

## АГРЕГАТИРОВАНИЕ УНИВЕРСАЛЬНОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СРЕДСТВА С АДАПТЕРАМИ



По известным причинам универсальные тракторы плохо приспособлены к агрегатированию со сложными уборочными машинами.

Поэтому тракторные агрегаты, в том числе и комбинированные составляют из малофункциональных одного или двух-трех адаптеров, в которых отсутствует необходимость передавать технологический продукт из одного адаптера в другой.

В широко применяемых узкоспециализированных самоходных сельскохозяйственных комбайнах, выполняющих сложный технологический процесс, недостатки тракторных агрегатов устранены. Однако из-за ограниченного агротехническими сроками времени работы таких агрегатов сложные и дорогостоящие подсистемы общего назначения (двигатель, движитель, пост управления, гидросистема и др.) используются незначительное время, что существенно снижает их эффективность.

Поэтому конструкторы всегда стремились к устранению недостатков и объединению преимуществ тракторных и самоходных агрегатов, путем реализации идеи использования хорошо приспособленного к агрегатированию со сложными уборочными машинами

*В.А. ШУРИНОВ,  
Генеральный конструктор  
по зерноуборочной  
и кормоуборочной технике  
«Гомсельмаша»*

универсального энергетического средства (УЭС) с системой сменяемых адаптеров различного назначения и различных типов (прицепных, толкаемых и т.д.) в различных сочетаниях и компоновках.

Одной из наиболее трудоемких проблем при проектировании таких агрегатов является проблема агрегатирования УЭС и адаптеров. Анализ показывает, что для эффективного использования УЭС их годовая нагрузка должна составлять не менее 700-800 часов, для чего необходимо иметь не менее 4-5 адаптеров, например, для кошения трав, заготовки измельченных кормов, зерновых культур и сахарной свеклы. Агрегат, составленный из адаптеров и УЭС, соединенных между собой механизмами агрегатирования, в общем случае представляет собой «поезд», который в структурном отношении представляет некоторую кинематическую цепь звеньев, опирающихся на почву и соединенных между собой шарнирами с упругими и другими силовыми элементами, которые обеспечивают заданные нагрузки на ходовые устройства и перераспреде-

ляют весовые нагрузки на их оси.

До настоящего времени проектирование механизмов такого поезда, да и то простейшего, проводилось в следующей последовательности: располагались адаптеры, прочерчивались механизмы агрегатирования, затем делался поверочный и силовой анализ, то есть выполнялся поверочный расчет. Если результаты расчета оказывались неудовлетворительными, то производилось корректирование схемы цепи и повторный расчет. Эти процедуры повторялись до тех пор, пока не получались удовлетворительные результаты.

В связи с усложнением агрегатов, необходимостью перераспределения весовых нагрузок на их оси и выбора вариантов, возникла настоятельная потребность в единой методике синтеза механизмов агрегатирования (МА) и межадаптерных транспортирующих устройств (МТУ), которая позволит решать задачу агрегатирования не методом проб и ошибок, а по разработанному алгоритму.

Созданная методика базируется на применении разработанных автором универсальных обобщенных структурной и силовой моделей механизмов агрегатирования УЭС с адаптерами.

УЭС с адаптерами к нему представляет собой сложную кинематическую цепь в различных отношениях: структурном, кинематическом, силовом, динамическом. Поэтому обобщенная структурная модель агрегата должна удовлетворять целому ряду требований.

С целью сокращения потерь за адаптером и повышения качества его работы рабочие элементы адаптера (зубья, ножи, подъемники, лемехи, диски, рыхлители и др.) должны иметь возможность копирования рельефа поля на различной высоте.

Отклонения рельефа поля от номинальной опорной плоскости колес энергетического средства могут быть значительными — до нескольких сот миллиметров, поэтому копирующая часть адаптера, например жатки, должна иметь возможность вращения вокруг своих продольной и поперечной осей. Рабочие элементы адаптера

могут быть установлены на копирующей рельеф поля части адаптера жестко или с возможностью автономного копирования.

