

УДК 621.879.01

Крупко В. Г., Дихтенко Р. Н.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРЕЛОВЫХ СИСТЕМ И ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ МЕХАНИЗМОВ КАРЬЕРНЫХ ЭКСКАВАТОРОВ

В Украине на горных разработках полезных ископаемых, а также на строительстве зданий, сооружений, дорог работает большое количество машин на базе строительных универсальных экскаваторов, которые выполняют подъемно-транспортные, землеройные и вспомогательные работы. При этом на привод исполнительных механизмов этих машин действуют значительные динамические усилия, вызванные следующими явлениями: взаимодействием с внешней средой; резкими изменениями нагрузок; изменениями направления движения. Поэтому важным является вопрос о повышении надежности машин посредством введения в конструкцию элементов, позволяющих снизить максимальные динамические нагрузки, не изменяя основные исполнительные механизмы машин [1–3].

Цель исследовательской работы – экспериментальное определение динамических нагрузок на исполнительные механизмы строительных и подъемно-транспортных машин, которые возникают во время работы и при стопорении рабочего органа, а также разработка устройств, позволяющих производить гашение загрузок под средством оптимизации жесткостно-массовой системы механизма.

Для того чтобы процессы, которые возникают при копании грунтов ковшами прямых механических лопат, были подобны к оригиналу и модели, необходимо выдержать целый ряд требований теории моделирования. Условия физического и имитационного моделирования рабочего оборудования экскаваторов вытекают из основных теорем и положений теории подобия и к ним в первую очередь можно отнести следующие [1, 2]:

- определяемые критерии подобия процесса копания грунта для модели и оригинала должны быть численно равны;
- одноименные физические (технические) параметры системы дифференциальных уравнений, с помощью которых описывается рабочий процесс, составлены для модели и оригинала, должны быть соответственно пропорциональны;
- процессы взаимодействия рабочего оборудования со средой в модели и оригинале должны принадлежать к одному классу явлений и описываться одинаковой системой дифференциальных уравнений;
- модель и оригинал рабочего оборудования и системы в целом должны быть геометрически подобны;
- начальное и предельное условия, которые характеризуют рабочий процесс в модели, должны быть подобные по отношению к соответствующим условиям оригинала.

Из теории подобия и размерности известно, что критерии подобия – это есть безразмерные комплексы величин, которые описывают исследуемый процесс, численно равны для модели и оригинала.

Таким образом, для процесса копания грунта ковшом прямой механической лопаты мы воспользуемся критериями подобия (p_1, p_2, p_3) для аналогичных процессов, выведенных профессором Баловневым В. И. [3]:

$$p_1 = \frac{M \cdot l}{W \cdot t^2}; \quad p_2 = \frac{C \cdot l}{W}; \quad p_3 = \frac{P_{01}}{r \cdot l^3},$$

где M – масса элементов, которые описаны в дифференциальных уравнениях, кг;

l – линейные параметры рабочего оборудования, м;

W – сопротивление копанью или усилия, которые действуют со стороны забоя, Н;

C – жесткость элементов рабочего оборудования, $\frac{\text{Н}}{\text{м}}$;

t – временная составляющая процесса копания, с;

ρ – плотность грунта, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$;

P_{01} – касательная составляющая сопротивления копанью, Н.

Соответственно теории подобия определим масштабные коэффициенты, т. е. коэффициенты соответствия параметров модели параметрам оригинала [3]:

$$k_l = \frac{L_{op}}{L_{mod}};$$

$$k_V = k_l^3 = \frac{E_{op}}{E_{mod}};$$

$$k_M = k_l^2 = \frac{m_{op}}{m_{mod}};$$

$$k_J = k_l^2 = \frac{V_{op}}{V_{mod}};$$

$$k_C = k_l = \frac{C_{op}}{C_{mod}};$$

$$k_P = k_l^2 = \frac{P_{op}}{P_{mod}}.$$

С учетом приведенных зависимостей и параметров оригинала (относительно ЭКГ-5Н производства ПАО «НКМЗ») и модели, разработанной на кафедре ПТМ, определим масштабы приближенного физического моделирования процесса копания грунта ковшом карьерного экскаватора с учетом переходных формул. Данные сведены в табл. 1, из которой видно, что параметры модели определены из условия того, что линейный масштабный коэффициент принят $k_l = 10$.

Таким образом, по полученным данным построена физическая модель экскаватора ЭКГ-5Н, которая позволит моделировать процессы взаимодействия рабочего оборудования и грунта.

