

УДК 621.87:113

Экспериментальные исследования рабочего оборудования бульдозера с выдвижными секциями

Щепалин Даниил Евгеньевич,
аспирант

dany.shepalin2014@yandex.ru

Сладкова Любовь Александровна,
профессор, д-р техн. наук

rich.cat2012@yandex.ru

Кафедра «Наземные транспортно-технологические средства»,
Российский университет транспорта, Москва, Россия

Аннотация. Необходимость проведения экспериментальных исследований для усовершенствованных видов техники очевидна. В статье показана методика проведения экспериментальных исследований по определению усилий в гидроцилиндрах рабочего оборудования бульдозера с выдвижными секциями, выполненная на разработанной авторами лабораторной установке, изготовленной в геометрическом подобии с реальной конструкцией секции отвальной поверхности нового рабочего оборудования бульдозера, что позволяет получить результаты с высокой степенью достоверности, а также верифицировать результаты теоретических исследований и раскрыть физическую природу протекающих процессов.

Ключевые слова: методика проведения эксперимента, рабочее оборудование, бульдозер, экспериментальная установка, шарнирная опора, усилия в стержнях, анализ результатов

Experimental studies of bulldozer working equipment with pull-out sections

Shchepalin Daniil Evgenievich,
Postgraduate Student

dany.shepalin2014@yandex.ru

Sladkova Lyubov Alexandrovna,
Professor, Doctor of Technical Sciences

rich.cat2012@yandex.ru

Department of "Ground transportation and technological facilities", Russian University of Transport

Abstract. The need for experimental research for improved types of technology is obvious. The article shows the method of conducting experimental studies to determine the forces in the hydraulic cylinders of the working equipment of a bulldozer with retractable sections, performed on a laboratory unit developed by the authors, made in a geometric resemblance to the real design of the section of the dump surface of the new working equipment of the bulldozer, which makes it possible to obtain results with a high degree of reliability. as well as to verify the results of theoretical research and to reveal the physical nature of the ongoing processes.

Keywords: experimental methodology, working equipment, bulldozer, experimental setup, articulated support, rod forces, analysis of results

Экспериментальные исследования позволяют верифицировать результаты теоретических исследований и раскрывают физическую природу протекающих в рабочем оборудовании землеройных машин процессов.

При проведении лабораторных испытаний чаще всего используют геометрически подобные модели испытываемого оборудования [1, 2].

В нашем случае, целью проводимых исследований является верификация усилий, возникающих в элементах предлагаемого в [3] рабочего оборудования бульдозера с выдвигающимися секциями, управление которыми производится при помощи трех гидроцилиндров, поршневые полости которых сходятся в одной точке и закреплены на поперечной балке, жестко соединенной с толкающими брусками.

Установка представляет собой отвальную поверхность 1 соединенную стержнями 2, имитирующими гидроцилиндры выдвижения секций, с кронштейном 3, представляющим собой трехточечную сферическую опору, неподвижно соединенную со стенкой 4, которая неподвижно закреплена на основании 5. Для имитации равномерно распределенной нагрузки на отвальную поверхность использовалась нерастяжимая нить 6, усилия на которую передавались в горизонтальной плоскости при помощи динамометра 7 и отражались на силоизмерительной установке 8 (рис. 1).