Поскольку копирующая часть адаптера должна копировать рельеф поля на различной высоте, включая нулевую (скольжение по почве), а также выполнять роль «прокосчика», то установка опорных колес в габаритах копирующей части адаптера затруднительна. Копирующая часть адаптера не должна оказывать значительного давления на почву. Для этого сила тяжести этой части адаптера должна быть уравновешена реакциями связей с последующей частью адаптера или энергетическим сред-

рассматривать как полунавесной с равнодействующей реакцией на опорные элементы (в статике), равной силе тяжести всего адаптера.

На основании изложенного можно сделать вывод: в общем случае агрегат с адаптерами должен представлять собой разомкнутую кинематическую цепь шарнирно соединенных тел, частично опирающихся на опорные элементы и связанных между собой механизмами, перераспределяющими реакции между указанными опорными элементами.

На рис. 1 изображена одна из возможных обобщенных структурных моделей агрегатирования энергетического средства с адаптерами,

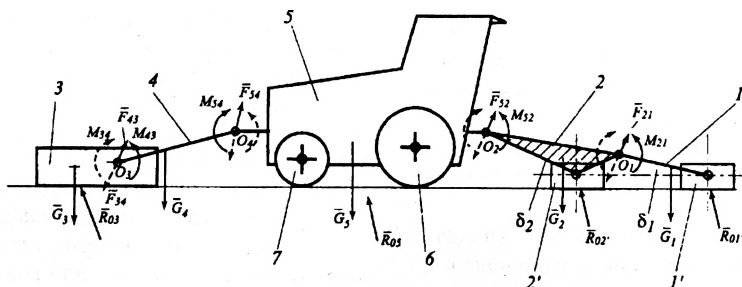


Рис. 1. Универсальная обобщенная структурная модель механизмов агрегатирования УЭС с адаптерами зерноуборочного комбайна.

ством, что равносильно перераспределению реакций между опорными элементами агрегата. Остальная часть адаптера — базовая — может быть полунавесной или навесной на энергетическое средство. При этом навесной вариант может рассматриваться как полунавесной с реакцией на опорные элементы, равной нулю. С целью уменьшения амплитуды поворота копирующей части адаптера относительно базовой последняя часть адаптера также должна быть выполнена копирующей почву в продольном и поперечном направлениях. Для этого она должна иметь свои опорные элементы — колеса, башмаки. С целью уменьшения нагрузки на эти опорные элементы, сила тяжести всего адаптера, в свою очередь, должна быть уравновешена в той или иной части с помощью реакции связей с энергетическим средством. Это может быть полезным и в том случае, когда для установки опорных элементов максимальной грузоподъемности, равной силе тяжести всего адаптера, нет или имеется недостаточное по размерам пространство.

Возможен также и прицепной вариант адаптера, который можно

отвечающая требованиям к общей схеме, механизмам уравновешивания и обобщенной схеме ходовых устройств, соответствующая зерноуборочному агрегату. Она включает копирующую часть 1 переднего адаптера — жатку; ее базовую часть 2, которая также является копирующей рельеф поля, и соответствует молотилке; прицепной адаптер 3, соответствующий блоку очистки с бункерами зерна и половы, и энергетическое средство 5.

Как видно, универсальная обобщенная структурная модель механизмов агрегатирования может быть представлена разомкнутой кинематической цепью твердых тел звеньев, в виде ползунков и шатунов различной длины и наклоненных под разными углами к горизонту, образующих группы Ассур II. Ползун здесь отображает опорный элемент (башмак или колесо), шатун — типовой адаптер, а шарниры сочленения адаптеров между собой и с УЭС являются их мгновенными центрами вращения, к которым приведены главные векторы  $\bar{F}_i$  и главные моменты  $M_i$  от сил тяжести адаптеров, реакций почвы на опорные элементы и реакций связей. Реакции

почвы на эти опорные элементы являются равнодействующими, проходящими через их шарниры и от вида статически определимых ходовых устройств не зависят. Следует обратить также внимание на то, что шарниры  $O_2$  и  $O_4$  являются воображаемыми, условными. Это мгновенные центры вращения адаптеров 2 и 4 относительно стойки энергетического средства, каждый из которых имеет свою траекторию движения — центроиду. Местоположение шарниров  $O_2$  и  $O_4$  и их центроиды, как известно, определяются видом и параметрами механизмов навесных устройств. Эти механизмы могут выполняться различными, но они должны обеспечивать взаимодействие с почвой под углами давления, не превышающими допускаемых значений, во избежание сгущения почвы перед ними и для уменьшения сил сопротивления движению. И во всех случаях полученные выше главные векторы  $\bar{F}_i$  и главные моменты  $M_i$  будут входными данными для проектирования этих механизмов.

