, что приводит к потерям по высоте среза. Кроме того, такие механизмы также подвержены появлению эффекта галоширования, при котором ухудшается качество среза. К недостаткам рычажно-пружинных меха-

низмов можно отнести и необходимость использования сильно отличающихся геометрических параметров рычагов и тяг для каждой из весовых групп адаптеров (в зависимости от расположения центра тяжести и массы). Этот момент вызывает затруднения при компоновке и регулировке механизма, расположенного, например, на верхней части наклонной камеры зерноуборочного комбайна, из-за требований к обзорности основных рабочих органов из кабины. Кроме того, не позволяет использовать принцип унификации систем для удолетворительного копирования всей линейки применяемых адаптеров.

Следующей группой пассивных систем копирования являются системы копирования гидроневматического типа на основе работы замкнутого контура «ГЦ — ПГА», которые получили широкое распространение на самоходных кормоуборочных комбайнах. Вариант принципиальной схемы такой системы приведен на рисунке 3. Аналогичная схема используется и на зерноуборочных комбайнах некоторых производителей. В качестве упругого элемента в таких механизмах вместо пружин используются гидроцилиндры с присоединенными к ним ПГА.

Основной принцип работы заключается в том, что адаптер жестко присоединен к 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 благодаря тому, что она позволяет организовать стационарную зону перехода технологической массы из адаптера в питающий аппарат в продольном направлении. Эта зона является критически важной для стабильно-

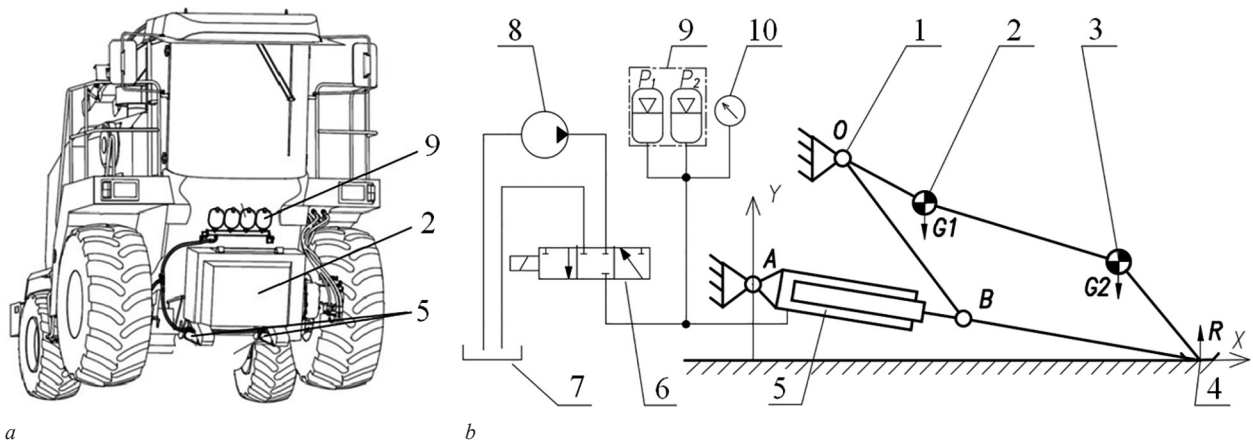


Рисунок 3 — Кормоуборочный комбайн с системой копирования гидропневматического типа:

a — общий вид; *b* — принципиальная схема; 1 — ось качания ПИА совместно с адаптером; 2 — точка G_1 — центр тяжести ПИА; 3 — точка G_2 — центр тяжести адаптера; 4 — точка R — опорный элемент адаптера; 5 — ГЦ; 6 — гидрораспределитель; 7 — гидробак; 8 — гидронасос; 9 — блок ПГА; 10 — датчик давления

Figure 3 — Forage harvester with hydropneumatic copying system:

a — general view; *b* — principle scheme; 1 — pivot axis of feeding and chopping unit (FCU) together with the adapter; 2 — point G_1 — center of gravity of FCU; 3 — point G_2 — center of gravity of the adapter; 4 — point R — support element of the adapter; 5 — hydraulic cylinder; 6 — hydraulic distributor; 7 — hydraulic tank; 8 — hydraulic pump; 9 — pneumohydraulic accumulator unit; 10 — pressure sensor

сти протекания технологического процесса подпрессовки и последующего измельчения поступающей массы.

В пассивных системах гидропневматического типа для разгрузки опорных элементов адаптера используются те же гидроцилиндры, что осуществляют подъем и перевод адаптера в транспортное положение. Отсюда первое неоспоримое преимущество этих 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 адаптера в транспортное положение. Вторым преимуществом этих механизмов является тот факт, что система «ГЦ — ПГА», являясь упругим элементом, позволяет подбирать необходимую характеристику изменения реакции на опорных элементах адаптера [8].

