

УДК 621.87:62-567

Лингур В.Н., Михайлов Е.П., к.т.н.; Кнюх А.Б.

Одесский национальный политехнический университет

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ ПРУЖИННО-ШАРИКОВОГО БУФЕРНОГО УСТРОЙСТВА

***Аннотация:** Разработана конструкция экспериментального комплекса для испытаний пружинно-шарикового буферного устройства. Проведены испытания для ряда цилиндрических пружин с различными коэффициентами жесткости. Получено подтверждение о способности буферного устройства пружинно-шарикового типа поглощать энергию движущегося крана.*

***Ключевые слова:** буферное устройство, контроллер, тензометрический датчик, сила буфера.*

Постановка научной проблемы

Сложность процесса ударного взаимодействия мостового крана с буферными устройствами, большое число факторов, которые влияют на работоспособность буфера, делают особенно важными экспериментальные исследования таких устройств. При разработке новых типов крановых предохранительных устройств, каким является буферное устройство пружинно-шарикового типа, его опытная проверка являются совершенно необходимой.

Успех экспериментального исследования зависит от того, насколько правильно составлена методика испытаний и обеспечена точность измерений. При этом необходимо обеспечить определение основных показателей буфера и оценить влияние отдельных факторов на его работоспособность.

В общем случае экспериментально должны быть определены: сила буферного устройства и закономерность ее изменения, количество поглощенной энергии, изменение основных геометрических параметров.

Анализ исследований и публикаций

При наезде мостового крана на предохранительные буферные устройства возникает специфическое ударное нагружение как металлоконструкции крана, так и элементов буферов.

Определение динамических нагрузок в системе «кран-буфер» – сравнительно сложен и пока не получил должного развития. Это

объясняется с одной стороны, большим числом факторов, влияющих на характер взаимодействия соударяющихся тел, а с другой стороны, трудностью получения исходных экспериментальных данных, позволяющих отработать расчетные схемы [1]. Эксперимент с наездом крана на буферное устройство связан с риском выхода из строя крана.

К факторам, не позволяющим создавать точных расчетно-динамических моделей кранов и буферных устройств, следует отнести максимальную скорость наезда крана на буферы, высоту расположения груза, возможность его раскачивания в продольном и поперечном направлениях, инерционные характеристики элементов привода и другие [2]. В работе [3] отмечено, что в настоящее время у производителей кранов мостового типа нет единого подхода к оценке влияния отдельных силовых факторов на характер динамического нагружения. По этим причинам, при создании современных конструкций кранов мостового типа, на первый план выходит задача применения компактных предохранительных устройств, способных эффективно поглощать кинетическую энергию движущегося крана и обеспечивать высокий уровень безопасности работы кранов.

Цель и задачи исследования

Целью настоящей работы является создание экспериментального комплекса для объективной оценки способности буферного устройства пружинно-шарикового типа к поглощению им кинетической энергии движущегося крана.

Основной материал исследования

При исследовании динамических характеристик, которые возникают в процессе наезда крана на буферное устройство, особенно важна оценка изменения нагрузки, действующей на буфер в промежутке времени его срабатывания. Характер изменения этой нагрузки во времени определяет способность буфера поглотить кинетическую энергию движущегося крана.

Для исследования работы буферного устройства пружинно-шарикового типа в процессе наезда на него мостового крана, использован экспериментальный комплекс, который представлен на рисунке 1.

Для имитации наезда мостового крана был использован гидравлический пресс 1 ДМ-68А, который обеспечивает усилие сжатия 80 кН. В [4] описаны экспериментальные исследования амортизаторов для ж/д вагонов, которые проводились на копровой установке с падающим грузом, поэтому использование прессы для нагружения

буферного устройства можно считать вполне адекватным. Конструкция буферного устройства пружинно-шарикового типа и его установка на прессе показаны на рис. 2 и 3.