Универсальная обобщенная модель механизмов агрегатирования может быть усложнена путем присоединения дополнительных групп.

Силы тяжести адаптеров  $\bar{G}_1, \bar{G}_2, \bar{G}_3, \bar{G}_4$  и энергетического средства  $\bar{G}_5$ , реакции почвы на опорные элементы (ползуны)  $\bar{R}_{01}, \bar{R}_{02}, \bar{R}_{03}, \bar{R}_{05}$ . Главные векторы  $\bar{F}_{21}, \bar{F}_{52}, \bar{F}_{43}, \bar{F}_{54}$  и главные моменты  $M_{21}, M_{52}, M_{43}, M_{54}$  реакций указанных механизмов, реактивные главные векторы  $\bar{F}_{12}, \bar{F}_{25}, \bar{F}_{34}, \bar{F}_{45}$  и главные моменты  $M_{12}, M_{25}, M_{34}, M_{45}$ . Несложно перейти к различным частным случаям, структурного, кинематического и силового анализа для оформления общей компьютерной программы.

Алгоритм силового анализа обобщенной схемы сложного агрегата, например зерноуборочного агрегата, проработанного на базе универсального энергетического средства «Полесье-250»,

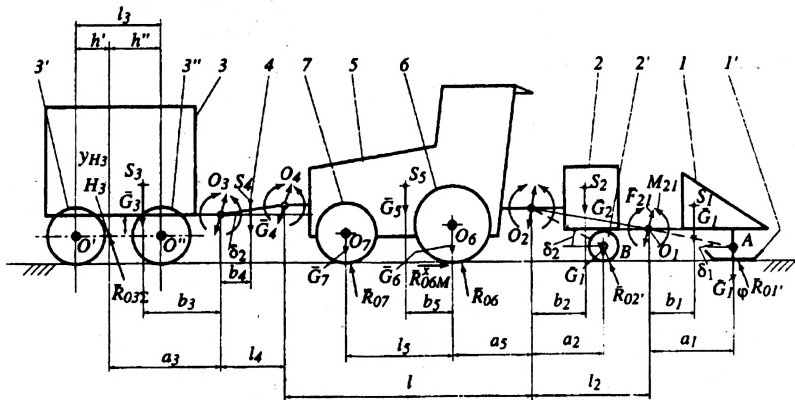


Рис. 2. Обобщенная силовая схема агрегата.

1 — передний копирующий адаптер; 2 — базовый передний копирующий адаптер; 3 — прицепной двухосный адаптер; 4 — прицепное звено; 5 — энергетическое средство; 6 и 7 — колеса энергетического средства.

выглядит следующим образом:

1. Составляют схему расположения адаптеров относительно энергетического средства в масштабе  $\mu$  (рис. 2). Для этого наносят упрощенные контуры адаптеров, башмака и колес.

2. Выбирают положения мгновенных центров вращения адаптеров.

3. Обозначают размеры, наносят векторы сил тяжести  $G$ , реакций почвы  $\bar{R}$ , главные векторы  $\bar{F}$  и главные моменты  $M$  реакций внешних связей.

4. Вычерчивают силовые схемы каждого из адаптеров и энергетического средства, вводят системы координат с началом в точках  $O_1, O_2, O_3$  и  $O_6$  и горизонтальными и вертикальными осями  $\chi$  и  $\gamma$  и разлагают векторы сил по этим осям.

В результате выполнения пунктов 1-4 получается обобщенная кинематическая и силовая схема агрегата в целом, параметры которого (размеры колес, положения центров  $O'$  и  $O''$ , распределение нагрузок по осям колес и др.) уточняются по результатам силового анализа.

Преобразование обобщенной структурной модели (рис. 1) в принципиальную должно проводиться последовательно по группам Ассур. Принципиальная схема должна вычерчиваться в масштабе. При этом звенья 1, 2, 3, 4 следует изображать схематично в виде адаптеров, опорные элементы — ползуны — необходимо заменять шарнирными башмаками или колесами. Если необходи-

мо, реакцию почвы на ползун можно заменить двумя параллельными составляющими, проходящими через оси колес и таким образом заменить, например, задний ползун двухосной четырехколесной тележкой 3.