Сдерживающим фактором при разработке систем гидропневматического типа является ограничение по расположению гидроцилиндра в пределах конструкции комбайна из-за необходимости обеспечения требуемого клиренса или применения гидроцилиндров стандартных типоразмеров. С одной стороны, для максимально эффективной работы таких систем уравнивания в рабочем режиме необходимо добиваться увеличения давления в замкнутой полости системы «ГЦ — ПГА»

до максимальных значений в рабочем положении путем применения гидроцилиндров с малым диаметром либо уменьшения плеча установки ГЦ в рабочем диапазоне продольного копирования. С другой стороны, для обеспечения максимального подъема адаптера в положение транспортных переездов необходимо максимально снижать рабочее давление путем применения гидроцилиндров большего диаметра либо установкой гидроцилиндров на максимальном плече [9]. В итоге в первом случае максимальное увеличение потребного рабочего давления в гидросистеме не обеспечивает подъем наиболее тяжелого адаптера во всем диапазоне, а во втором случае — не обеспечивается удовлетворительная характеристика его копирования.

Для решения этого противоречия коллективом авторов [15] было предложено техническое решение, обеспечивающее работоспособность систем подъема и уравнивания во всем диапазоне работы навески кормоуборочного комбайна с помощью использования тандем-ГЦ (рисунок 4).

Он состоит из двух совмещенных в одном корпусе гидроцилиндров плунжерного и поршневого типов с разделенными рабочими полостями и совмещает две функции в механизме навески: подъема и копирования. Данное техническое решение успешно испытано в полевых условиях и внедрено в конструкцию навески и системы ко-

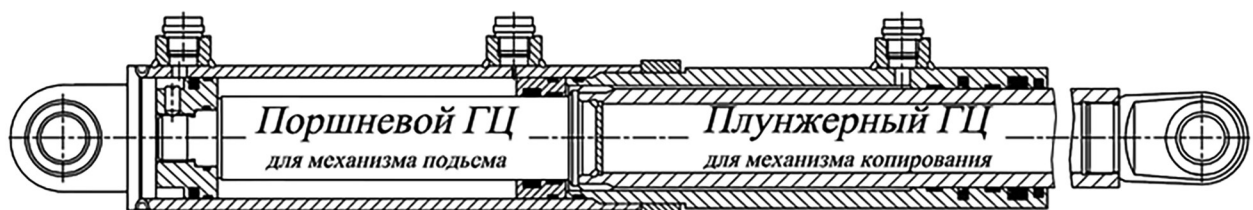


Рисунок 4 — Тандем-гидроцилиндр
Figure 4 — Tandem hydraulic cylinder

пирования гидропневматического типа некоторых кормоуборочных машин производства ОАО «Гомсельмаш».

Несмотря на универсальность механизма копирования гидропневматического типа, позволяющего настраивать его использование с различными типами адаптеров из разных весовых групп, к недостаткам, как и в пружинно-рычажных механизмах, можно отнести ограниченный диапазон удовлетворительной работы по высоте профиля поля. Система копирования гидропневматического типа с рабочим замкнутым контуром «ГЦ — ПГА» обладает большой инерционностью и запаздыванием при копировании на больших скоростях движения, поэтому «не позволяет обеспечить качество технологических операций при больших кинематических возмущающих воздействиях» [10]. При резком изменении высоты профиля поля, вызванного, например, кочкой, из-за инерционности происходит резкое увеличение нагрузки на башмаке, что может в зависимости от типа почвы приводить к эффекту бульдозерения либо к ударному воздействию на башмаки с последующим подъемом, а затем — к замедленному опусканию. А из этого следует нестабильность поддержания высоты среза и связанные с этим эффектом потери. С другой стороны, в таких механизмах инерционность замкнутой системы «ГЦ — ПГА» играет положительную роль в снижении либо практическом отсутствии эффекта галопирования адаптера. Кроме вышеперечисленного, еще одним существенным недостатком пассивных систем гидропневматического типа являются большие гистерезисные потери, вызванные характеристиками исполнительных элементов системы и сильно влияющие на характеристику копирования [8].

Следующей группой систем, обеспечивающих копирование рельефа поля адаптерами самоходных сельскохозяйственных машин, являются активные системы копирования.

