

## ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕМПФИРУЮЩИХ СВОЙСТВ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО МОДУЛЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ТРАКТОРА

Кутков Г.М.<sup>1</sup>, Сидоров В.Н.<sup>2</sup>, Сидоров М.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», Москва, Россия (127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49), e-mail: gkutkow@mail.ru;

<sup>2</sup>Калужский филиал ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана», Калуга, Россия (248000, г. Калуга, ул. Баженова, 2), e-mail: sidorov.maxim.79@mail.ru

В последние годы отмечается тенденция повышения энергонасыщенности сельскохозяйственных тракторов с целью расширения их тягового диапазона и технологической универсальности. Чтобы эффективно использовать «излишек» мощности двигателя такого трактора, прибегают к его балластированию или применению третьего подкатного моста с приводом активных колес от ВОМ трактора. Авторами выявлены демпфирующие свойства применения третьего подкатного моста (транспортно-технологического модуля), которые снижают горизонтальные колебания, создаваемые силой сопротивления сельскохозяйственного орудия. Проведены лабораторно-полевые эксперименты с изготовленным опытным образцом транспортно-технологического модуля. Исследование проводилось при выполнении технологической операции рыхления почвы тяжелой дисковой бороной БДТ-10. Для регистрации данных, поступающих от датчиков, использовался аналогово-цифровой преобразователь фирмы National Instruments, представляющий собой блочно-модульную систему с несущим шасси с DAQ-9172, восемью слотами для модулей и USB-разъемом для подключения к ноутбуку. Анализ экспериментальных данных методами статистической динамики подтвердил, что транспортно-технологический модуль служит демпфирующим элементом, воспринимающим на себя наиболее существенную часть колебаний, возникающих в результате взаимодействия рабочего орудия с почвой.

Ключевые слова: лабораторно-полевые исследования, транспортно-технологический модуль, демпфирование, спектральная плотность, корреляционная функция.

## INVESTIGATION OF DAMPING PROPERTIES OF TRANSPORT-TECHNOLOGICAL MODULE FOR AGRICULTURAL TRACTORS

Kutkov G. M.<sup>1</sup>, Sidorov V.N.<sup>2</sup>, Sidorov M.V.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Russian state agricultural university, Moscow, Russia (127550, Moscow, Timiryazevskaya street, 49), e-mail: gkutkow@mail.ru;

<sup>2</sup>Bauman Moscow State Technical University Kaluga Branch, Kaluga, Russia (248000, Kaluga, Bazhenov street, 2), e-mail: sidorov.maxim.79@mail.ru

In recent years, there is a tendency of increasing energy saturation of agricultural tractors for the purpose of their traction extension range and technological versatility. To use effectively the excess power of the tractor ballasting is invoked or the third wheeled axle with PTO driven active wheels are applied. The authors have identified damping properties of the application of the third wheeled axle (transport-technological module), which reduce horizontal fluctuations generated by resistance power of agricultural tools. Laboratory and field experiments on prototype of the transport- technological module have been carried out. Studies have been made while performing the technological operation of loosening the soil with the BDT-10 heavy-duty disk harrow. To log the data coming from the sensors was used the NI Analog-to-Digital Converter constituting a modular system with the NI cQ-9172 monocoque chassis, eight slots for modules and USB connector for laptop. The analysis of the experiment results based on methods of statistical dynamics confirms that the transport- technological module serves as a damping element and undertakes the most significant part of the fluctuations resulting from interaction of the implement with the soil.

Key words: laboratory and field testing, transport-technological module, damping, spectral density, correlation function.

Основное назначение ТТМ состоит в создании дополнительной силы тяги за счет использования «излишка» мощности двигателя. Однако побочным его свойством является демпфирование горизонтальных колебаний, создаваемых силой сопротивления сельскохозяйственного орудия. Гашение колебаний осуществляется инерционностью массы

ТТМ, эластичностью пневматических шин колес, а также упругими свойствами соединительных устройств ЭМ+ТТМ и ТТМ+орудие. Исследование демпфирующих свойств ТТМ представляет большой интерес, потому что может существенно снижать динамическую нагрузку на трансмиссию и двигатель, а также повышать виброзащищенность тракториста [2]. Настоящая статья посвящена этому вопросу.