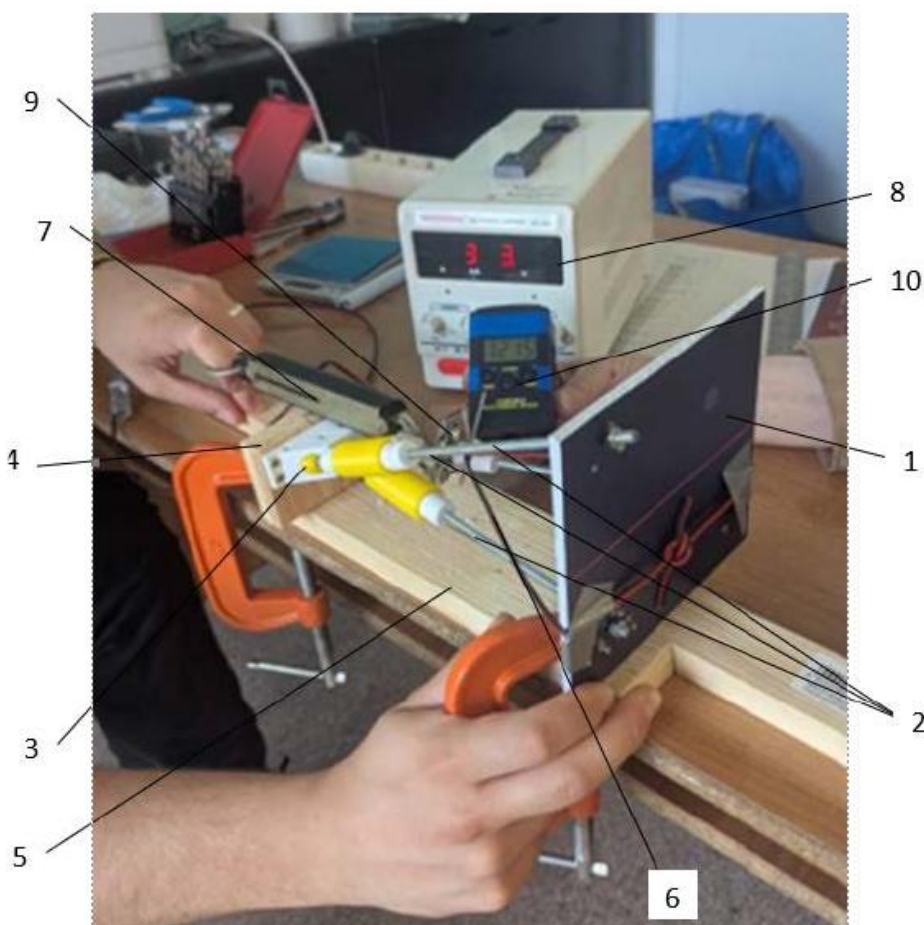


Рис. 1. Установка для проведения эксперимента

Величина усилия разработки грунта (тяговое усилие) T фиксировалась при помощи динамометра 7 (АТЗ-1). Изменение усилий в стержнях 2 измерялись при помощи тензометрических датчиков 9 растяжения-сжатия (ВТ-040 с диапазоном измерения величин от 0,01-40 кг с погрешностью измерения 0,01 кг) и передавались на индикатор. 10.

Длина каждой секции предлагаемого рабочего оборудования равна

$$L = \frac{L_0}{n}, \quad (1)$$

где L_0 — длина отвала полная, мм; n — число секций.

Зависимость для определения линейного масштаба моделирования приведена ниже:

$$\frac{H_0}{H_M} = k_l, \quad (2)$$

где k_l — линейный масштаб моделирования, принимаемый по отношению среднестатистической высоты секции отвала H_0 в оригинале к высоте секции отвала H_M на модели.

Примем среднестатистическую высоту отвала для бульдозеров отечественного и зарубежного производства можно принять равной $H_0 = 1500$ мм. Выберем высоту модели равной $H_M = 150$ мм. Масштаб моделирования $k_l = 1500/150 = 10$.

При выбранной высоте отвала $H_0 = 1500$ мм величина среднестатистической длины отвала равна $L_0 = 4500$ мм.

Выберем число секций из условия, что длина части отвальной поверхности на модели равна 150 мм. Тогда при выбранном масштабе моделирования число секций равно $n = 4500/1500 = 3$.

Тяговое усилие, прилагаемое ко всему отвалу в соответствии с выбранной высотой, принимаем равным 210 кН (21 т). На модели оно определится из соотношения

$$\frac{T_0}{T} = k_l^3, \quad ((3)$$

$$T = \frac{T_0}{k_l^3} = \frac{21000}{1000} = 21 \text{ кг},$$

где T — усилие на модели.

Нагрузка, приходящаяся на одну секцию, будет равна

$$T = \frac{T_0}{n} = \frac{21}{3} = 7 \text{ кг}.$$

Для обеспечения равномерно распределенной нагрузки усилие на отвал (рис. 1) передавалось через перекинутую через отвальную поверхность нерастяжимую нить 6 и на модели с учетом масштаба моделирования ее равнодействующая будет равна 7 кг.

Число замеров в каждом из стержней (число повторных опытов) выбиралось в зависимости от величины относительной погрешности, не превышающей 10% по методике, определялось по алгоритму, изложенному в [3]:

$$t_{\text{пр}} = \frac{K_T \bar{I}}{\sigma}, \quad (4)$$

где K_T — заданная допустимая погрешность измерений; $\bar{I}$ — величина среднестатистического замера; σ — величина среднего квадратического отклонения замеров.