Можно предположить, что активные системы копирования — это усовершенствованные пассивные системы копирования гидропневматического типа. В пассивных системах копирования функцию отслеживания изменения высоты профиля поля выполняет опорный элемент конструкции (колесо, башмак), который контактирует с почвой и воспринимает часть массы адаптера. Однако такое копирование не является эффективным в связи с вышеперечисленными недостатками. Для устранения этих недостатков в системах копирования гидропневматического типа появился комплекс дополнительных элементов и управляющих блоков, позволяющих отслеживать неровности поля и принудительно реагировать на изменение их высоты, т. е. для улучшения работоспособности систем копирования гидропневматического типа в нее стали добавляться различные датчики, сен-

соры, электронные компоненты и блоки, анализирующие входные сигналы, которые позволили управлять необходимыми параметрами системы по определенному алгоритму. Эти системы получили название активных либо автоматических систем копирования, механизм работы которых основан на принципе следящего гидропривода.

Использование в конструкции зерноуборочных комбайнов таких систем позволило обеспечить следующее преимущество перед механическими системами уравнивания. В механических системах с рычажно-пружинными механизмами пружины частично уравнивают только массу жатки, поэтому в продольном направлении возникает необходимость организации сочленения между жаткой и наклонной камерой с помощью оси б (см. рисунок 2). Это подразумевает качание окна жатки относительно приемного окна наклонной камеры. В связи с этим «нестабильность взаимного расположения двух окон требует надежного уплотнения зазоров, исключающего потери зерна...» [4]. Несмотря на успешно организованные уплотнения, изменяющееся расстояние между транспортирующими элементами жатки и наклонной камеры, а также изменение угла между их днищами «вызывает неравномерность подачи хлебной массы в молотильный аппарат, который в свою очередь приводит к частым нарушениям технологического процесса (забивание, заклинивание рабочих органов), снижению производительности, ухудшению качественных показателей» [16]. Поэтому использование стационарной зоны в продольном направлении между окнами жатки и наклонной камеры позволило стабилизировать технологический процесс в этой зоне, упростить конструкцию и снизить потери.

Как показал анализ конструктивных схем разнообразных систем активного копирования, эти системы по принципу взаимодействия ее элементов с поверхностью поля можно разделить на системы силового и позиционного типа.

Силовое взаимодействие определяется, как правило, контактом опорного элемента (башмак или колесо) адаптера с почвой, происходящего под нагрузкой, вызванной остаточной реакцией от массы адаптера. В отдельных публикациях по данной теме такие системы называют системами контактного копирования рельефа поля с электрогидравлическим приводом, чувствительным к нагрузке. Научно-методическое построение и функционирование подобной системы подробно изложено в публикации [10]. В упрощенном виде принцип работы замкнутой электрогидравлической системы контактного копирования профиля поля с контуром регулирования давления подпора в гидроцилиндрах навесного устройства состоит в следующем. Изменение высоты неровностей поверхности поля приводит к изменению нагрузки на опорном элементе адаптера, которая в свою очередь приводит

к изменению давления в полостях гидроцилиндра. Датчик давления формирует сигнал, который сравнивается в регуляторе с задающим воздействием, и создает управляющее воздействие на гидроцилиндр [10]. В случае увеличения давления происходит нагнетание рабочей жидкости в гидроцилиндр — адаптер поднимается. В случае снижения давления происходит слив рабочей жидкости из гидроцилиндров под действием сил тяжести — адаптер опускается.

В активных системах копирования рельефа поля позиционного типа взаимодействие элементов системы с поверхностью поля характеризуется способом измерения высоты его неровностей. По данной черте такие системы можно разделить на системы контактного и бесконтактного копирования.

В системах контактного копирования рельефа поля позиционное взаимодействие определяется кинематическим контактом специального щупа с почвой, задача которого фиксировать изменение высоты неровностей поля с помощью присоединенного к нему датчика углового или линейного перемещения. В упрощенном виде принцип работы такой системы состоит в следующем. В зависимости от изменения высоты неровностей поля при движении щупа вверх датчик фиксирует изменение положения и подает сигнал на блок, который управляет электрогидрораспределителем, и происходит нагнетание рабочей жидкости в гидроцилиндр — адаптер поднимается. При опускании щупа вниз датчик фиксирует изменение положения и подает сигнал на блок, который управляет электрогидрораспределителем, и происходит слив рабочей жидкости из гидроцилиндров под действием сил тяжести — адаптер опускается. Как видно из описания, в общем виде принцип работы силовых и позиционных систем аналогичен, отличаются лишь используемые сигналы для управления системой.

В системах бесконтактного копирования поверхности поля используется принцип позиционного взаимодействия, основанного на ультразвуковых [11, 12], оптических либо акустооптических методах измерения расстояния [13]. Данное направление развития систем бесконтактного копирования поверхности поля является успешным и перспективным при использовании в конструкции почвообрабатывающих, посевных и различных уборочных сельскохозяйственных машин, работающих в условиях небольшого количества растительных остатков на поле. Однако в настоящее время эти системы не нашли применения на косилках, кормоуборочных и зерноуборочных комбайнах из-за наличия стерни и пожнивных остатков в составе агрофона после среза стеблей режущим аппаратом. Эти неоднородные остатки формируют частотные помехи и ложные срабатывания, из-за которых работа элементов системы

копирования с помощью бесконтактного способа измерения расстояния становится неэффективной. Однако, учитывая все большее распространение и развитие мобильной компьютерной техники, в том числе бортовых систем, технологий быстрой передачи данных, технологий обработки больших объемов данных (BigData), интернета вещей (IoT) и самообучающихся интеллектуальных систем, этот недостаток со временем может быть устранен с помощью особых алгоритмов распознавания помех.

