

УДК 633.2

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ТРАКТОРА И НАВЕСНОГО ОРУДИЯ В ПРОДОЛЬНО-ВЕРТИКАЛЬНОЙ ПЛОСКОСТИ

А.В.Вацула, зав. лабораторией

ГУ «Белорусская МИС»

Ключевые слова: трактор, навесное орудие, тяговое сопротивление, дифферент корпуса

Введение

При выполнении операций обработки почвы под воздействием силы тягового сопротивления и веса задненавешенного сельскохозяйственного орудия, а также при переезде неровностей рельефа корпус трактора приобретает дифферент, вызванный копированием местности и деформацией рессор подвески.

Ранее были изучены различные аспекты взаимодействия гусеничного трактора с навесными орудиями. Однако эти исследования были в основном теоретическими и касались либо взаимодействия трактора с плугами на переднем и заднем навесных устройствах только в продольно-горизонтальной плоскости [1,2], либо взаимодействия неподдрессоренного трактора с передненавешенным орудием [3], либо взаимодействия поддрессоренного трактора, но с задненавешенным орудием [4]. Целью же данной работы является экспериментальное исследование кинематики и динамики взаимодействия гусеничного трактора с индивидуальной подвеской и задненавешиваемого плуга в продольно-вертикальной плоскости.

Объектом исследований являлся пахотный агрегат, состоящий из трактора «Беларус 2103» и пятикорпусного плуга навесного марки ПНП-5-40 (производства ОАО «Оршаагропромаш»).

Задачей экспериментальных исследований являлось определение зависимости усилия в верхней тяге навесного устройства от дифферента корпуса трактора и высоты переезжаемой неровности рельефа при различном тяговом сопротивлении плуга, что в перспективе позволит разрабатывать системы автоматического регулирования.

Режим экспериментов – установившееся движение пахотного агрегата по ровной поверхности с последующим переездом неровностей рельефа различного профиля.

Исследования проводили на дерново-подзолистых почвах. Фон – стерня зерновых колосовых культур. Выбор участка испытаний проводили в соответствии с ГОСТ 20915-75 «Методы определения условий испытаний», согласно которому на участке, выбранном для испытаний, почва однородна по типу и составу, растительные остатки по своему составу и густоте распределения одинаковы. Физико-механические показатели почвы выбранного для эксперимента участка приведены в табл. 1.

Таблица 1. Физико-механические показатели

Показатели	Значение
Тип почвы и механический состав	Дерново-подзолистая, средний суглинок
Агрофон	Стерня зерновых
Рельеф	Ровный, с единичными неровностями
Влажность почвы, %, в слоях, см:	
0-10	28,3
10-20	26,4
20-30	25,9
Твёрдость почвы, МПа, в слоях, см:	
0-10	2,9
10-20	5,1
20-30	6,7

В ряде исследований [4-6] показано, что максимальная угловая раскочка корпуса гусеничного трактора достигается при переезде макронеровностей с длиной уклона, равной половине опорной поверхности гусеницы, а максимальные линейные колебания в продольно-вертикальной плоскости – при переезде множественных микронеровностей с расстоя-

нием между вершинами, равным расстоянию между катками трактора. Поскольку в настоящей работе рассматривается взаимодействие подрессоренного гусеничного трактора и навесных орудий при движении по макронеровности, то и экспериментальные исследования посвящены тому же вопросу. Исследования НАТИ показали, что предельным углом раскочивания трактора ДТ-75 можно считать $\varphi = 10-12^\circ$, тогда наступает отрыв передних катков. Отмечено, что обычно это бывает при въезде на неровности рельефа и съезде с них.

В соответствии с этим участок был разбит на три гона с ровным рельефом с распланированными единичными неровностями: по три разнотипные неровности на каждом гоне. Длина гона – 130 м, расстояния между неровностями – 20 м (т.е. превышает габаритные размеры МТА в несколько раз). Длина уклона единичных неровностей не превышала длины опорной поверхности гусеницы (2,3 м, не более). Регистрация проводилась во время проезда всей группы неровностей без перерывов.

Для исследования области факторного пространства при трех факторах была возможность задавать строго только один – горизонтальная составляющая тягового сопротивления R_x . Изменение этого фактора проводилось варьированием глубины вспашки.

Два других фактора (высоты $q_{пл}$ переезжаемой неровности и дифферент φ корпуса трактора) нестационарны и непрерывно меняются при переезде неровности. Поэтому были заданы диапазоны изменения этих факторов, причем диапазон изменения φ варьируется путем задания различных значений уклона i въезда на неровность. Значения R_x в кодированном и натуральном виде представлены в табл.2 и 3.