При величине погрешности измерений 10 %, допускаемого динамометром (АТЗ) с ценой деления 0,1 кг и температуре в процессе проведения измерений равной 25 °С при доверительной вероятности 0,95 и величине среднего отклонения измеряемых размеров $\bar{I} = 0,001$ кг, величина среднего квадратического отклонения замеров зуба равна 0,26 кг. Предполагаемая величина критерия Стьюдента, равна:

$$t_{\text{пр}} = \frac{0,1 \cdot 0,001}{0,26} = 8,1631.$$

Ближайшее табличное значение критерия Стьюдента при заданной доверительно вероятности равно 3, что соответствует числу степеней свободы, равного 1 из чего следует, что для заданной точности проведения эксперимента достаточно в каждом стержне установки провести по четыре замера. Для достоверности принимаем число замеров равным 5.

Результаты измерений усилий в стержнях N в зависимости от величины усилия T приведены в табл. 1.

Таблица 1

**Результаты проведения экспериментальных исследований
по определению усилий в стержнях**

№ опыта	Усилие T, кг	Усилие в стержнях, кг		
		N ₁	N ₂	N ₃
1	7	2,9	4,3	1,8
2	7	2,8	4,4	1,9
3	7	2,8	4,2	1,9
4	7	2,6	4,3	1,9
5	7	2,6	4,4	1,7
Средние значения	7	2,74	4,26	1,84

Результаты всех измерений воспроизводимы в соответствии с критерием Кохрена с доверительной вероятностью 0,95 и числе степеней свободы 4.

Для верификации полученных результатов с результатами теоретических исследований, определим углы между стержнями модели (рис. 2).

Из геометрических соотношений (рис. 6, б) имеем

$$h = \sqrt{l_1^2 - x^2} = \sqrt{l_2^2 - (l - x)^2},$$

$$x = \frac{l^2 + l_1^2 - l_2^2}{l}, \quad (5)$$

где l — расстояние между точками крепления стержней на модели отвала; l_1 , l_2 — длины стержней.

Из полученного соотношения определим искомые углы (табл. 2), которые в дальнейшем используем для оценки погрешности измерений.

