

УДК 631.316.02-001.5

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ УПРУГИХ
СВОЙСТВ ПРУЖИННОЙ СТОЙКИ
VIBROFLEX***А. А. Отченасhev*

Донской государственной технической
университет, Ростов-на-Дону,
Российская Федерация

7djxxx@mail.ru

Излагаются результаты экспериментального и расчётного определения траекторий носка лапы культиватора на пружинной стойке типа Vibroflex. Траектория определялась экспериментально, нагружениями на стенде, и аналитически, с помощью программных средств, учитывающих конфигурацию стойки. Установлен диапазон нагружения стойки при котором траектория не выходит за пределы агродопуска. Точность совпадения расчётных и экспериментальных траекторий составила 15%.

Ключевые слова: сельскохозяйственная техника, культиваторы, пружинные стойки, упругие свойства, эксперимент, расчёт.

Введение. В современном культиваторостроении для крепления лап к раме широко применяются пружинные стойки. Считается, что пружинные стойки благодаря упругости получают при работе значительные вибрации, благотворно влияющие на процессы взаимодействия лапы с почвой: снижается «залипаемость», уменьшаются энергозатраты, повышается качество обработки почвы.

Однако у пружинных стоек есть недостатки. Под действием нагрузки P на рабочий орган пружинная стойка деформируется и рабочий орган получает упругие смещения s носка лапы и поворот на угол θ (рис. 1). Упругие смещения искажают режимы резания: глубину хода и геометрию резания, что нарушает равномерность хода по глубине и увеличивает тяговое сопротивление.

UDC 631.316.02-001.5

**DETERMINATION OF THE ELASTIC
PROPERTIES OF THE SPRING TINE
VIBROFLEX***A. A. Otchenashev*

Don State Technical University, Rostov-on-don,
Russian Federation

7djxxx@mail.ru

The article presents the results of experimental and calculation determination of movement patterns of the cultivator blades on the spring tine Vibroflex. The movement patterns were determined experimentally by loading, on the stand the estimated movement patterns were calculated on the configuration of the tine. The authors determined the range of tine loading at which the trajectory does not go beyond the movement pattern. The accuracy of coincidence of the calculated and experimental trajectories is not more than 15%.

Keywords: agricultural machinery, cultivators, spring tine, elastic properties, experiment, calculation.

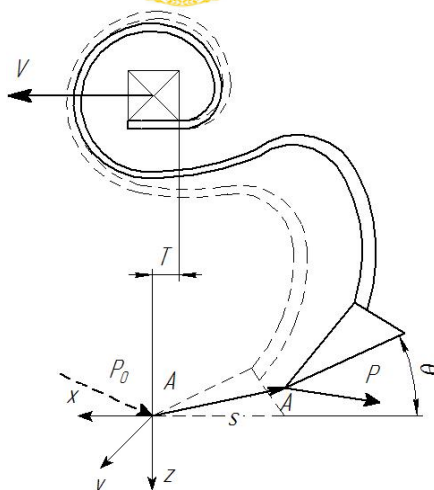


Рис. 1. Схема упругих смещений рабочего органа

Следовательно, величина и направление упругих смещений лап на пружинных стойках должна нормироваться и контролироваться. Иными словами, необходим мониторинг упругих свойств применяемых пружинных стоек с соответствующим методическим и техническим обеспечением. Такое обеспечение разрабатывается и совершенствуется в ДГТУ под руководством проф. Игнатенко И. В. в рамках нового научного направления — теории терраупругости [1].

Объект исследования. В настоящей работе излагаются результаты мониторинга современной пружинной стойки типа Vibroflex (рис. 2), отличающейся повышенной выносливостью и способностью работать в тяжёлых условиях. Стойка является составной, ее упругая верхняя часть имеет широкий профиль с сечением 10x150 мм, что повышает прочность и поперечную жёсткость. Масса стойки с узлом крепления составляет 15,9 кг.