Таблица 2. Горизонтальная составляющая тягового сопротивления R_x

Факторы	Обозначение	Интервал варьирования	Уровни факторов		
			-1	0	+1
$P_{кр}$, кН	X_1	5	20	25	30

Таблица 3. Диапазоны варьирования факторов высоты неровности q и уклона i

Факторы	Обозначение	Диапазон варьирования					
		1		2		3	
		min	max	min	max	min	max
q , см	X_2	-30	+30	-40	+40	-50	+50
i , град	X_3	-10	+10	-13	+13	-7	+7

Для измерения параметров использовалась информационно-измерительная система, состоящая из малогабаритной измерительной аппаратуры MGC-plus с переносным ПК, установленной в кабине трактора. Усилие в верхней тяге заднего навесного устройства T_{CD} измерялось посредством тензометрических датчиков, наклеенных на тяге, с учетом компенсации изгибающих моментов, и соединенных по полумостовой схеме.

Нагрузка на крюке $P_{кр}$ замерялась посредством тензометрической автосцепки конструкции Беяка К.Т., широко используемой при энергооценке МТА. Угол дифферента корпуса трактора при движении МТА измерялся центральной гирвертикалью ГВЦ-2. Для определения высоты преодолеваемой неровности использовалось специальное устройство, представляющее собой опорное колесо, через рычаг соединённое с потенциометрическим датчиком. При наезде на неровность колесо смещалось относительно корпуса, через тягу поворачивая при этом подвижный контакт датчика. Сигнал через усилитель поступал на регистрирующее устройство.

Первым этапом обработки полученных экспериментальных данных выступает расчет приращений по формулам:

$$\varphi_j^{\Delta} = \varphi_j - \varphi_{j-1}, j = 1 \dots n$$

$$q_{пл}^{\Delta j} = q_{плj} - q_{плj-1}, j = 1 \dots n$$

$$T_{CDj}^{\Delta экс} = T_{CDj}^{\Delta экс} - T_{CDj-1}^{\Delta экс}, j = 1 \dots n$$

Приращение угла наклона рамы задненавесного орудия:

$$\Delta w_j = \frac{c_{Ap}^{\Delta} + q_{плj}^{\Delta}}{c_{Ap} + l_{пл}}$$

Приращение угла наклона результирующей силы тягового сопротивления определяется по формуле:

$$\Delta u_j = \operatorname{atg} \frac{R_{xj}^{\text{тн}} \sin \Delta w_j (l_{Ap} + r_{AB} \cos \bar{b}_{AB})}{2R_{xj-1}^{\text{тн}} a_p}$$

Оценка согласия между теоретическими значениями приращений $T_{CDj}^{\Delta теор}$ и соответствующими экспериментальными $T_{CDj}^{\Delta экс}$ проводилась с применением программного пакета Statistica 7. Для проверки вычислялись критерии Пирсона, Спирмена и Кендалла.

Таблица 4. Оценка существенности различий между экспериментальными и теоретическими приращениями T_{CD}^{Δ} усилия в верхней тяге

Модуль пакета Statistica 7	$S(T_{CD}^{\Delta})$	$S(T_{CD}^{\Delta^2})$	Частота df	$\chi^2_{расч}$	$\chi^2_{табл.}$
Observed vs. Expected Frequencies	1,612	3,588	178	3,588	7,65
Модуль пакета Statistica 7	N	ρ	$t_{(N-2)}$		ρ
Spearman Rank Order Correlations	179	0,892	104,746	<0,05	
Модуль пакета Statistica 7	N	τ	Точка распределения z	ρ	
Kendall Tau Correlations	179	0,821	18,476	<0,05	

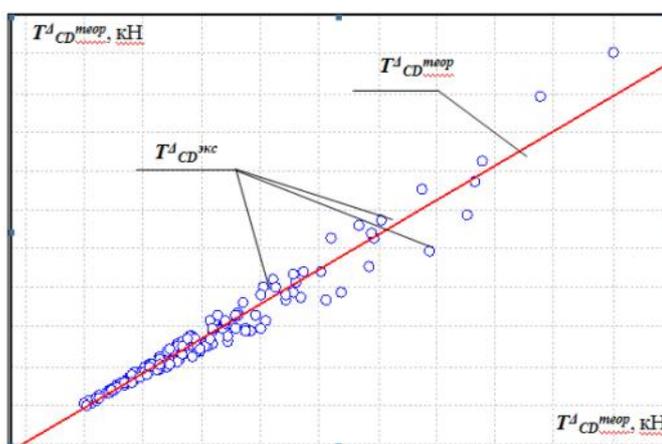


Диаграмма рассеяния теоретических $T_{CD}^{\Delta_{расч}}$ и экспериментальных $T_{CD}^{\Delta_{экс}}$ значений

программного пакета Statistica 7 получена регрессионная модель. В качестве независимых переменных (факторов) выступают приращение угла $\Delta\theta$ (далее x_1) наклона результирующей тяговой сопротивляющей и горизонтальная составляющая R_x тяговой сопротивляющей (далее x_2). В качестве функции отклика выступает приращение усилия в верхней тяге заднего навесного устройства T_{CD}^{Δ} (далее y).