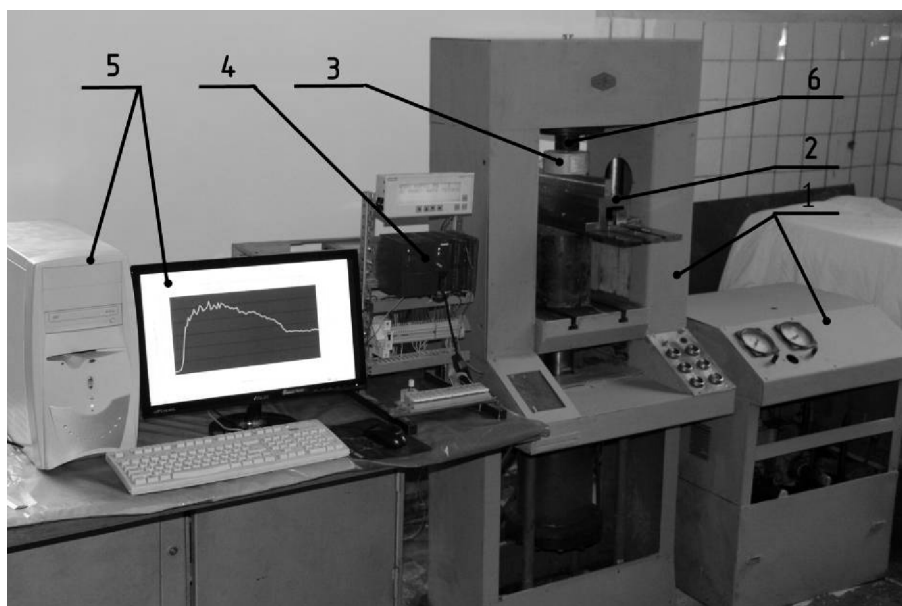


Рис. 1. Экспериментальный комплекс

1 – пресс, 2 – буферное устройство пружинно-шарикового типа, 3 – датчик тензометрический, 4 – контроллер, 5 – компьютер, 6 – центрирующее устройство

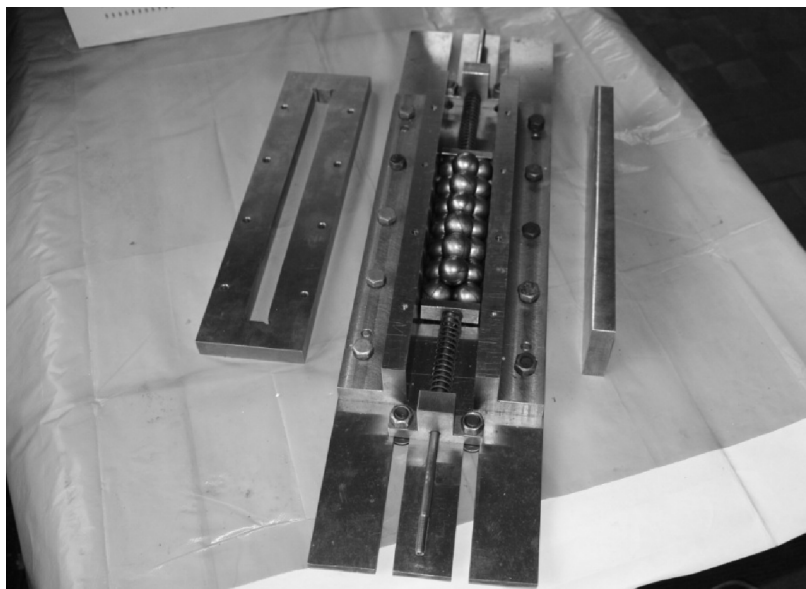


Рис. 2. Буферное устройство пружинно-шарикового типа



Рис. 3. Установка буферного устройства на прессе

В качестве источника получения информации о характере изменения нагрузки выбран тензометрический датчик 1909 ДСТ-1,0-0,1 [5] основные технические характеристики, которого приведены в таблице 1, а общий вид на рис. 4. Тензометрические датчики позволяют с высокой точностью измерять нагрузку во всем диапазоне [6, 7], что обеспечивает возможность исследования работы буферного устройства в процессе его срабатывания. Для обеспечения передачи вертикальной нагрузки на датчик, между ним и прессом установлено специальное центрирующее устройство.