Далее, если адаптер является коромыслом, то можно осуществить синтез механизма уравнивания по главному вектору и главному моменту его реакций на адаптер при условии, что центром приведения является, например, шарнир  $O_1$ .

В том случае, если адаптер является шатуном и его мгновенным центром вращения является точка  $O_2$ , то можно осуществить синтез шарнирного рычажного механизма навесного устройства и по найденным главному вектору —  $F_2$  и главному моменту  $M_2$  определить реакции в кинематических парах этого механизма, а также определить параметры упругого элемента и дополнительных групп Ассур.

На рис. 3 в качестве примера приведена принципиальная схема механизмов агрегатирования агрегата как результат преобразования универсальной структурной модели, изображенной на рис. 1.

Звенья структурной модели изображены пунктирными линиями,

ползуны заменены башмаком и одноосным и двухосным колесными устройствами, шатуны — изображениями корпусов адаптеров, а мгновенные центры вращения  $O_1, O_2, O_3, O_4$  — реальными шарнирами и механизмами для воспроизведения главных моментов реакций, введены механизмы уравнивания сил тяжести, содержащие пружины.

Одной структурной схеме может соответствовать большое количество различных принципиальных схем — все зависит от особенностей рабочих процессов, выполняемых адаптерами, от компоновки рабочих органов, от условий работы ходовых устройств, от вида механизмов уравнивания и навески. Однако структурная схема будет общей, распределение нагрузок на оси будет соответствовать заданному, то есть методика их расчета остается единой. Кроме того, появится возможность систематизации и классификации структурных и принципиальных схем, что важно для сравнения и отбора лучших схем, а также для учебных целей.

На рис. 3 изображены коромысловый и шатунный механизмы соединения и копирования, а также простейшие механизмы уравнивания в виде пружин, соединенных с имеющимися звеньями. Однако силовые устройства (гидроцилиндры и их дополнительные группы Ассур) не показаны. Они могут быть подсоединены позже по различным схемам. Таким образом, любая обобщенная схема агрегата может быть преобразована в принципиальную схему по заданным условиям.

Рамки данной статьи не позволяют изложить созданную автором методику анализа и синтеза межадаптерных транспортирующих устройств, проектирование которых также является непростой задачей, так как создаваемые конструкторами, без применения подоб-

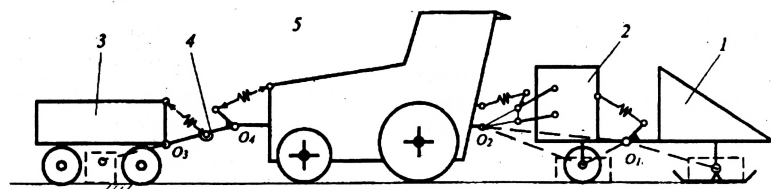


Рис. 3. Развитие обобщенной структурной модели механизмов агрегатирования в принципиальную схему.

ной методики, межадаптерные транспортирующие устройства отличались сложностью, большим весом, некорректностью в структурном отношении и приводили к случаям повреждения технологического продукта. Разработка общей теории синтеза межадаптерных транспортирующих устройств как научной основы их создания и оптимизации является частью

теории научных основ агрегатирования универсального энергетического средства с адаптерами в различных компоновках.

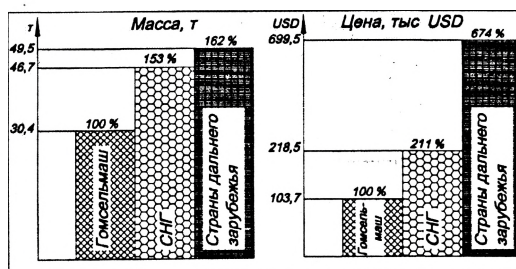
В ГСКБ ПО «Гомсельмаш» с 1987 по 1997 гг. были разработаны 18 агрегатов на базе универсального энергетического средства «Полесье-250», из которых четыре серийно выпускаются в ПО «Гомсельмаш»:

- кормоуборочный с полунавесным кормоуборочным комбайном КПК-3000;
- сеноуборочный с фронтальной роторной косилкой-плющилкой КПП-6;
- свеклоуборочный с шестирядным полунавесным свеклоуборочным комбайном КСН-6;
- зерноуборочный КЗР-10 «Полесье-Ротор».

