

ТЕОРИЯ, КОНСТРУИРОВАНИЕ, ИСПЫТАНИЯ

УДК 631.312.004

Соединение энергетического и транспортно-технологического модулей МЭС в пахотном агрегате

В целях повышения эффективности использования тракторов класса 2 проведены исследования пахотных агрегатов на их основе в сочетании с транспортно-технологическим модулем (ТТМ), повышающим тяговое усилие агрегата до 40 кН и более. Сочетание трактора высокой энергонасыщенности с ТТМ, предложенное и разработанное НПО НАТИ и ГСКБ МТЗ, получило название модульного энерготехнологического средства (МЭС).

ТТМ 4 (рис. 1) изготовлен на базе задней полурамы и ведущего заднего моста трактора Т-150К. Передняя часть рамы ТТМ снабжена поворотным (посредством вертикального шарнира 3) кронштейном 2, который присоединен в трех точках к тягам заднего навесного механизма энергетического модуля 1. Вертикальный шарнир 2 обеспечивает угловую подвижность ТТМ относительно трактора в пределах $\pm 30^\circ$. Механизм блокировки состоит из двух гидроцилиндров с системой управления (на рис. 1 не показан).

Для присоединения навесных и полунавесных сельхозмашин ТТМ оснащен навесным механизмом (от трактора Т-150К) с двухточечной наладкой, имеющим возможность поперечного смещения.

При маневрировании и разворотах агрегата в конце гона необходимость

в угловой подвижности ТТМ относительно энергетического модуля не вызывает сомнений. Целесообразность такой подвижности при движении на гоне, особенно в случае поперечного смещения равнодействующей тягового сопротивления сельхозмашины от продольной оси энергосредства (характерного, например, для пахотных агрегатов), требует изучения.

Цель статьи — обоснование способа соединения энергетического и транспортно-технологического модулей МЭС в составе пахотных пяти- и шестикорпусных агрегатов.

Лабораторно-полевые исследования пахотного МТА на основе макетного образца МЭС проводили в опытном хозяйстве Южного отделения УкрНИИМЭСХ на взлущенной стерне озимой пшеницы. Влажность почвы в горизонте 10–15 см составила 12,5%, а твердость — 2,96 МПа. В процессе исследований МЭС агрегатировали с навесным пятикорпусным (ПЛН-5-35) и полунавесным шестикорпусным (ПЛН-6-35) плугами при двухточечной схеме наладки навесного механизма ТТМ. Колея (1570 мм) и ширина шин (16,9") колес МЭС позволяют присоединять к нему плуг ПЛН-6-35 симметрично. Расстояние от наружной части колеса ТТМ до стенки борозды при этом составляет 125 мм.

Пятикорпусный плуг присоединить к

Д-р техн. наук Г. М. КУТЬКОВ (МИИСП), канд. техн. наук Е. В. ГАБАЙ (НПО НАТИ), инж. Л. М. ЛУКЕРЧИК (ГСКБ по универсальным пропашным тракторам), канд. техн. наук В. Д. ЧЕРЕПУХИН, инж. В. Т. НАДЫКТО (ЮО УкрНИИСХОМ)

МЭС с такими параметрами ходовой системы можно только асимметрично путем его правостороннего смещения. В данном случае это смещение, при расстоянии от наружной части колеса ТТМ до стенки борозды 150 мм, составило 100 мм. Крюковую нагрузку изменяли настройкой плугов на два уровня глубины обработки: 25 и 27 см. Движение пахотных агрегатов исследовали на трех передачах. Измеряли: тяговое сопротивление плуга, скорость поступательного движения пахотного агрегата, курсовой угол φ и угол α поворота направляющих колес энергетического модуля, угловое отклонение β в горизонтальной плоскости плуга относительно продольной оси ТТМ, часовой расход топлива, частоту вращения задних колес энергетического модуля, ширину захвата пахотного агрегата.

Тяговое сопротивление шестикорпусного плуга измеряли с помощью тензопроставки конструкции ВИСХОМ. Для измерения тягового сопротивления пятикорпусный плуг дополнительно оборудовали шарнирно закрепленной на нем рамкой, в передней части соединенной с механизмом навески ТТМ, а в задней — через измерительный элемент — с рамой с.х. орудия. В качестве измерительного элемента использовали тензометрическое тяговое звено конструкции ВИСХОМ с диапазоном измерений 0–40 кН.