Стоит отметить, что наличие в конструкции адаптеров опорных башмаков в системах копирования позиционного типа не обязательно. Их применение в таких системах в большинстве случаев объясняется приданием им функции предохранительных элементов конструкции от повреждений на каменистых почвах. Некоторые производители, например New Holland, в конструкциях своих систем совмещают эти функции, и в заданном диапазоне копирования опорный башмак играет роль щупа, отслеживающего изменение высоты неровностей, а при выходе из диапазона — роль предохранительного элемента конструкции адаптера.

Как показала практика, удовлетворительная работа активных систем копирования с электрогидравлическим приводом, чувствительным к нагрузке или позиционированию, обеспечивается на скорости движения комбайна, не превышающей 6 км/ч. Это вызвано как ограниченным быстродействием всех компонентов системы, так и тем фактом, что такие системы проявляют пассивность при движении адаптера вниз. Как следствие, при работе на повышенных скоростях движения происходит запаздывание опускания адаптера, что приводит к потерям по высоте среза.

Логичным шагом для решения указанных выше проблем активных систем автоматического копирования является совмещение преимуществ быстродействия рычажно-пружинных систем с достоинствами активных систем. К таким совмещенным гибридным системам можно отнести те, у которых в малом диапазоне копирования рельефа (микрорельеф) поля основную функцию копирования выполняет механическая система, а при выходе из этого диапазона (макрорельеф) в работу вступает активная электрогидравлическая система. Как правило, с помощью активной электрогидравлической системы происходит перевод механической системы в новую зону работы на уровне макрорельефа. Теоретически для таких систем частично устраняется недостаток, связанный с медленным опусканием адаптера, который фиксируется в активных системах с электрогидравлической схемой копирования.

Некоторыми авторами предполагается, что использование гибридной схемы приведет к повышению производительности зерноуборочного комбайна за счет работы его на повышенных скоростях

и к устранению эффекта галопирования жатки во время работы [14]. Один из вариантов гибридных систем приведен в публикации М.В. Кандели [14], в которой представлена описательная часть устройства для автоматического копирования рельефа поля жаткой, предложенного авторами патента [17]. В публикации подробно излагается принцип работы предложенной системы автоматического копирования на различных режимах, однако авторами не приводятся результаты теоретического либо практического исследования работы такой системы.

Интересные реализации гибридной схемы предложены авторами патентов [18, 19], в которых предлагается управлять силой не только подъема, но и прижатия адаптера к земле, «чтобы сократить время, в течение которого жатка остается поднятой выше требуемого состояния». При этом сила подъема или прижатия зависит от величины скорости поступательного движения сельскохозяйственной машины.

Стоит отметить, что один из вариантов гибридной системы автоматического копирования поверхности поля был разработан и прошел успешные полевые испытания в НТЦК ОАО «Гомсельмаш», предварительные результаты которых показывают перспективность использования таких систем.

Для наглядного отображения систем копирования поверхности рельефа поля, используемых в конструкциях сельскохозяйственных уборочных машин, автором предложена схема, представленная на рисунке 5. Далее указаны некоторые пояснения к ней.

При разделении систем по направлению копирования поверхности поля под продольно-поперечными подразумеваются механизмы или системы, в которых копирование или уравнивание одновременно в обоих направлениях производится максимум двумя исполнительными элементами. Как правило, это пассивные системы с двумя блоками пружин (см. рисунок 1) или двумя гидроцилиндрами с присоединенными к ним ПГА, но независимыми рабочими полостями. Теоретически возможны и активные системы подобного типа, но для данной системы необходимо обеспечить независимое управление гидроцилиндрами и четкий алгоритм их работы для отслеживания поверхности в обоих направлениях, а для кормоуборочных и зерноуборочных комбайнов еще и решить вопрос сочленения приемного устройства (НК или ПИА) с помощью единого шарового шарнира.