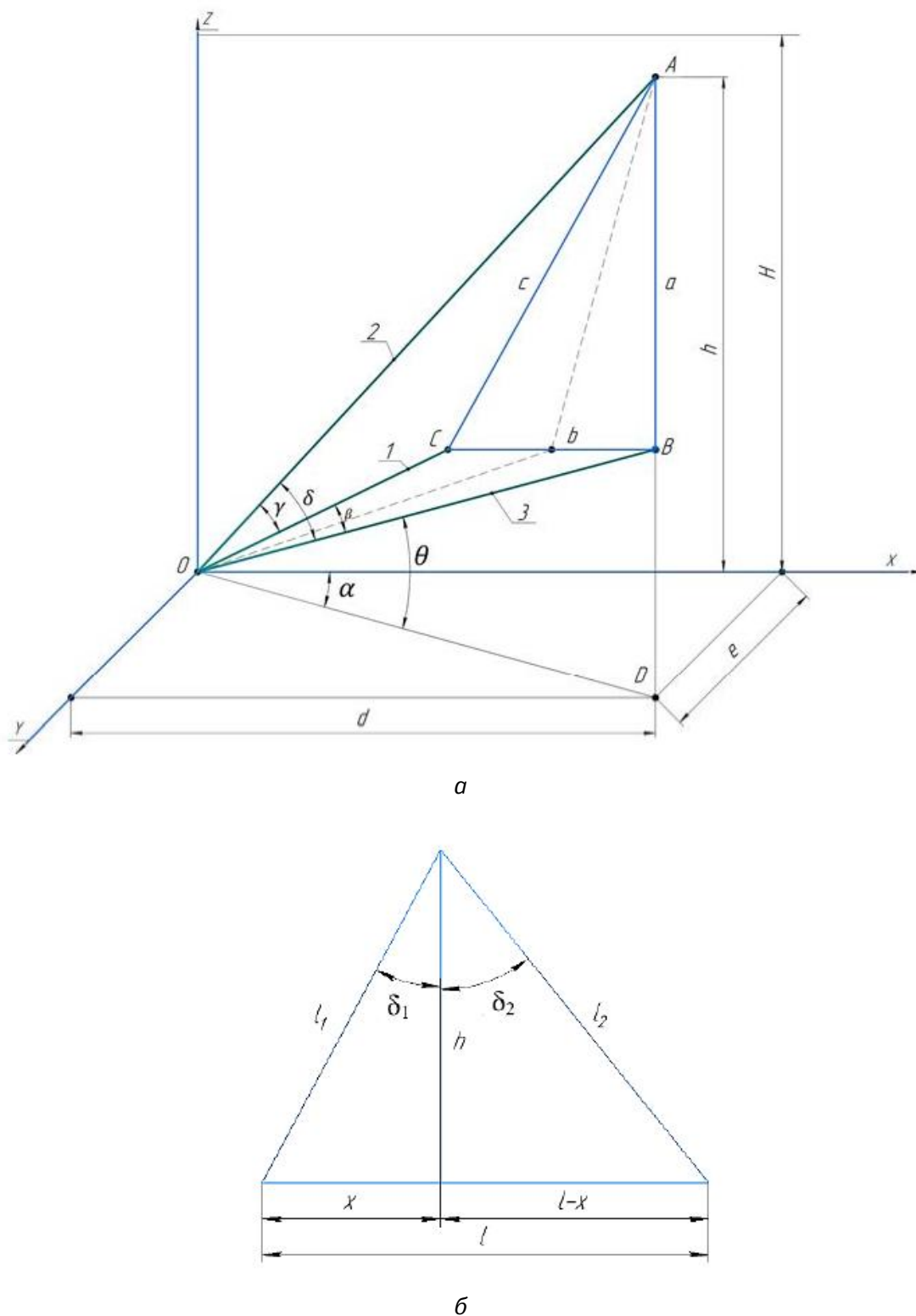


Рис. 2. Схемы для определения углов между стержнями:
а — общая; б — по граням

Таблица 2

Углы между стержнями в экспериментальной установке, град

№ п/п	Стержни 1-3 (ОС-ОВ)		Стержни 2-3 (ОА-ОС)		Стержни 1-2 (ОС-ОА)	
	β_1	β_2	δ_1	δ_2	γ_1	γ_2
Составные	7,30	25,22	25,40	-0,40	15,84	10,88
Полный угол	β		δ		γ	
	32,52		25,8		26,72	

Полученные зависимости лежат в диапазоне изменяемых величин, полученных при проведении теоретических исследований.

Из условия прочности, приведенном в [4], усилия в стержнях при заданной нагрузке будут равны:

$$N_1 = \frac{P \sin \gamma_2}{\sin(\gamma_1 + \gamma_2)} = \frac{3 \cdot \sin(10,88^\circ)}{\sin(15,84^\circ + 10,88^\circ)} = 2,937 \text{ кг},$$

$$N_2 = \frac{P \sin \gamma_1}{\sin(\gamma_1 + \gamma_2)} = \frac{3 \cdot \sin(15,84^\circ)}{\sin(15,84^\circ + 10,88^\circ)} = 4,748 \text{ кг},$$

$$N_3 = \frac{P \sin \beta_1}{\sin(\beta_1 + \beta_2)} = \frac{3 \cdot \sin(7,30^\circ)}{\sin(7,30^\circ + 25,22^\circ)} = 1,654 \text{ кг}.$$

Сравнение результатов теоретических вычислений и экспериментальных исследований (табл. 2) показали, что величина относительной ошибки при определении усилия N_1 составляет 6,71 %, усилия N_2 — 10,08 % и N_3 — 10,11 %, что соответствует условиям проведения эксперимента в соответствии с критерием Стьюдента.

Список источников

- [1] Зеленин А.Н., Баловнев В.И., Керов И.П. *Машины для земляных работ*. Москва, Машиностроение, 1976, 324 с.
- [2] Баловнев В.И. *Рабочие органы землеройных машин интенсифицирующего действия*. Москва, Машиностроение, 1978, 256 с.
- [3] Бойко А.Ф., Кудеников Е.Ю. Точный метод расчета необходимого количества повторных опытов. *Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова*, 2016, № 8, с. 128–132.
- [4] Феодосьев В.И. *Сопротивление материалов*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2016, 543 с.