Технические характеристики тензометрического датчика 1909 ДСТ-1,0-0,1

Таблица 1

Номинальное усилие, кН	1
Категория точности	0,1
Рабочий коэффициент передачи (РКП) при номинальной нагрузке, мВ/В	2,0
Начальный коэффициент передачи от номинального значения РКП, %	0,5
Напряжение питания постоянным током, В	24
Диапазон рабочих температур, °С	-50 ÷ +50

Для обеспечения питания тензометрического датчика, сбора информации с него, преобразования измерительных сигналов в цифровой код с последующей регистрацией и обработкой информации

на компьютере 5, использована измерительная установка на основе программируемого логического контроллера (ПЛК) фирмы Siemens [8] SIMATIC S7-300 (рис. 5). Такие ПЛК находят широкое применение в системах управления различных кранов, в том числе мостовых, так как дают возможность создавать распределенные системы управления с использованием децентрализованной периферии, подключаемой к основному процессорному модулю с помощью локальных сетей.



Рис. 4. Датчик тензометрический

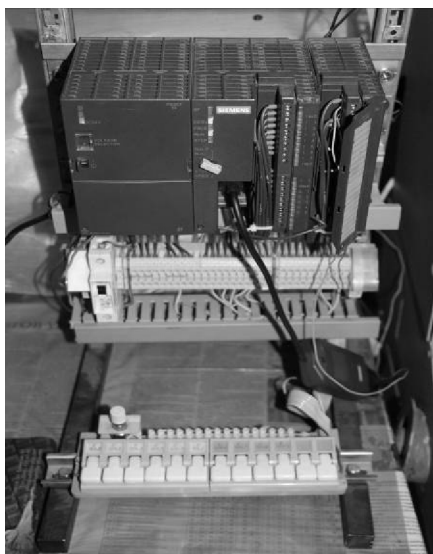


Рис. 5. Контроллер SIMATIC S7-300

На рис. 6 приведена схема подключения тензометрического датчика к модулю аналоговых входов. При этом используется

четырёхпроводная схема подключения с внешним источником питания датчика. Для исключения влияния на скорость опроса канала передачи данных из ПЛК в компьютер требуемое число результатов измерений сохраняется в памяти ПЛК в виде блока данных, который затем передается в компьютер для дальнейшей обработки.

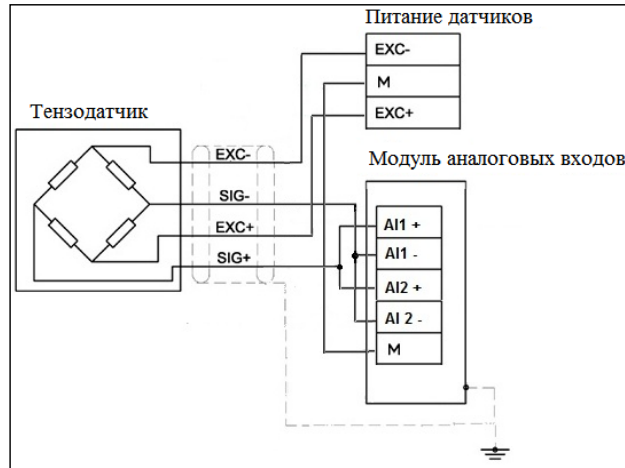


Рис. 6. Схема подключения тензометрического датчика к модулю аналоговых входов

На рис. 7 приведена блок-схема алгоритма записи последовательности измерений в блок данных ПЛК.