При разделении систем копирования по способу отслеживания поверхности поля под силовым отслеживанием подразумеваются механизмы копирования адаптера с частичным снятием нагрузки с его опорных элементов, которые кинематически взаимодействуют с поверхностью поля, но при этом любым из доступных способов отслеживается остаточная реакция на них (а точнее весовой момент адаптера). Под позиционным подразумевается отслеживание изменения высоты неровностей поля с помощью датчиков положения любым из доступных способов (контактным или бесконтактным). Отсюда следует вывод — силовое отслеживание характеризуется контактным взаимодействием опорных элементов адаптера с по-

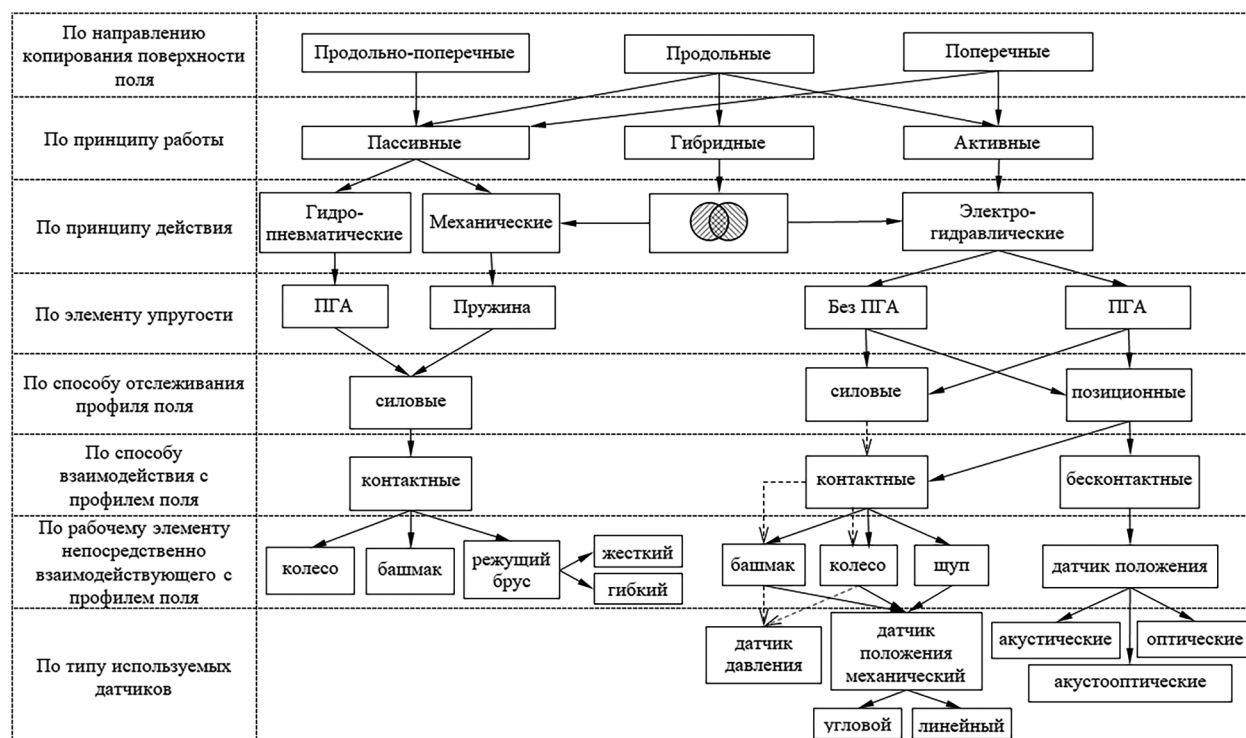


Рисунок 5 — Схема классификации систем копирования
Figure 5 — Classification scheme for copying systems

верхностью поля, а позиционное может быть как контактное (использование датчиков положения через промежуточные элементы), так и бесконтактное (использование датчиков положения бесконтактного типа).

На рисунке 5 была представлена попытка не только классифицировать многообразие представленных систем копирования, но и с помощью указательных стрелок упорядочить взаимосвязи между элементами, позволяющих кратко охарактеризовать ту или иную систему.

Например, системе копирования кормоуборочного комбайна, представленной на рисунке 3, можно дать следующую характеристику. Это система, копирующая в продольном направлении, пассивная, гидропневматическая, с элементом упругости ПГА, отслеживание профиля поля силовое (т. е. по остаточной реакции на башмаке) с помощью контакта башмака с поверхностью. В то же время предложенную в публикации [4] похожую на первый взгляд систему копирования можно охарактеризовать следующим образом: является копирующей в продольном направлении, активная, с электрогидравлическим приводом с использованием ПГА, отслеживание профиля поля силовое с помощью контакта башмака с почвой и в качестве сенсора используется датчик давления. Аналогичным образом можно охарактеризовать и другие системы.

В связи с тем, что гибридные системы копирования являются совмещением механических и электрогидравлических систем, для уменьшения дублирующих элементов схемы эти системы были размещены по центру, а характеристики этой группы соответствуют объединяющим характеристикам смежных двух групп.