Для определения скорости движения пахотного МТА применяли путеизмерительное колесо, а курсового угла — гиropolукомпас ГПК-52, установленный в зоне расположения центра масс энергетического модуля. Переменный ток напряжением 36 В и частотой 400 Гц, необходимый для питания ГПК-52, вырабатывался преобразователем ПТ-70.

Для измерения углов поворота управляемых колес и плуга исполь-

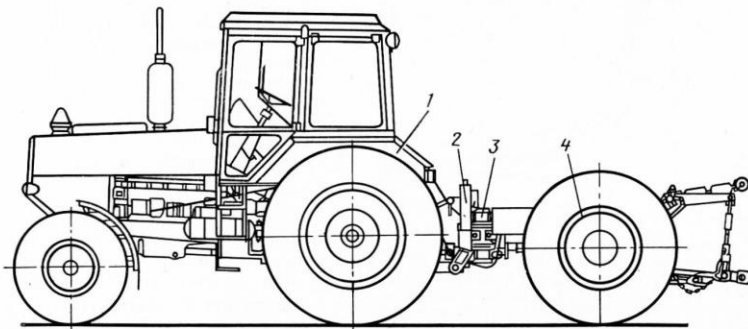


РИС. 1. Модульное энерготехнологическое средство (обозначения в тексте)

зовали реохордные датчики СП-36 группы А. Датчик угла поворота плуга устанавливали на оси пальца, соединяющего левую нижнюю тягу навесного механизма ТТМ с ее одноименной головкой, а управляемых колес — на левом рукаве корпуса переднего моста МЭС.

Частоту вращения колес измеряли с помощью индукционных отметчиков оборотов, смонтированных в токосъемниках ТРАК-6. Часовой расход топлива определяли объемным методом с использованием расходомера ИП-151 конструкции КубНИИТМ.

Все указанные параметры одновременно регистрировались на ленте осциллографа К-20-22.

Вследствие переменного тягового сопротивления рабочих органов плуга на его раму действует переменный разворачивающий момент, который вызывает угловые (в горизонтальной плоскости) отклонения β рамы плуга относительно рамы ТТМ. В связи с этим основное возмущающее воздействие со стороны плуга на МЭС в горизонтальной плоскости представляет собой разворачивающий момент, образованный двумя составляющими: постоянной и переменной. Первая вызвана поперечным смещением навесного механизма относительно рамы ТТМ, а вторая — колебанием равнодействующей тягового сопротивления плуга и угловым отклонением его относительно продольной оси ТТМ в горизонтальной плоскости.

Это возмущающее воздействие вызывает курсовые отклонения φ энергетического модуля от заданного направления движения, которые в конечном счете устраняются водителем за счет поворота направляющих колес (управляющих воздействием) на угол α .

Чем реже вмешательство водителя для корректировки направления движения агрегата, тем ниже производительные затраты энергии и расход топлива. Этого можно добиться снижением чувствительности агрегата к возмущающим воздействиям и повышением ее при управляющем воздействии водителя.

По отношению к МЭС в качестве входного возмущающего воздействия рассматривали угловое отклонение β плуга относительно продольной оси ТТМ, а в качестве выходной переменной — курсовое отклонение φ энергетического модуля от заданного направления движения.

В результате обработки экспериментальных данных (реализаций α , β и φ) установлено, что в диапазоне изменения скорости от 5,1 до 9,36 км/ч математические ожидания и средние квадратические отклонения параметров α , β , φ не зависят от скорости движения. Определенные закономерности наблюдаются

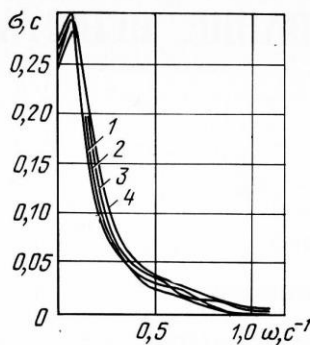


РИС. 2. Нормированные спектральные плотности σ реализаций угла поворота управляемых колес энергетического модуля при вспашке с различной скоростью движения, км/ч: 1 — 5,8; 2 — 6,8; 3 — 7,7; 4 — 9,3

только в характере изменения нормированных спектральных плотностей их реализаций. Так, с увеличением скорости движения эффективная полоса частот рассматриваемых случайных процессов несколько расширяется, хотя и остается в низкочастотной области (частота среза менее 1,5–2 с⁻¹). Максимумы спектральных плотностей при этом уменьшаются с одновременным незначительным смещением в сторону более высоких частот ω внешних воздействий (рис. 2–5).