Эффективность от использования уборочных агрегатов на базе универсального энергетического средства представлена в таблице

Наименование комплекса машин	Комплексы машин								
	Стран СНГ			Стран дальнего зарубежья			На базе УЭС-2-250А		
	Масса, т	Цена, тыс. USD	Затраты на уборку USD/т, или USD/га	Масса, т	Цена, тыс. USD	Затраты на уборку USD/т, или USD/га	Масса, т	Цена, тыс. USD	Затраты на уборку USD/т, или USD/га
Зерноуборочный	Дон-1500Б			Мега-218			КЗР-10 **		
	13,3	55,0	36,8	14,6	163,1	84,1	17,4	69,9	28,5
Кормоуборочный	Дон-680			Ягуар-840			КПК-3000		
	13,5	53,1	1,8	14,3	180,8	5,6	5,2	13,3	0,9
Свеклоуборочный	КС-6Б+ОГД-2+БМ-6Б			Холмер			КСН-6+ППК-6		
	13,3	76,2	-	15,4	300,0	-	5,2	14,9	-
Сеноуборочный	Дон-800			Е-303			КПР-6		
	6,6	34,2	-	5,2	55,6	-	2,6	5,6	-
Итого	46,7	218,5	38,6	49,5	699,5	89,7	30,4	103,7	29,4
	(153%)	(211%)	124,7	(162%)	(674%)	233,0	(100%)	(100%)	44,7

Примечания: \*) Цены по состоянию на февраль 2000 г.  
\*\*) Включая УЭС-2-250А.



Серийно выпускаемые ПО «Гомсельмаш» уборочные комплексы на базе УЭС-2-250А в сравнении с аналогичными по назначению и производительности зарубежными самоходными машинами имеют меньшие суммарную конструктивную массу, стоимость и удельные затраты на уборку соответственно в 1,5...1,6; 2,1...6,7 и 1,3...5,2 раза.

## СИСТЕМЫ АКТИВНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ – КЛАСС АВТОМОБИЛЬНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Одной из важнейших проблем мирового автомобилестроения было и остается повышение безопасности автотранспортных средств. Решение этой комплексной задачи во многом возложено на сравнительно недавно сформировавшийся класс систем активной безопасности (САБ), которые имеют черты мехатронных и интеллектуальных объектов, т.е. систем, которые имеют как минимум одну ключевую, механически выполняемую функцию и поддерживаются в своей работе одним или более электронными устройствами, а также способных распознать текущую ситуацию, произвести оценку и спрогнозировать протекание процессов в цепи «водитель — автомобиль — дорога» для выбора оптимальной последовательности и динамики управляющих воздействий.

Выделение САБ в отдельный класс устройств во многом объясняется тем, что это одна из первых автомобильных систем, которая бази-

В.Г. БУТЫЛИН

руется на синергетических принципах, начиная от философии регулирования [1] и до конструктивного исполнения.

Тормозная система современного автомобиля, наряду с решением традиционных задач (уменьшение скорости, вплоть до его полной остановки, либо удержание автомобиля на месте), используется системами активной безопасности для обеспечения устойчивости и управляемости путем регулирования параметров сцепления колеса с дорогой, активно взаимодействуя при этом с другими компонентами автомобиля как в тормозном, так и в тяговом режиме.

Таким образом, роль тормозного привода автомобиля качественно меняется — он может выступать и самостоятельной системой управления, и «подсистемой», объектом управления системы более высокого порядка, рис. 1.

Рассмотрим вариант САБ тормозного и тягового режимов (рис. 1в) на примере функционирования антиблокировочно-противобуксовочной системы (АБС/ПБС), предназначенной для обеспечения нормативных требований по эффективности торможения, устойчивости и управляемости, а также для улучшения динамики разгона на дорогах с низким и переменным коэффициентом сцепления.

Основными элементами АБС/ПБС (рис. 2) являются: датчики угловой скорости колеса, модуляторы тормозного давления, элементы управления режимами работы двигателя и процессорный модуль управления (ПМУ).

В рабочем режиме ПМУ постоянно анализирует поступающую с колесных датчиков информацию, производит необходимые расчеты и выдает команды на исполнительные элементы. В режиме диагностики и в рабочем режиме ПМУ производит