Для проведения физических опытов был изготовлен образец МЭС. Транспортно-технологический модуль, изготовленный на базе ведущего моста трактора Т-150К, соединен с трактором МТЗ-82 (энергетическим модулем), образуя модульное энерготехнологическое средство (МЭС). Привод колёс ТТМ осуществлялся через задний ВОМ трактора. Исследование демпфирующих свойств транспортно-технологического модуля проводилось при выполнении технологической операции рыхления почвы тяжёлой дисковой бороной БДТ-10.

Для регистрации данных, поступающих от датчиков, использовался аналогово-цифровой преобразователь фирмы National Instruments, представляющий собой блочно-модульную систему с несущим шасси с DAQ-9172, восемью слотами для модулей и USB-разъёмом для подключения к ноутбуку.

Длины реализаций по времени составляли 120 с, что соответствовало длине гона в 200 м с участками разгона и торможения. Шаг квантования составляет  $h = 0,0005$  с, частота дискретизации равнялась  $\Delta f = 2000$  Гц (рис. 1). Для реализаций тягового сопротивления орудия, тягового усилия на тракторе, крутящих моментов на задних ведущих осях трактора и осях ТТМ вычислены корреляционные функции и спектральные плотности [3; 4].

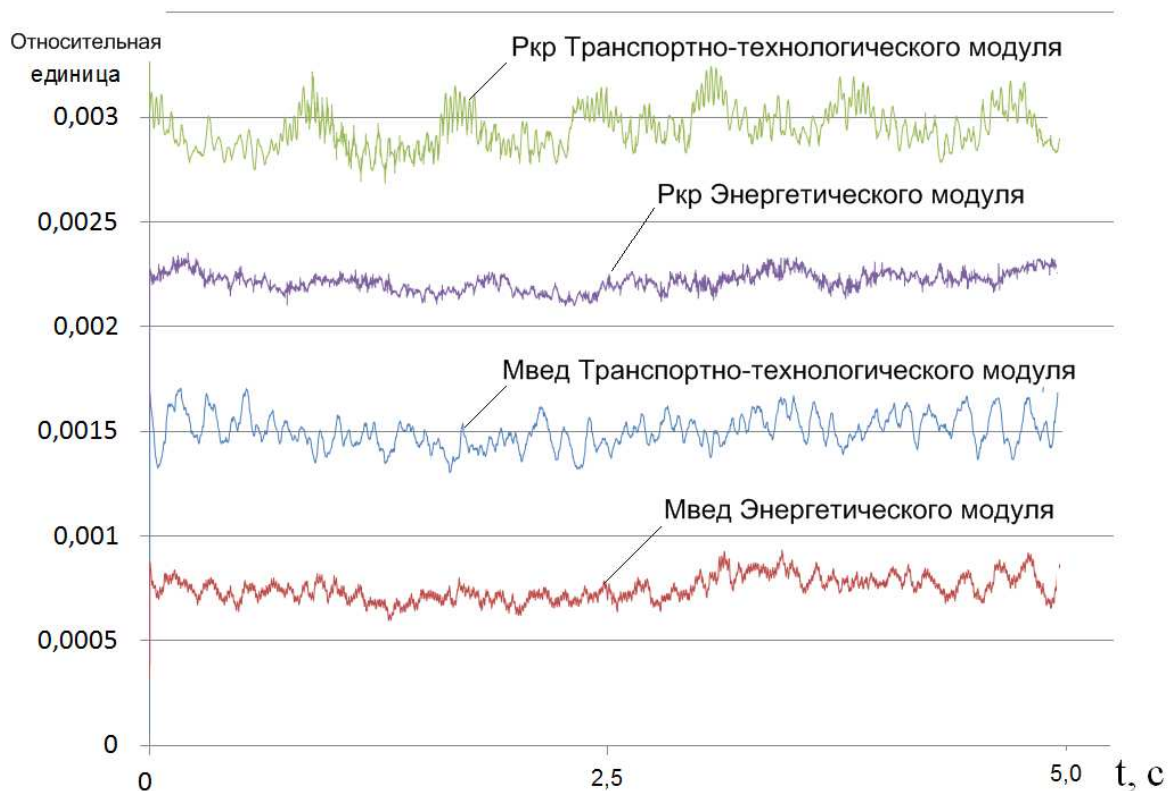


Рис. 1. Реализация горизонтальных составляющих усилий на крюке и крутящих моментов на осях ведущих колес транспортно-технологического модуля и энергетического модуля

Анализ реализаций горизонтальных составляющих усилий на крюке и крутящих моментов на осях ведущих колес транспортно-технологического модуля и трактора (рис. 1) позволяет отметить следующее. Горизонтальные колебания на навеске транспортно-технологического модуля значительно выше колебаний нагрузки на навеске трактора. Уменьшение вредного влияния неустановившейся нагрузки при выполнении машинно-тракторным агрегатом технологической операции позволяет снизить динамику нагружения полуосей трактора (рис. 1).