Эффективная полоса частот случайного процесса $\varphi(t)$ в случае незаблокированного вертикального шарнира ТТМ и агрегатирования с пяти- и шестикорпусным плугами (см. рис. 4 и 5) шире эффективных полос частот случайных процессов $\alpha(t)$ и $\beta(t)$ (см. рис. 2 и 3).

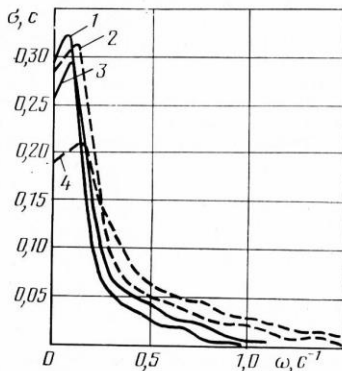


РИС. 3. Нормированные спектральные плотности σ реализаций угла поворота пятикорпусного (—) и шестикорпусного (---) плугов при движении пахотных агрегатов с различной скоростью, км/ч: 1 — 6; 2 — 5,5; 3 — 7,5; 4 — 6,4

Более широкая эффективная полоса частот случайного процесса $\varphi(t)$ в сравнении со случайным процессом $\alpha(t)$ означает недостаточную курсовую устойчивость пахотного агрегата при незаблокированном вертикальном шарнире ТТМ. При более же узкой эффективной полосе частот случайного процесса $\varphi(t)$ в сравнении с процессом $\alpha(t)$ имела бы место недостаточная чувствительность пахотного агрегата к управляющему воздействию водителя. Как известно, только в случае одинакового характера структуры случайных процессов входной и выходной переменных обеспечивается удовлетворительная точность реакции динамической следящей системы на управляющее воздействие.

Этому требованию в наибольшей степени отвечает пахотный агрегат на основе МЭС с заблокированным вертикальным шарниром ТТМ. В этом случае характер изменения спектральных плотностей угла поворота управляемых колес (см. рис. 2) и курсового угла (см. рис. 4 и 5) примерно одинаков: максимумы нормированных спектральных плотностей приходится на частоты 0,08–0,12 с⁻¹, основная доля спектра дисперсий находится в интервале 0–0,8 с⁻¹, а частота среза равна 0,6–0,8 с⁻¹. По отношению к возмущающему воздействию (см. рис. 3) эффективная полоса частот угла φ несколько уже.

Следует отметить, что движение МЭС с незаблокированным вертикальным шарниром ТТМ характеризуется постоянным угловым отклонением между продольными осями энергетического и транспортно-технологического модулей. Это соответствующим образом сказывается на энергетических показателях агрегата. Анализ экспериментальных данных показал, что блокировка вертикального шарнира ТТМ позволяет уменьшить буксование движителей МЭС (в относительных величинах) при агрегатировании с пятикорпусным плугом на 8–15%, а с шестикорпусным на 18–20%. Часовой расход топлива снижается соответственно на 2–5 и 4–6%.

Снижение курсовой устойчивости движения пахотного агрегата при незаблокированном вертикальном шарнире ТТМ, возникновение в этом случае постоянного углового отклонения между продольными осями ТТМ и энергетического модуля отрицательно отражаются не только на энергетических показателях, но и на агротехническом — стабильности ширины захвата.

Существенность различий в степени вариации ширины захвата оценивали при помощи F-критерия Фишера для 5%-ного уровня значимости.

В результате дисперсионного анализа установлено, что нулевую гипотезу

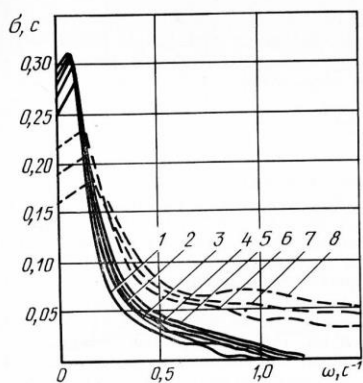


РИС. 4. Нормированные спектральные плотности σ реализаций курсового угла энергетического модуля МЭС при движении с заблокированным (—) и свободным (---) вертикальным шарниром ТТМ в агрегате с пятикорпусным плугом на различных скоростях движения, км/ч: 1 — 6; 2 — 6,4; 3 — 7,3; 4 — 8,5; 5 — 9,2; 6 — 7,7; 7 — 9,1; 8 — 9,3

тезу о равенстве сравниваемых дисперсий следует отвергнуть.

