

УДК 629.366

*М. А. БОЙКАЧЁВ, старший преподаватель, А. О. ШИМАНОВСКИЙ, кандидат технических наук, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель; А. С. ДОБЫШЕВ, доктор технических наук, Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, г. Горки*

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ ДВИЖЕНИЯ УНИВЕРСАЛЬНОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СРЕДСТВА «ПОЛЕСЬЕ» С НАВЕСНОЙ ЕМКОСТЬЮ ДЛЯ ЖИДКОСТИ

Выполнен экспериментальный анализ динамических параметров универсального энергетического средства с агрегатом для внесения жидких минеральных удобрений и пестицидов. Особенностью выполненных испытаний является анализ влияния относительного перемещения жидкого груза в транспортном резервуаре на устойчивость его движения. Установлено, что при объеме емкости, не превышающем 1 м<sup>3</sup>, параметры прямолинейного движения сельскохозяйственной машины не ухудшаются по сравнению со случаем отсутствия навески.

**К**омплексное использование сельскохозяйственной техники модульного типа, в основе которой лежат мощные универсальные энергетические средства (УЭС), такие как УЭС-2-250 (280) «Полесье», с различными агрегатами-адаптерами, представляет собой перспективное направление в развитии сельскохозяйственного машиностроения. Связано это со значительным экономическим эффектом, обусловленным снижением металлоемкости парка сельскохозяйственной техники и увеличением годовой ее загрузки [1, 2].

В настоящее время ПО «Гомсельмаш» располагает рядом агрегатов, способных работать в модуле с УЭС, из которых шесть являются серийными [1].

Предлагается вариант создания комбинированного агрегата, включающего агрегат для внесения жидких минеральных удобрений и пестицидов ОВУ-6ЖП либо другой со специальным устройством для регулирования ширины их внесения, УЭС-2-250 и вертикально-роторную борону БНР-6 с пневматической сеялкой СПУ-6 или любой другой. В рассматриваемом случае агрегат с жидкостью, расположенный со стороны управляемых колес, выполняет роль дополнительного противовеса, а также позволяет при посеве зерновых культур уменьшить число проходов УЭС и тем самым снизить степень уплотнения почвы под колесами.

Однако динамические свойства машины с агрегатом для жидкости недостаточно изучены, что связано с относительным перемещением транспортируемого груза внутри емкости. При эксплуатации УЭС должна быть обеспечена не только его прочность, но и продольная, и поперечная устойчивость при прямолинейном движении и в повороте [3, 4]. В литературе удалось найти информацию об анализе динамики УЭС только с твердотельными агрегатами [1, 5]. В нашей работе [6] решена задача по созданию математической модели для анализа устойчивости прямолинейного движения УЭС с емкостью для жидкого груза. Для подтвер-

ждения полученных ранее результатов возникла необходимость проведения экспериментов.

**Технические условия эксперимента.** Местом проведения испытаний выступил СПК «Спартак» Шкловского района Могилевской области.

В качестве объекта эксперимента выступало универсальное энергосредство УЭС-2-250А «Полесье» № 1057 2002 г. изготовления в агрегате с бороной навесной БНР-6, комплектом противовесов массой 500 кг и агрегатом для внесения удобрений предпосевной обработки с баком емкостью 400 л (рисунок 1).



Рисунок 1 – Общий вид агрегата для внесения удобрений

Для определения динамических характеристик исследуемого агрегата использовали портативный анализатор спектра Larson-Davis 2900 (рисунок 2). Прибор предназначен для измерения общих и корректированных уровней вибрации, звука, акусти-

ческой интенсивности и других динамических параметров. Это позволяет использовать его для виброакустической доводки машин и агрегатов, научных исследований, при проездных испытаниях, в системах калибровки и поверки шумовиброизмерительных приборов и датчиков.