Рис. 2. Стойка Vibroflex

Показатели упругих свойств. Показателями упругих свойств стоек почвообрабатывающих машин в теории терраупругости являются матрица жёсткости и угловые искажения стойки, измеряемые на носке лапы при номинальной нагрузке. Такие показатели для разных стоек приведены в монографии [2], однако они не имеют достаточной наглядности. Более иллюстративны траектории упругих смещений носка лапы под нагрузкой, демонстрирующие режим работы стойки, искажения глубины хода и предельные нагрузки при выходе лапы за пределы агродопуска.

Вышеупомянутые упругие траектории определялись расчётным (по конфигурации стойки) и экспериментальным путём. Экспериментальное определение упругих траекторий носка лапы проводилось на специальном нагрузочном стенде [3].

Методика экспериментального исследования. Для экспериментального исследования использовался стенд (рис. 3) с механизмом статического нагружения. Исследуемая стойка 1 крепится на раме 2 стенда. Нагрузка прикладывается на носок лапы тягой 3 от винтового механизма 5 через динамометр 4.

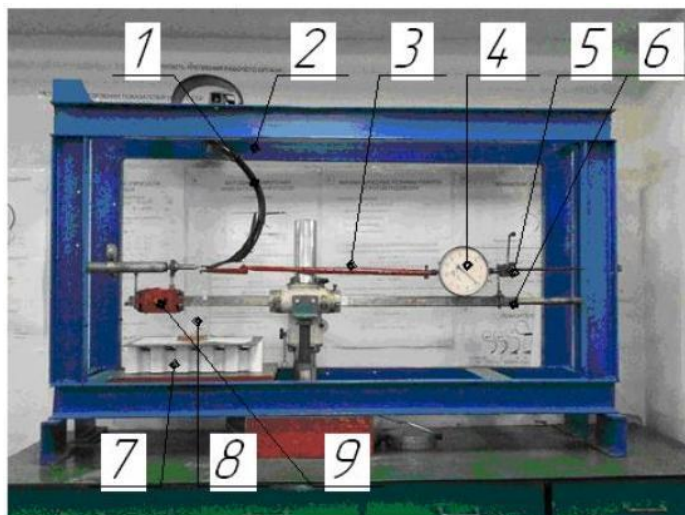


Рис. 3. Нагрузочный стенд со стойкой Vibroflex: 1 — пружинная стойка; 2 — рама; 3 — тяга; 4 — динамометр; 5 — винтовой механизм нагружения; 6 — суппорт; 7 — столик; 8 — рейсмус; 9 — муфта с рычагом

Механизм нагружения установлен на суппорте 6, который может перемещаться по вертикали, что позволяет точно поддерживать горизонтальность приложения нагрузки независимо от упругих смещений носка лапы. Для удобства контроля выглубления носка лапы он соединён с рычагом на подвижной муфте 9. Рычаг увеличивает смещения. Горизонтальные смещения носка проецируются рейсмусом 8 на столике 7 и фиксируются на бумаге.

Для сравнения упругих свойств разных лап в качестве нагрузки была принята горизонтальная сила $P=P_x$. Измерялись смещения двух точек: A — носка рабочего органа и E — верхнего обреза лапы. Величину нагрузки измеряли динамометром. Нагрузку прилагали ступенчато, по 20 кгс, так, чтобы во всём диапазоне нагружения получалось 8–10 замеров.

Смещения точек замерялись по двум координатам: по горизонтали X и по вертикали Z . Результаты измерений приведены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты измерений упругих смещений на стенде

P_x , кгс	Z_a , мм	X_a , мм	Z_b , мм	X_b , мм	ΔZ_A , мм	ΔZ_E , мм	θ , град.
0	155	0	190	0	0	0	0
20	158	27	193	6	3	17	5
40	161	54	202	22	6	25	7,3
60	167	81	210	46	12	35	10,3
80	172	108	220	71	17	55	16,4
100	180	135	228	85	25	74	22,3
120	193	162	237	114	38	95	29,1
140	208	189	248	123	53	115	36,1

По данным измерений в таблице рассчитаны столбцы:

$$\Delta Z_{Ai} = Z_{Ai} - Z_{A0}, \quad (1)$$

$$\Delta Z_{Ei} = Z_{Ei} - Z_{E0}. \quad (2)$$

Угол поворота лапы θ_i определялся по формуле:

$$\theta_i = \arcsin(\Delta Z_{Ei}/L) - \arcsin(\Delta Z_{E0}/L), \quad (3)$$

где L — расстояние между точками A и E .