В ходе регрессионного анализа получена следующая модель:

$$T_{CD}^{\Delta} = -0,72 + 0,028\Delta\theta - 0,361R_x + 0,013\Delta\theta R_x + 0,082\Delta^2\theta$$

Коэффициент детерминации $R^2 = 0,772$, т.е. корреляция между экспериментальными данными и расчетной моделью сильная.

Результаты регрессионного анализа приведены в табл. 5.

Таблица 5. Параметры и критерии регрессионной модели в целом

R	Коэффициент детерминации R^2	ρ	$F(4,174)$	Уровень значимости p	Средняя ошибка оценки S^2
0,879	0,772	0,769	148,879	0,0003	0,509

Результаты расчетов для коэффициента значимости $p = 0,05$ сведены в табл. 4 и свидетельствуют о высокой степени корреляции между теоретическими и экспериментальными данными. Результаты обработки данных в графическом виде модулем «Nonparametric Correlations» программного пакета Statistica 7 приведены на рисунке. Также средствами

Проведен также анализ остатков, поскольку если они существенно коррелированы (зависимы), то модель неадекватна (нарушено предположение о независимости ошибок в регрессионной модели). Для этого используем статистику Дарбина-Уотсона d :

$$d = \frac{\sum_{i=2}^n (e_i - e_{i-1})}{\sum_{i=1}^n e_i^2}.$$

где $e_i = T_{CD}^{расч}_i - T_{CD}^{экс}_i$ – остаток i -той пары сравнения.

В зависимости от n , p и числа переменных уравнения регрессии j табулируются верхнее d_u и нижнее d_l значения коэффициента Дарбина-Уотсона.

По результатам расчета в системе Statistica 7 (модуль Regression residuals) $d = 1,79$, табличные значения, заложенные в базу данных этой же программы, составляют $d_l = 1,59$ и $d_u = 1,76$. Следовательно, $d > d_u$ и остатки независимы.

Литература

1. Панов, А. И. Обоснование параметров пахотных агрегатов на базе гусеничного трактора, работающих в тягово-толкающем режиме/ А. И. Панов // Автореф. дисс. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук/ Моск. ин-т инж. сельскохоз. производства им. В.П.Горячкина. – М., 1988. – 17 с.
2. Рудашко, А.А. Повышение эксплуатационно-технологических показателей агрегатов применением передней навески машин на трактор класса 0.6 при возделывании пропашных культур/ А.А.Рудашко// Автореф. дисс. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук/ БСХА. – Горки, 1999. – 20 с.
3. Леонов, С.И. Исследования колебаний корпуса гусеничной машины в зависимости от скорости при движении через единичную неровность /С.И. Леонов, А.В. Коровайцев, Н.С. Коровайцева// Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1978. – №2. – С.35-41.
4. Субботин, В.И. Оценка плавности хода гусеничных тракторов при движении их по неровному пути и искусственным неровностям/ В.И. Субботин// Исследование и расчет ходовых систем сельскохозяйственных тракторов. Труды НАТИ, вып 192. – М., 1968. – С.47-87.
5. Горин, Г.С. Обоснование параметров подвески гусеничного скоростного трактора класса 3 / Г.С.Горин // Дисс. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук: 05.05.03. – Минск: 1970.– 205 с.

Summary

A.V. Vashchula. Experimental Investigations of Interaction of Tractor and Mounted Tool in Linear-Vertical Plane

While performing tilling operations as well as at crossing irregularities of relief tractor body acquires different caused by imitating the country ground and deformation of suspension bracket spring. Experimental investigations revealed dependence of force in the upper rod of mounted device from different of tractor body and elevation of crossed relief irregularity at different pulling resistance of plow, that enable to develop of automatic control systems. Experimental condition consists in setting movement of plowable aggregate across smooth surface followed by crossing of relief irregularities of various profile. The experiment proved the proposed theoretical dependence of force increment in the upper rod from tractor body different and pulling resistance.

Поступила 26 мая 2009 г.