Рисунок 2 – Портативный анализатор спектра Larson-Davis 2900

Большая память прибора способна вместить в стандартной конфигурации почти тысячу 1/3-октавных спектров. Причем запись в память может вестись как вручную, так и автоматически, со скоростью до 400 спектров в секунду. Порт RS-232 обеспечивает подключение анализатора к персональному компьютеру, а порт Centronix – к стандартным матричным, струйным или лазерным принтерам для распечатки копий экрана и таблиц данных. С помощью внешнего дисковода полученные результаты можно копировать также на 3,5-дюймовую дискету.

Работа анализатора спектра Larson Davis 2900 осуществлялась при температуре окружающего воздуха от 5 до 10 °С. Испытания были сведены к измерению ускорений на раме агрегата для внесения удобрений в вертикальном и поперечном (рисунок 3) направлениях и в различных режимах движения УЭС:

- разгон по прямой;
- торможение по прямой;
- вход в поворот;
- движение по радиусу;
- разгон в повороте;
- торможение в повороте.

Измерения проводились при движении по асфальту и по стерне с полным, заполненным на 60 %, что соответствует наибольшим динамическим эффектам, связанным с перемещением жидкости (рисунок 4), и пустым баком.

В ходе экспериментов фиксировались значения виброускорений в точках рамы УЭС и на консоли, на которой был установлен бак с жидкостью, что позволило провести в общей сложности 30 циклов измерений, результаты которых были записаны в отдельные файлы. Полный перечень проведенных

испытаний приведен в таблице 1. Предварительный анализ построенных графиков зависимостей ускорения от времени показал, что в процессе движения имеет место наложение низкочастотных колебаний агрегата и высокочастотных колебаний, обусловленных работой двигателя, причем амплитуды обоих видов колебаний сопоставимы по величине.



Рисунок 3 – Расположение датчика на раме агрегата для внесения удобрений в вертикальном и поперечном направлениях



Рисунок 4 – Резервуар с колеблющейся жидкостью

На рисунках 5, а и 6, а приведены характерные графики зависимостей виброускорений от времени для двух опытов, в которых анализировались соответственно вертикальные и поперечные колебания агрегата.

Таблица 1 – Параметры испытаний емкости

№ эксперимента	Уровень заполнения, %	Режим движения	Установка датчика
1	100	Разгон	Консоль
2	100	"	"
3	100	"	Рама
4	100	Торможение	"
5	100	"	Консоль
6	100	"	"
7	100	Разгон с поворотом	Горизонталь
8	100	Разгон	"
9	100	Остановка с поворотом	"
10	100	Вход в поворот	Вертикаль
11	100	Разгон	"
12	100	Торможение	"
13	60	Разгон	"
14	60	Торможение	"
15	60	Торможение, большие неровности	"
16	60	Вход в поворот	"
17	60	"	Горизонталь
18	60	"	"
19	60	Съезд с дороги	"
20	60	"	Вертикаль
21	0	Разгон	"
22	0	Торможение	"
23	0	Вход в поворот	"
4	0	"	Горизонталь
25	0	Проезд по стерне	Вертикаль
26	0	Разгон	"
27	0	Торможение	"
28	0	Правый поворот	Горизонталь
29	0	Левый поворот	"
30	0	Правый поворот	"

Если на графиках вертикальных ускорений достаточно хорошо просматривается периодический характер движения, то изменение поперечных ускорений выглядит происходящим в значительной мере хаотически. Поэтому было решено провести анализ спектров рассматриваемых колебаний с помощью быстрого преобразования Фурье (БПФ).

Применение БПФ выявило наличие всплесков амплитуд колебаний при частотах 1; 20; 40 Гц (рисунки 7 и 8). В связи с наличием высокочастотных помех, которые наиболее сильно проявили себя при измерении горизонтальных перемещений навески, появилась необходимость дополнительной обработки результатов испытаний.