Определение траектории расчётным путём. Расчёт проводился по конфигурации стойки с помощью компьютерной программы *STzubs* в среде *Matlab*. Алгоритм программы использует для определения смещений криволинейной стойки, располагающейся в продольно-вертикальной плоскости, интеграл Мора. На первом этапе была проведена оцифровка конфигурации стойки, для чего её копировали на бумагу; на осевой линии стойки намечали точки с шагом 10 мм; для каждой точки определяли координаты x и z , ширину b и высоту h текущего сечения стойки.

Данные по конфигурации были внесены в программу *STzubs* в виде массива $[F_i] = [z_i, x_i, b, h]$, $i=1, 2, \dots, N$. Перед запуском в программе *STzubs* задавались параметры: $P=140$ кГц, $dl=10$, $N=134$. В результате работы программы в среде *Matlab* были получены график деформации стойки (рис. 4) и траектория носка рабочего органа (рис. 5).

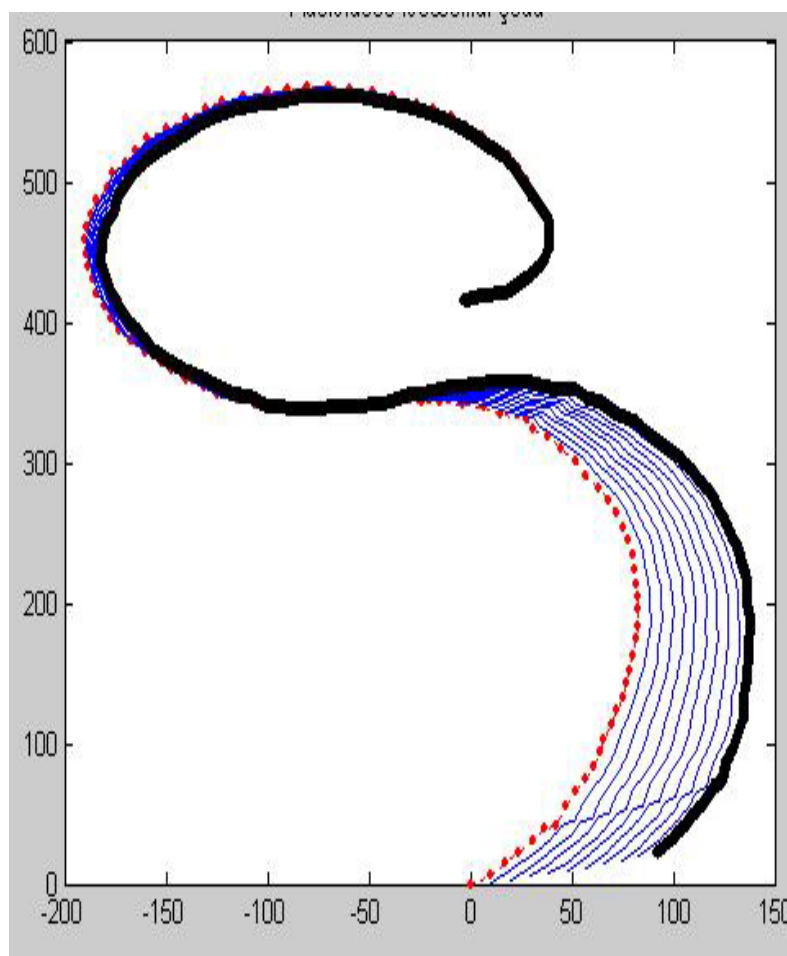


Рис. 5. График деформации стойки, полученной на ЭВМ

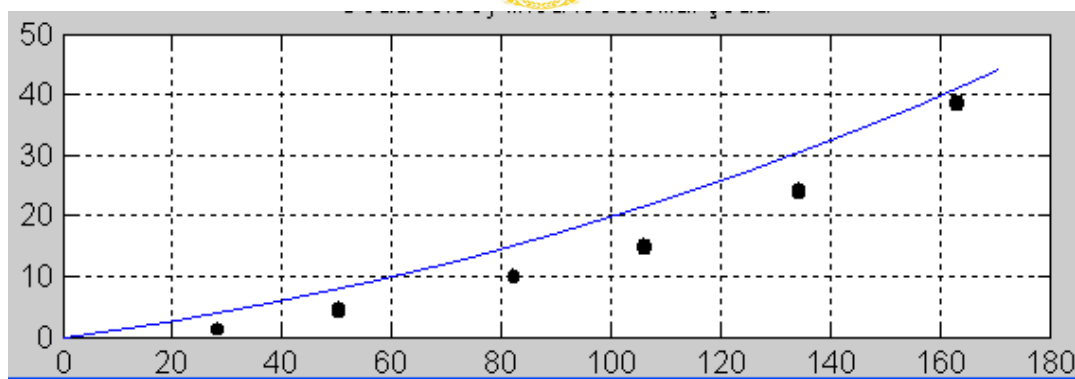


Рис. 6. Траектория носка лапы под нагрузкой:
1 — расчётная кривая; 2 — экспериментальная кривая

Сравнение расчётных и экспериментальных данных. Определение расхождения теоретических и экспериментальных данных производилось по формуле:

$$\delta = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{P - \mathcal{E}}{P} \right|, \quad (4)$$

где P — расчётные значения ΔZ_A ; \mathcal{E} — экспериментальные значения ΔZ_A ; n — число экспериментальных точек из таблицы 1, $n=7$.

Подставив экспериментальные данные в формулу, в численном выражении получаем:

$$\delta = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{P - \mathcal{E}}{P} \right| = \frac{1}{8} \cdot \left(\frac{4-3}{4} \right) + \left(\frac{8-6}{8} \right) + \left(\frac{13-12}{12} \right) + \left(\frac{20-17}{20} \right) + \left(\frac{28-25}{28} \right) + \left(\frac{41-38}{41} \right) + \left(\frac{55-53}{55} \right) = 0,11.$$

Расчёт показывает, что расхождение экспериментальных и теоретических значений упругих смещений носка лапы не превышает 12 %.

Выводы. Анализ траектории носка лапы под нагрузкой показывает, что пружинная стойка имеет режим работы с сопутствующим выглублением и обладает развитым предохранительным эффектом. Максимальная нагрузка, при которой достигается граница агродопуска, равная 10 мм, составляет примерно 80 кГс, что в два раза превышает рабочую нагрузку наиболее распространённых S-образных стоек типа *Kongskilde* [3]. При этом угловые искажения ниже примерно в 1,5 раза. Пружинная стойка имеет развитое выглубление и способна превзойти показатели традиционных пружинных стоек по нагрузкам — в 2 раза и по массе — в 3,8 раза.

Библиографический список

1. Игнатенко, И. В. Задача терраупругости в почвообработке / И. В. Игнатенко // Вестник Дон. гос. техн. ун-та. — 2008. — Т. 8, № 3(38). — С. 268–277.
2. Игнатенко, И. В. Энергетические аспекты взаимодействия упруго закреплённого рабочего органа с почвой в земледельческой механике / И. В. Игнатенко. — Ростов-на-Дону : Издательский центр ДГТУ, 2002. — 160 с.
3. Игнатенко, И. В. Измерение жёсткости крепления упругих стоек культиватора / И. В. Игнатенко, А. Валяев // Интерагромаш : сб. статей 8-ой междунар. науч.-практ. конф. — Ростов-на-Дону, 2015. — С. 122–126.