Для более глубокого анализа динамики процесса был применен аппарат теории стационарных случайных функций (корреляционный и спектральный анализ).

Спектральная плотность определялась по реализациям случайного процесса методом Уолша, который является усовершенствованием периодограммного метода, переводящего сигнал из временной области в частотную с помощью преобразования Фурье, по методике, предложенной Осиненко П.В. [5].

Оценки корреляционной функции вычислялись по выражению:

$$R_{xx}(mT_0) = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^{N-m+1} x(n) \cdot x(n+m-1), m = 1..N-1$$

о

где  $x_i$  - текущая центрированная ордината.

В анализируемых процессах наблюдаются четыре диапазона определяющих частот: 0...4, 5...8, 9...12 и 14...16 Гц. Максимальная спектральная плотность дисперсии процесса нагружения навески транспортно-технологического модуля наблюдается при частотах 5...6 Гц (рис. 2), а максимальная спектральная плотность дисперсии процесса нагружения навески трактора наблюдается при частотах 0...1 Гц, что говорит о стабилизации горизонтальной составляющей усилия на крюке. Этот вывод подтверждают нормированные корреляционные функции. Время спада корреляционной функции горизонтальной составляющей усилия на навеске трактора увеличилось до 1,5 с, в то время как на навеске транспортно-технологического модуля составляет 0,05 с.

Максимальная спектральная плотность дисперсии процесса нагружения полуоси транспортно-технологического модуля наблюдается при частотах 14...16 Гц (рис. 3), а максимальная спектральная плотность дисперсии процесса нагружения полуоси трактора наблюдается при частотах 0...2,5 Гц, что говорит о стабилизации крутящего момента на ведущих колесах трактора. Время спада корреляционной функции крутящего момента на полуоси трактора увеличилось до 0,6 с, в то время как на полуоси транспортно-технологического модуля составляет 0,03 с.