Нами было выполнено численное интегрирование полученных экспериментальных данных с целью нахождения зависимостей от времени скорости и координат места измерения. Несмотря на предварительное определение нулевого значения ускорения, оказалось, что оно вычислено с некоторой погрешностью. Об этом свидетельствует тот факт, что линейная аппроксимация полученной временной зависимости имеет достаточно большой угол наклона к горизонтали, соответствующий

ошибке при определении нулевого значения ускорения. Вероятно, названная погрешность была обусловлена изменением температуры прибора в процессе измерения. Поэтому были получены откорректированные значения скоростей с учетом погрешности нуля прибора. На рисунках 5, б и 6, б представлены зависимости скоростей от времени, соответствующее ранее представленным зависимостям виброускорений УЭС с навешенной емкостью для жидкости, заполненной на 60 %.

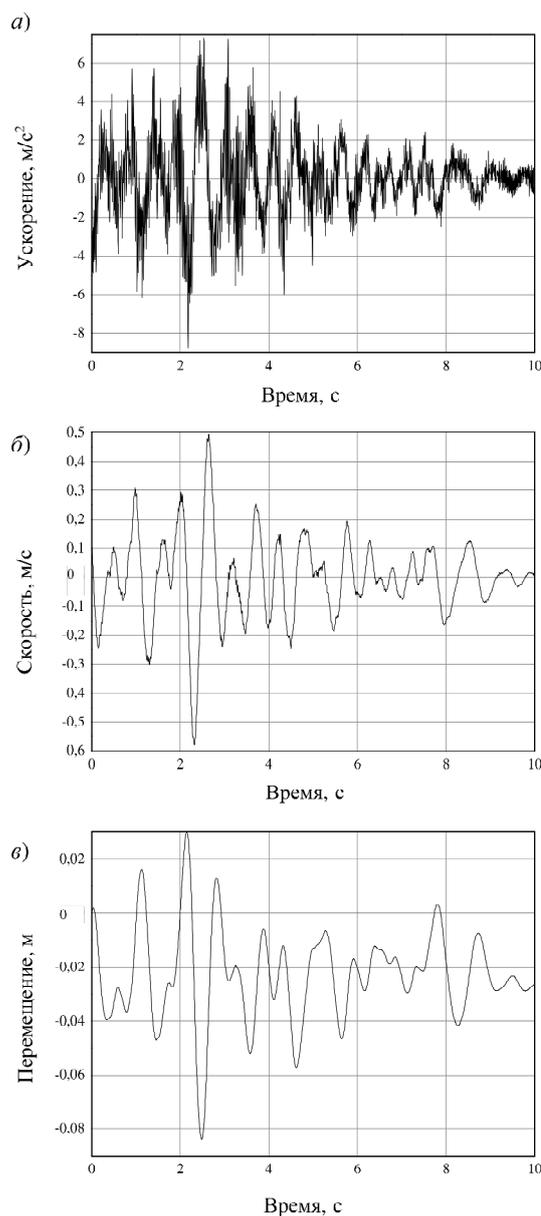


Рисунок 5 – Графики ускорения, скорости и перемещения, соответствующие эксперименту № 14

Аналогично было выполнено повторное интегрирование с целью нахождения значений виброперемещений. На рисунках 5, в и 6, в представлены соответствующие графики перемещения для случая, рассмотренного выше. В отличие от графиков виброускорений на графиках виброперемещений хорошо просматривается колебательный процесс.