Таблица 1

Параметры модели

№ п/п	Название параметров	Обозначение масштабного коэффициента	Формула перехода от параметров оригинала к параметрам модели	Численное значение масштаба	Параметры модели
1	2	3	4	5	6
1	Линейные параметры рабочего оборудования	k_l	$L_{i.мод} = \frac{L_{i.оп}}{k_l}$	$k_l = 10$	$L_{СТP} = 900$ мм; $L_{ПB} = 960$ мм; $L_{CT.П} = 560$ мм; $L_{CT.3} = 460$ мм
2	Объемные параметры рабочего оборудования	$k_V = k_l^3$	$E_{i.мод} = \frac{E_{i.оп}}{k_l^3}$	$k_V = 1000$	$V_{КOB} = 0,0052$ м ³
3	Масса элементов рабочего оборудования	$k_M = k_l^3$	$m_{i.мод} = \frac{m_{i.оп}}{k_l^3}$	$k_M = 1000$	$m_{cm} = 9,4$ кг $m_{бл} = 2,4$ кг $m_p = 8,8$ кг $m_{ковиш} = 8,6$ кг
4	Жесткость элементов рабочего оборудования	$k_C = k_l$	$C_{i.мод} = \frac{C_{i.оп}}{k_l}$	$k_C = 10$	$C_B = 10,3 \cdot 10^6 \frac{H}{м}$ $C_{B1} = 3,84 \cdot 10^6 \frac{H}{м}$ $C_{B2} = 10,3 \cdot 10^6 \frac{H}{м}$
5	Внешние силы (сопротивление копанью)	$k_P = k_l^2$	$P_{i.мод} = \frac{P_{i.оп}}{k_l^2}$	$k_P = 100$	$P_{стоп} = 520$ Н
6	Скорость	$k_J = k_l^{\frac{1}{2}}$	$V_{i.мод} = \frac{V_{i.оп}}{k_l^{\frac{1}{2}}}$	$k_J = 3,1$	$J_{кон} = 0,27 \frac{м}{сек}$

В данном эксперименте для измерения динамических нагрузок на рабочее оборудование механической лопаты используем тензометрические преобразователи (тензодатчик), которые непосредственно устанавливаем на нагруженные элементы. Тензодатчик присоединяем к диодному мосту. Так как в разных механизмах они работают по-разному, то составляем две схемы присоединения (рис. 1).