Заключение. Проведен обзор различных систем копирования поверхности поля, применяемых в конструкциях сельскохозяйственных уборочных машин, из которого можно сделать следующие выводы.

Пассивные системы копирования — исторически первая группа систем уравнивания. Они хорошо себя зарекомендовали в узком диапазоне копирования, но обладают некоторыми недостатками. Эти системы не могут автоматически перенастраиваться под резкие изменения высоты профиля поля. Применение активных систем копирования предполагает автоматизацию высотного регулирования рабочих органов с помощью различных средств. Активные системы позволяют автоматизировать и управлять процессом копирования непрерывно в процессе работы. Однако и эти системы не лишены недостатков, один из которых — ограничение быстрой реакции на скоростях движения выше 6 км/ч. Гибридные системы копирования совмещают положительные качества первых двух групп и обеспечивают работоспособность системы копирования сельскохозяйственных машин на повышенных скоростях.

По результатам обзора конструкций различных систем копирования предложены их классификация и структурная взаимосвязь, позволяющие охарактеризовать ту или иную систему. Данная классификация позволяет обзорно взглянуть на системы копирования, применяемые в конструкциях уборочных сельскохозяйственных машин, а также сформировать представление о характеристиках какой-либо исследуемой системы и выделить перспективные области для модернизации.

Список литературы

1. Долгов, И.А. Уборочные сельскохозяйственные машины. (Конструкция, теория, расчет): учебник / И.А. Долгов. — Ростов-на-Дону: ИЦ ДГТУ, 2003. — 707 с.
2. Устинов, А.Н. зерноуборочные машины: учеб. для нач. проф. образования / А.Н. Устинов. — М.: Образовательно-издательский центр «Академия», 2003. — 128 с.
3. Ларюшин, Н.П. Сельскохозяйственные машины (раздел «Зерноуборочные комбайны»): учеб. пособие / Н.П. Ларюшин. — Пенза: РИО ПГСХА, 2011. — 243 с.
4. Ожерельев, В.Н. Современные зерноуборочные комбайны: учеб. пособие / В.Н. Ожерельев. — М.: Колос, 2009. — 175 с.
5. Котов, А.В. Применение векторного анализа при проектировании рычажных механизмов / А.В. Котов, Ю.В. Чупрынин // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве: сб. ст. Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 17–19 окт. 2007 г.: в 2 т. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»; под. общ. ред. В.Н. Дашкова. — Минск, 2007. — Т. 2. — С. 32–37.
6. Математическая модель механизма уравнивания и подъема косилки-плющилки ротационной / Д.В. Джасов [и др.] // Актуальные вопросы машиноведения: сб. науч. тр. / Объедин. ин-т машиностроения НАН Беларуси; редкол.: С.Н. Поддубко [и др.]. — Минск, 2020. — Вып. 9. — С. 27–30.
7. Джасов, Д.В. Оптимизация параметров механизмов подъема и уравнивания адаптера косилки самоходной / Д.В. Джасов // Инновационные технологии в агропромышленном комплексе — сегодня и завтра: сб. тез. докл. 3-й междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 3–4 окт. 2019 г. / НТЦК ОАО «Гомсельмаш». — Гомель, 2019. — С. 83–84.
8. 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.
9. Хропаков, Д.И. Математическое моделирование гидромеханической системы копирования кормоуборочного комбайна / Д.И. Хропаков, Д.В. Джасов, В.В. Подрез // Инновационные технологии в агропромышленном комплексе — сегодня и завтра: сб. тез. докл. 3-й междунар. науч.-практ. конф. / НТЦК ОАО «Гомсельмаш». — Гомель, 2019. — С. 81–82.
10. Построение активной системы контактного копирования рельефа поля / Е.Я. Строк [и др.] // Актуальные вопросы машиноведения: сб. науч. тр. / Объедин. ин-т машиностроения НАН Беларуси; редкол.: С.Н. Поддубко [и др.]. — Минск, 2018. — Вып. 7. — С. 115–120.
11. Бесконтактное копирование рельефа поверхности поля рабочими органами сельхозмашин с использованием акустических методов / Е.Я. Строк [и др.] // Тракторы и сельхозмашины. — 2012. — Т. 79, № 6. — С. 35–40. — DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-69391>.
12. Савчук, С.В. Повышение качества функционирования электрогидравлического привода рабочих органов мобильных машин при бесконтактном копировании рельефа поверхности: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.02.02 / С.В. Савчук; Объедин. ин-т машиностроения НАН Беларуси. — Минск, 2019. — 23 с.
13. Копирование рельефа почвы без механического контакта при удалении картофельной ботвы / Н.В. Бышов [и др.] // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского гос. аграрного ун-та. — 2013. — № 90(06).