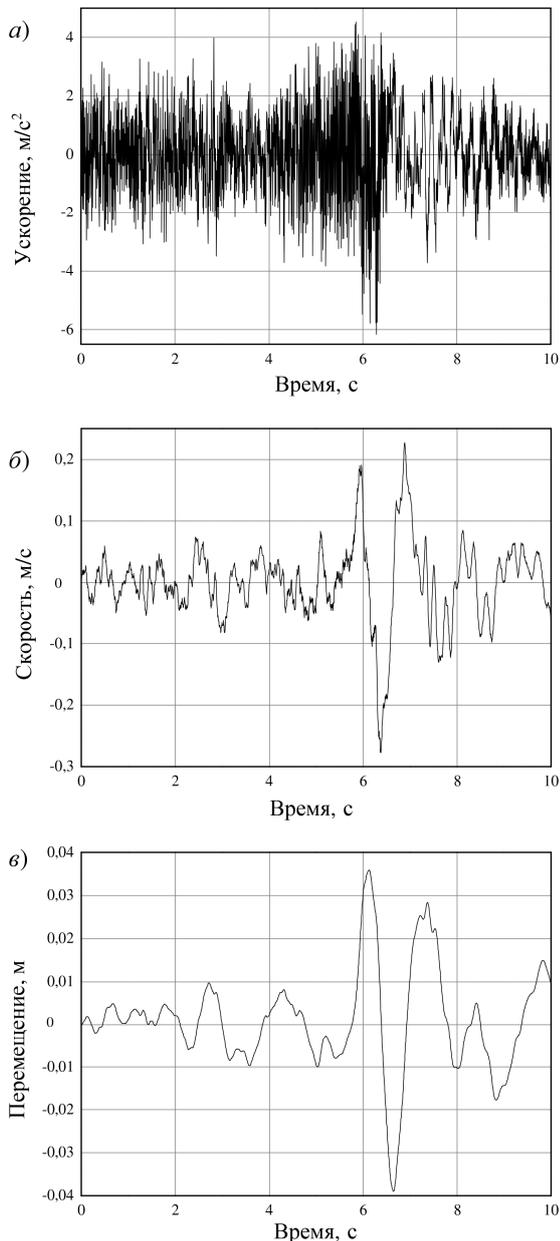


Рисунок 6 – Графики ускорения, скорости и перемещения, соответствующие эксперименту № 18

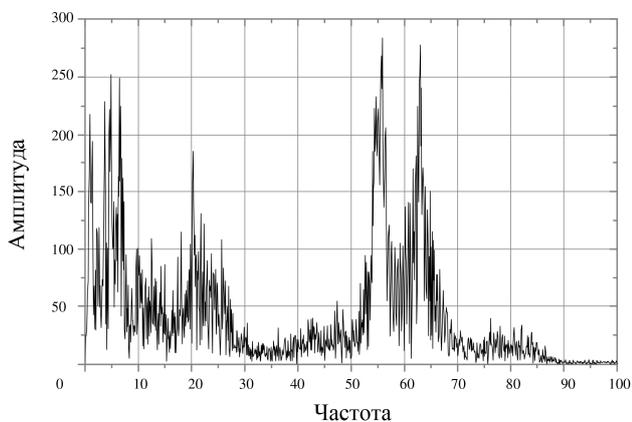


Рисунок 7 – Амплитудно-частотная характеристика для эксперимента № 18

Перемещение точки, в которой был установлен датчик, представляют собой результат сложения

нескольких колебаний, происходящих с разными частотами. В связи с этим с использованием средств пакета программ OriginLab выполнена аппроксимация графика перемещений гармоническими функциями, что позволило получить значения частот колебаний конструкции и соответствующих им амплитуд.

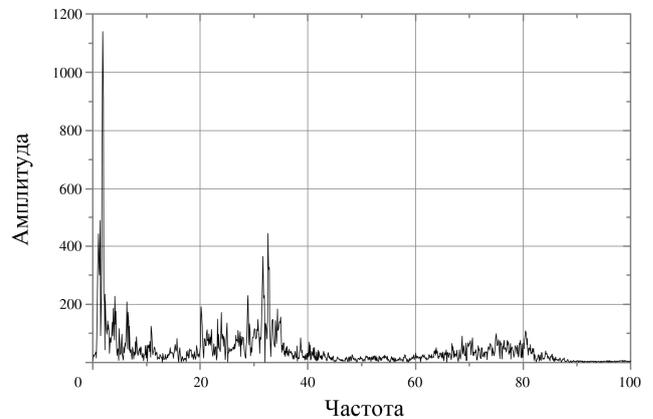


Рисунок 8 – Амплитудно-частотная характеристика для эксперимента № 14

На рисунке 9 приведен график зависимостей амплитуд собственных колебаний конструкции от частоты для ряда экспериментов при разных уровнях заполнения резервуара.