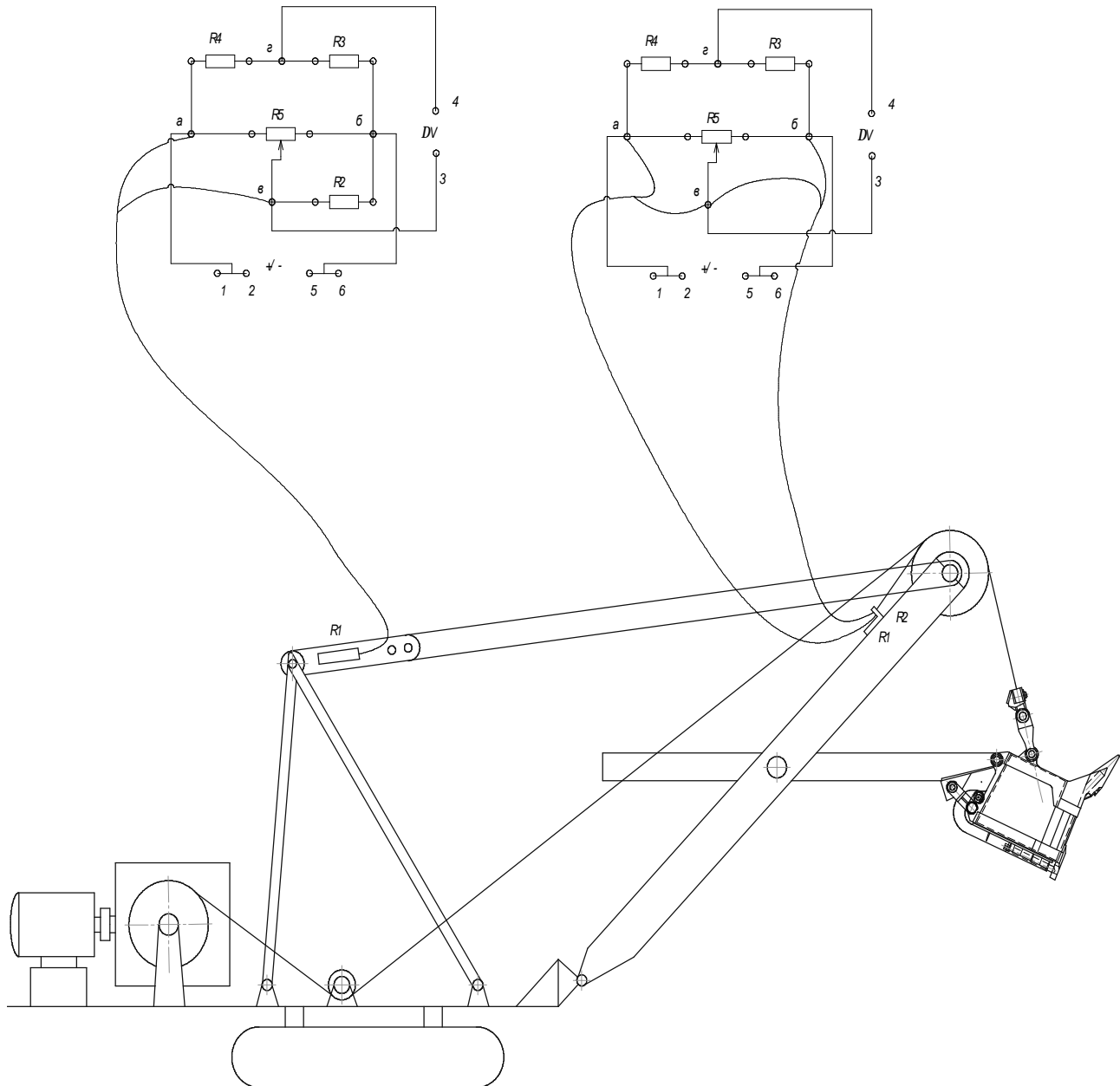


Рис. 1. Схема лабораторной модели с вмонтированными тензодатчиками

Действующая модель механической лопаты изображена на рис. 2.

Для измерения колебаний используем электронную измерительную информационную систему, с помощью которой превращаем электрический сигнал в графическое изображение (осциллограмму).

В качестве грунта взята смесь песка и глины, которая может изменять свои физико-механические характеристики в зависимости от влажности и процентного содержания компонентов. Размеры забоя ограничены высотой напорного вала, что принято и при разработке полезных ископаемых.



Рис. 2. Модель карьерного экскаватора ЕКГ-5Н

Изображения измерительно-информационной системы показано на рис. 3.

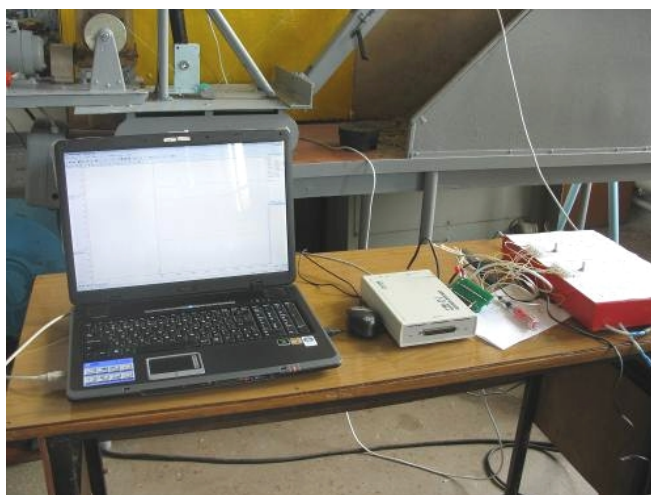


Рис. 3. Измерительно-информационная система

ВЫВОДЫ

Разработана, спроектирована и изготовлена физическая модель карьерного экскаватора, которая позволила имитировать процессы резания грунта и возникающие динамические нагрузки в элементах исполнительных механизмов экскаватора.

ЛИТЕРАТУРА

1. Волков Д. П. Динамика и прочность одноковшовых экскаваторов / Д. П. Волков. – М. : Машиностроение, 1965. – 463 с.
2. Панкратов С. А. Конструкция и основы расчета главных узлов экскаваторов и кранов / С. А. Панкратов. – М. : МАШГИЗ, 1962. – 539 с.
3. Баловнев В. И. Моделирование процессов взаимодействия со средой рабочих органов дорожно-строительных машин : учебное пособие для студентов вузов / В. И. Баловнев. – М. : Высш. школа, 1981. – 395 с.
4. Домбровский Н. Г. Экскаваторы : підручник для вузів / Н. Г. Домбровский, П. А. Жуков. – М. : Машинобудування, 1976. – 367 с.