14. Канделя, М.В. Устройство для автоматического копирования рельефа поля жаткой / М.В. Канделя, П.А. Шилько, Р.Р. Фатхуллин // Вестн. Приамурского гос. ун-та им. Шолом-Алейхе-ма. — 2016. — № 1(22). — С. 18–24.
15. Гидравлический привод подъемного устройства уборочно-го модуля сельскохозяйственной машины: пат. BY 22334 / В.В. Подрез, И.В. Волков, Н.В. Шиш. — Оpubл. 28.02.2018.
16. Шинделов, А.В. Влияние взаимного положения жатки и на-клонной камеры на технологический процесс работы зер-ноуборочного комбайна: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / А.В. Шинделов; Новосибирский гос. аграрный ун-т. — Новосибирск, 1999. — 15 с.
17. Устройство для автоматического копирования рельефа поля жаткой: пат. RU 2529576 / М.В. Канделя, Н.М. Канделя, П.А. Шилько, А.М. Емельянов, В.Н. Рябченко, П.В. Тихон-чук, С.В. Щитов. — Оpubл. 27.09.2014.
18. Crop harvesting machine with variable header float: pat. US 20200077585 A1 / J.P. Garbald, J.T. Dunn, G.M. Lever-ick, R.G. Lyons, B.R. Shearer, N.G. Barnett. — Publ. date: 12.03.2020.
19. Crop machine with an electronically controlled hydraulic cy- linder flotation system: pat. US 10617059 B2 / J.T. Dunn, G.M. Leverick, R.G. Lyons, B.R. Shearer, K.E. Boch. — Publ. date: 14.04.2020.

JASAU Dzmitry V.

Leading Design Engineer – Head of the Sector of Design and Research Department of Dynamics, Durability, Analytical Reliability

E-mail: kiodpan@gomselmash.by

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

Received 21 July 2023.

OVERVIEW AND CLASSIFICATION OF COPYING SYSTEMS OF FIELD SURFACE IN DESIGNS OF HARVESTING AGRICULTURAL MACHINES

The article presents the description, principle of operation and formulates basic function of copying systems of field surface of harvesting agricultural machines. The review of existing counterbalancing mechanisms and copying systems of field surface used in the designs of harvesting agricultural machines is made, their advantages and disadvantages are highlighted. According to the results of the review of designs of various copying systems, the classification of these systems is proposed, and the structural relationship is described, which makes it possible to characterize various designs of copying systems in a general way.

Keywords: counterbalancing mechanism, copying system, pneumohydraulic accumulator, spring, lever mechanism, agricultural machine

DOI: <https://doi.org/10.46864/1995-0470-2023-4-65-5-15>

References

1. Dolgov I.A. *Uborochnye selskokhozyaystvennyye mashiny (konstruktziya, teoriya, raschet)* [Harvesting agricultural machines (construction, theory, calculation)]. Rostov-on-Don, ITs DGTU Publ., 2003. 707 p. (in Russ.).
2. Ustinov A.N. *Zernouborochnye mashiny* [Grain harvesters]. Moscow, Akademiya Publ., 2003. 128 p. (in Russ.).
3. Laryushin N.P. *Selskokhozyaystvennyye mashiny (razdel “Zernouborochnye kombayny”)* [Agricultural machines (section “Combine harvesters”)]. Penza, RIO PGSKhA Publ., 2011. 243 p. (in Russ.).
4. Ozherelev V.N. *Sovremennyye zernouborochnye kombayny* [Modern combine harvesters]. Moscow, Kolos Publ., 2009. 175 p. (in Russ.).
5. Kotov A.V., Chuprynin Yu.V. *Primenenie vektornogo analiza pri proektirovanii rychazhnykh mekhanizmov* [Application of vector analysis in the design of lever mechanisms]. *Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii “Nauchno-tehnicheskii progress v selskokhozyaystvennom proizvodstve”* [Proc. International scientific and practical conference “Scientific and technological progress in agricultural production”]. Minsk, 2007, vol. 2, pp. 32–37 (in Russ.).
6. Jasov D.V., Konyavskiy A.D., Shantyko A.S., Chuprynin Yu.V. *Matematicheskaya model mekhanizma uravnoveshivaniya i podema kosilki-plyushchilki rotatsionnoy* [Mathematical model of themechanism for balancing and lifting the rotary windrower]. *Aktualnye voprosy mashinovedeniya*, 2020, iss. 9, pp. 27–30 (in Russ.).
7. Jasov D.V. *Optimizatsiya parametrov mekhanizmov podema i uravnoveshivaniya adaptera kosilki samokhodnoy* [Optimization of parameters of lifting and balancing mechanisms of the adapter of the self-propelled mower]. *Tezisy dokladov 3-ey Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii “Innovatsionnyye tekhnologii v agropromyshlennom komplekse — segodnya i zavtra”* [Abstracts of papers of the 3rd International scientific and practical conference “Innovative technologies in the agro-industrial complex — today and tomorrow”]. Gomel, 2019, pp. 83–84 (in Russ.).
8. Rekhliitski O.V., Chuprynin Yu.V. *Matematicheskoe opisaniye sistemy uravnoveshivaniya adapterov mobilnoy kormouborochnoy mashiny s primeneniem pnevmogidroakkumulyatora* [A mathematical formulation of mobile forage harvester adapters balance system with hydropneumatic accumulator application]. *Mechanics of machines, mechanisms and materials*, 2014, no. 1(26), pp. 40–48 (in Russ.).