Блокировка вертикального шарнира ТТМ позволяет уменьшить дисперсию ширины захвата пахотного агрегата при работе МЭС с пятикорпусным плугом в 1,92, а с шестикорпусным — в 4,4 раза (табл. 1).

Таблица 1

Показатели	МЭС+ +ПЛН-5-35	МЭС+ +ПЛН-6-35
Рабочая скорость, км/ч	9/9	6,3/6,4
Среднее значение ширины захвата, см	176/176,3	211,6/213,3
Среднее квадратическое отклонение ширины захвата, см	5,4/3,9	6,7/3,2
Дисперсия ширины захвата, см ²	29,2/15,2	44,9/10,2

Примечание. В числителе приведены значения показателей при свободном, а в знаменателе — при заблокированном вертикальном шарнире ТТМ.

Трудоёмкость составления любого МТА зависит от продолжительности маневрирования задним ходом энер-

гетического средства при присоединении к сельхозмашине. В силу особенностей конструктивной схемы МЭС можно предположить, что продолжительность маневрирования во многом зависит от состояния вертикального шарнира ТТМ.

Для решения поставленной задачи проведены специальные исследования, в ходе которых сравнивали трудоёмкость присоединения оборудованного автосцепкой плуга к МЭС (при различных состояниях вертикального шарнира ТТМ) и к трактору Т-150К.

В результате установлено, что блокировка шарнира ТТМ позволяет снизить продолжительность подъезда МЭС к с.х. орудью в 2,7 раза, а суммарную трудоёмкость составления агрегата — в 1,47 раза (табл. 2).

Таблица 2

Энергетическое средство	Трудоёмкость проводимых операций, чел.-ч	Суммарная трудоёмкость, чел.-ч
Т-150К	0,0027/0,0072	0,0099
МЭС с шарниром ТТМ:		
незаблокированным	0,0078/0,0075	0,0153
заблокированным	0,0029/0,0075	0,0104

Примечание. В числителе приведены значения трудоёмкости операции подъезд к плугу, в знаменателе — присоединение плуга.

При заблокированном шарнире ТТМ трудоёмкость составления агрегатов на базе сравниваемых энергетических средств практически одинакова.

При маневрировании и разворотах агрегата в конце гона вертикальный шарнир должен быть разблокирован. В этом случае обеспечивается необходимая угловая подвижность ТТМ в горизонтальной плоскости относительно трактора в пределах $\pm 30^\circ$. Минимальный радиус поворота МЭС с ТТМ составляет 5,5—5,9 м.

Сравнительные показатели манев-

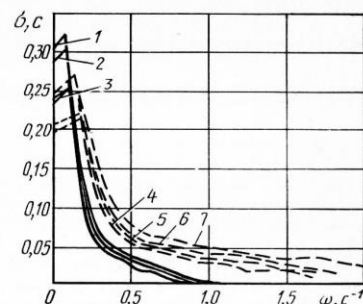


РИС. 5. Нормированные спектральные плотности σ реализаций курсового угла энергетического модуля МЭС при движении с заблокированным (—) и свободным (---) вертикальным шарниром ТТМ в агрегате с шестикорпусным плугом на различных скоростях, км/ч: 1 — 5,1; 2 — 5,5; 3 — 6,2; 4 — 4,5; 5 — 5; 6 — 6; 7 — 6,4

ренности пятикорпусных пахотных агрегатов на основе МЭС и Т-150К приведены в табл. 3.

Таблица 3

Показатели	МЭС+ +ПЛН-5-35	Т-150К+ +ПЛН-5-35
Коэффициент использования рабочих ходов	0,89	0,91
Среднее время одного поворота	38	36
Ширина поворотной полосы	12	9

По показателям маневренности МЭС незначительно уступает трактору Т-150К, несмотря на то что габаритная длина МЭС с ТТМ (7320 мм) значительно больше, чем трактора Т-150К (5965 мм). Эта разница предопределила увеличение ширины (с 9 до 12 м) поворотной полосы для пахотного агрегата на основе МЭС.

На основании изложенного следует, что для повышения эффективности использования МЭС в составе пахотного агрегата оно должно быть оборудовано устройством, автоматически блокирующим вертикальный шарнир ТТМ при движении на гоне и маневрировании задним ходом.