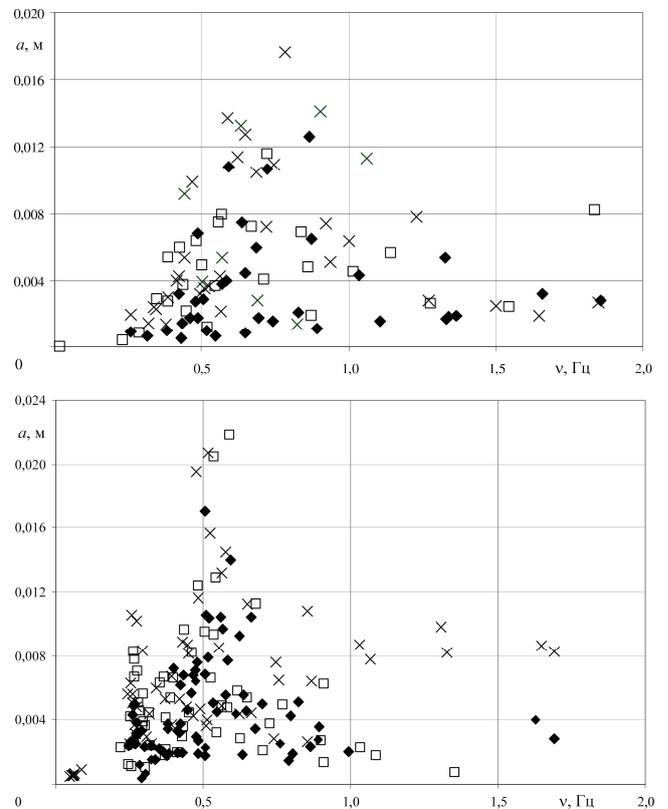


Рисунок 9 – График зависимостей амплитуд собственных колебаний конструкции от частоты при разных уровнях заполнения резервуара в горизонтальной и вертикальной плоскости:  
 ◆ – 100 % заполнение; □ – 60 % заполнение; × – пустой

Результаты выполненных исследований показали, что практически во всех экспериментах максимальные амплитуды колебаний наблюдаются при значениях частот, лежащих в диапазоне от 0,5 до 2 Гц. Именно этот диапазон частот соответствует периоду основной формы колебаний жидкости в резервуаре.

В дальнейшем было выполнено сравнение размахов колебаний для разных режимов движения УЭС и разных уровней заполнения резервуара при горизонтальном и вертикальном расположении измерительного датчика. На рисунке 10 нанесены точки, соответствующие рассчитанным результатам.