9. Khropakov D.I., Jasov D.V., Podrez V.V. Matematicheskoe modelirovanie gidromekhanicheskoy sistemy kopirovaniya kormoborochnogo kombayna [Mathematical modeling of the hydro-mechanical copying system of a forage harvester]. *Tezisy dokladov 3-y Mezhduнародной nauchno-prakticheskoy konferentsii "Innovatsionnye tekhnologii v agropromyshlennom komplekse — segodnya i zavtra"* [Abstracts of papers 3rd International scientific and practical conference "Innovative technologies in the agro-industrial complex — today and tomorrow"]. Gomel, 2019, pp. 81–82 (in Russ.).
10. Strok E.Ya., Belchik L.D., Ananchikov A.A., Aleksandrova T.L. Postroenie aktivnoy sistemy kontaktnogo kopirovaniya relefa polya [Building active contact system of field relief copying]. *Aktualnye voprosy mashinovedeniya*, 2018, iss. 7, pp. 115–120 (in Russ.).
11. Strok Ye.Ya., Belchik L.D., Vaschula A.V., Zakharov A.V. Beskontaktnoe kopirovanie relefa poverkhnosti polya rabochimi organami selkhoz mashin s ispolzovaniem akusticheskikh metodov [Non-contact copying of the field surface topography by agricultural machinery tools with the use of acoustic methods]. *Tractors and agricultural machinery*, 2012, vol. 79, no. 6, pp. 35–40. DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-69391> (in Russ.).
12. Savchuk S.V. Povyshenie kachestva funktsionirovaniya elektrogidravlicheskogo privoda rabochikh organov mobilnykh mashin pri beskontaktnom kopirovanii relefa poverkhnosti. Avtoref. diss. kand. tekhn. nauk [Improving the quality of functioning of the electrohydraulic drive of the working bodies of mobile machines with contactless copying of the surface relief. Extended Abstract of Ph. D. Thesis]. Minsk, 2019. 23 p. (in Russ.).
13. Byshov N.V., Gorokhova M.N., Byshov D.N., Zagorodniy O.S., Gorokhov A.A. Kopirovanie relefa pochvy bez mekhanicheskogo kontakta pri udalenii kartofelnoy botvy [Contactless method of copying the relief of the soil when you delete a potato haulm]. *Scientific journal of KubSAU*, 2013, no. 90(06). Available at: <http://ej.kubagro.ru/2013/06/pdf/19.pdf> (in Russ.).
14. Kandelya M.V., Shilko P.A., Fathullin R.R. Ustroystvo dlya avtomaticheskogo kopirovaniya relefa polya zhatkoy [The device for automatic contour following the header field]. *Vestnik Priamurskogo gosudarstvennogo universiteta im. Sholom-Aleykhema*, 2016, no. 1(22), pp. 18–24 (in Russ.).
15. Podrez V.V., Volkov I.V., Shish N.V. Gidravlicheskii privod podemnogo ustroystva uborochnogo modulya selskokhozyaystvennoy mashiny [Hydraulic drive of the lifting device of the harvesting module of the agricultural machine]. Patent BY, no. 22334, 2018 (in Russ.).
16. Shindelov A.V. Vliyaniye vzaimnogo polozeniya zhatki i naklonnoy kamery na tekhnologicheskii protsess raboty zernoborochnogo kombayna. Avtoref. diss. kand. tekhn. nauk [Influence of the relative position of the harvester and the inclined chamber on the technological process of the combine harvester. Abstract of Ph. D. Thesis]. Novosibirsk, 1999. 15 p. (in Russ.).
17. Kandelya M.V., et al. Ustroystvo dlya avtomaticheskogo kopirovaniya relefa polya zhatkoy [Device for automatic copying of the field relief with a header]. Patent RU, no. 2529576, 2014 (in Russ.).
18. Garbald J.P., et al. Crop harvesting machine with variable header float. Patent US, no. 20200077585A1, 2020.
19. Dunn J.T., et al. Crop machine with an electronically controlled hydraulic cylinder flotation system. Patent US, no. 10617059B2, 2020.