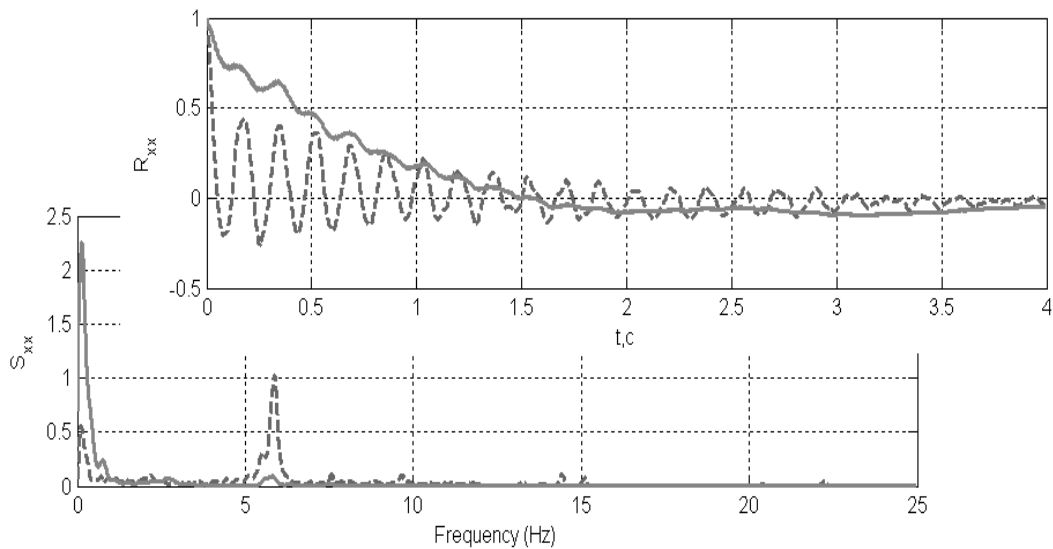
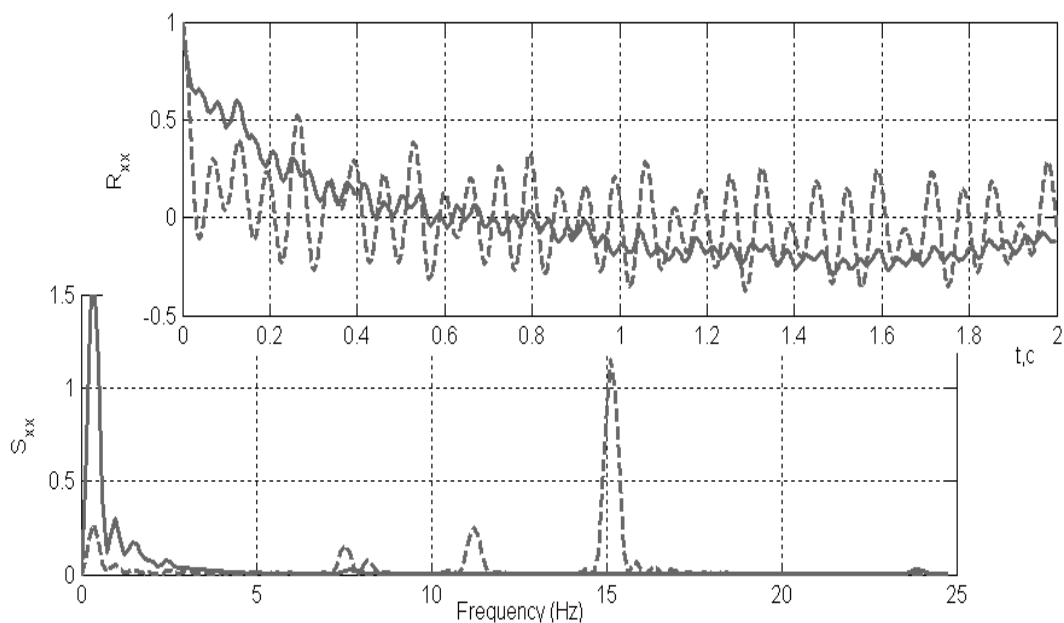


Рис. 2. Оценки статистических характеристик. Вверху нормированные оценки корреляционной функции, внизу нормированные оценки спектральной плотности:  
————— - усилий в нижних тягах навесного механизма трактора;  
----- - тягового сопротивления орудия



*Рис. 3. Оценки статистических характеристик. Вверху нормированные оценки корреляционной функции, внизу нормированные оценки спектральной плотности:*

————— - крутящего момента на заднем колесе трактора;  
 - - - - - крутящего момента на колесе ТТМ.

Проведенный анализ экспериментальных данных методами статистической динамики подтверждает, что транспортно-технологический модуль служит демпфирующим элементом, воспринимающим на себя наиболее существенную часть колебаний, возникающих в результате взаимодействия рабочего орудия с почвой.

### Список литературы

1. Кутьков Г.М. Тракторы и автомобили. Теория и технологические свойства. — М. : КолосС, 2004. - 505 с.
2. Надыкто В.Т. Основы агрегатирования модульных энергетических средств. – Мелитополь : КП «ММД», 2003. – 240 с.
3. Батоврин В.К., Бессонов А.С., Мошкин В.В., Папуловский В.Ф. LabView: практикум по основам измерительных технологий / под ред. В.К. Батоврина. - 2-е изд., переработ. и доп. – М. : ДМК Пресс, 2009.
4. Рогов В.А., Позняк Г.Г. Методика и практика технических экспериментов. — М. : Издательский центр «Академия», 2005.
5. Осиненко П.В. Совершенствование методики обработки данных испытаний наземных транспортных средств // Тракторы и сельхозмашины. – 2011. - № 7.- С. 19-22.

**Рецензенты:**

Бульчев В.В., д.т.н., доцент, декан конструкторско-механического факультета, профессор кафедры «Технологии сварки» Калужского филиала ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана», г. Калуга;

Корнюшин Ю.П., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Системы автоматического управления» Калужского филиала ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана», г. Калуга.