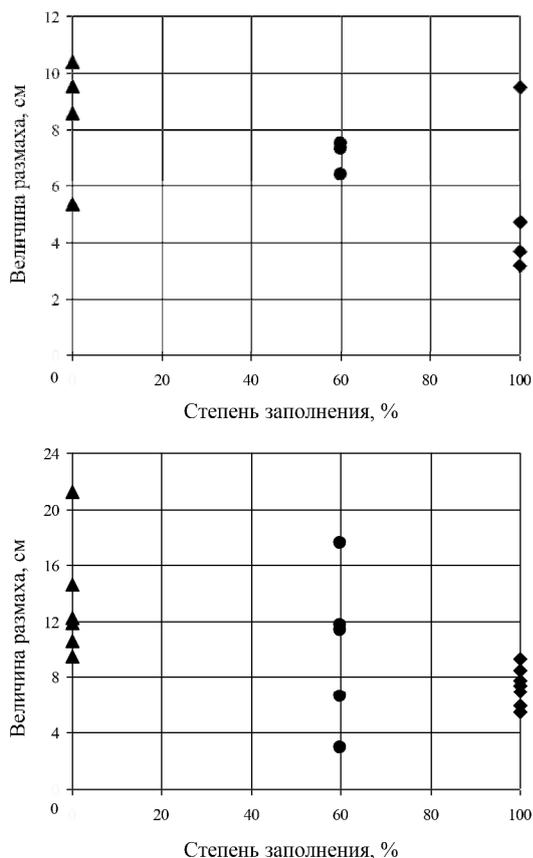


Рисунок 10 – График зависимостей размаха колебаний конструкции при разных уровнях заполнения резервуара в горизонтальной и вертикальной плоскости

Получено 01.03.2010

**M. A. Boikachev, A. O. Shimanovsky, A. S. Dobyshev.** Experimental analysis of stability of motion for "Polesje" all-purpose power vehicle with a hang-on tank for liquids.

The experimental analysis of the dynamic parameters for the all-purpose power vehicle with the device for liquid mineral fertilizers and pesticides application has been carried out. The objective of test operation is the relative motion of liquid consignment in transport tank - its motion stability analysis. It has been determined that if the tank capacity is up to 1 m<sup>3</sup> the parameters of the agricultural vehicle straight-line motion don't deteriorate as compared to the case when there is no hang-on tank.

Анализ размахов колебаний при разных уровнях заполнения резервуара показывает, что разброс их значений велик при полном и пустом баках и укладывается в достаточно небольшой диапазон при заполнении резервуара на 60 %. Такой результат свидетельствует о том, что колебания жидкости внутри емкости способствуют сглаживанию эффектов, возникающих при действии импульсных нагрузок, связанных, например, с наездом на неровности почвы.

**Выводы.** Таким образом, проведенный анализ показал, что установка резервуара на передней навеске УЭС в целом не ухудшает динамические качества транспортного средства. Выполненный ранее теоретический анализ также подтвердил, что при небольших размерах емкости нет необходимости в применении дополнительных средств, в частности, перегородок внутри резервуара для дополнительного гашения колебаний жидкости.

#### Список литературы

- 1 **Добышев, А. С.** Эффективность производства кормов из трав и грубостебельных культур : [монография] / А. С. Добышев, В. А. Шуринов. – Горки : БГСХА, 2005. – 144 с. – ISBN 985-467-132-1.
- 2 **Степук, Л. Я.** О повышении сменной производительности машин для внесения минеральных удобрений / Л. Я. Степук, В. В. Барабанов, Д. А. Крот // Агропанорама. – 2007. – № 4. – С. 36–39.
- 3 **Литвинов, А. С.** Автомобиль : Теория эксплуатационных свойств : учеб. для вузов / А. С. Литвинов, Я. Е. Фаробин. – М. : Машиностроение, 1989. – 240 с. – ISBN 5-217-00099-6.
- 4 **Литвинов, А. С.** Управляемость и устойчивость автомобиля / А. С. Литвинов. – М. : Машиностроение, 1971. – 416 с.
- 5 **Шуринов, В. А.** Основы агрегатирования универсального мобильного энергетического средства с адаптерами различного назначения : [монография] / В. А. Шуринов. – Гомель : ИММС НАНБ, 1999. – 392 с. – ISBN 985-6477-07-7.
- 6 **Шимановский, А. О.** Математическое моделирование устойчивости универсального энергетического средства «Полесье» с емкостью для жидких минеральных удобрений и пестицидов / А. О. Шимановский, А. С. Добышев, М. А. Бойкачев // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2008. – № 3. – С. 115–119.
- 7 Программное обеспечение Report XL. Инструкция пользователя. – М. : Октава – Электрон Дизайн, 2008. – 40 с.