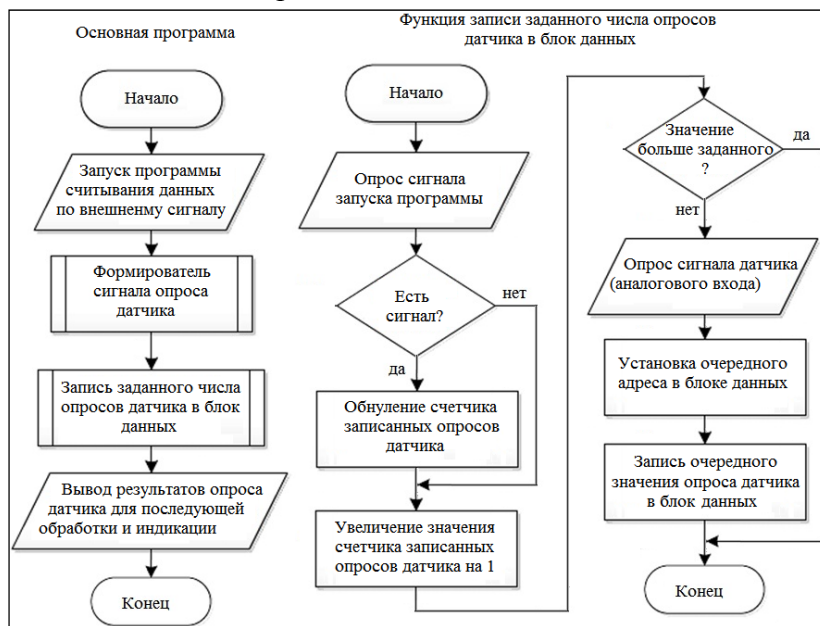


Рис. 7. Блок-схема алгоритма записи последовательности измерений в блок данных ПЛК

В данном случае была реализована запись 255 значений с максимальной скоростью записи – 50 измерений в секунду. При этом время записи составляло 5 с, что соответствовало времени срабатывания буферного устройства. Максимальное число полученных значений ограничивается объемом памяти, предназначенной для блоков данных, и может составлять тысячи значений. В данном случае, для процессорного модуля CPU 314C-2 DP максимальный размер блока данных составляет 64 Кбайт, что позволяет записать 32769 значений в формате Integer (16-разрядное целое двоичное число со знаком).

Для воспроизведения полученных зависимостей показаний силоизмерительного датчика в промежутке времени соответствующего срабатыванию буферного устройства может использоваться окно графического отображения данных, сформированное с помощью системы ввода и отображения данных WinCC flexible, либо система электронных таблиц MS Excel.

При проведении экспериментальных исследований в буферное устройство пружинно-шарикового типа было установлено 6 комплектов шариков, каждый диаметром 28 мм. Подробное описание устройства и работы буферного устройства пружинно-шарикового типа рассмотрено в [9]. В буфере поочередно применялись витые цилиндрические пружины с суммарными коэффициентами жесткости: 88; 134; 196; 210 Н/м, которые при совместной работе с комплектами шариков, должны воспринять соответственно нагрузку 500; 760; 1120 и 1210 Н. Предварительно проведена тарировка пружин с помощью образцовых гирь массами 5 и 10 кг. Сжатие пружин в процессе срабатывания буферного устройства производилось с помощью электронного штангенциркуля.

Для получения объективных данных и уменьшения влияния случайных факторов, таких как, отклонения от расчетных значений размеров пружин, местные деформации, погрешности обработки и другие, в процессе испытаний были использованы по три партии пружин с одинаковыми характеристиками. Буферное устройство с каждой партией пружин подвергалось пяти испытаниям.

На рис. 8 представлены зависимости по пяти испытаниям, которые получены для случая установки в буферном устройстве пружин с суммарным коэффициентом жесткости 88 Н/м для поглощения энергии движущегося груза весом 500 Н.

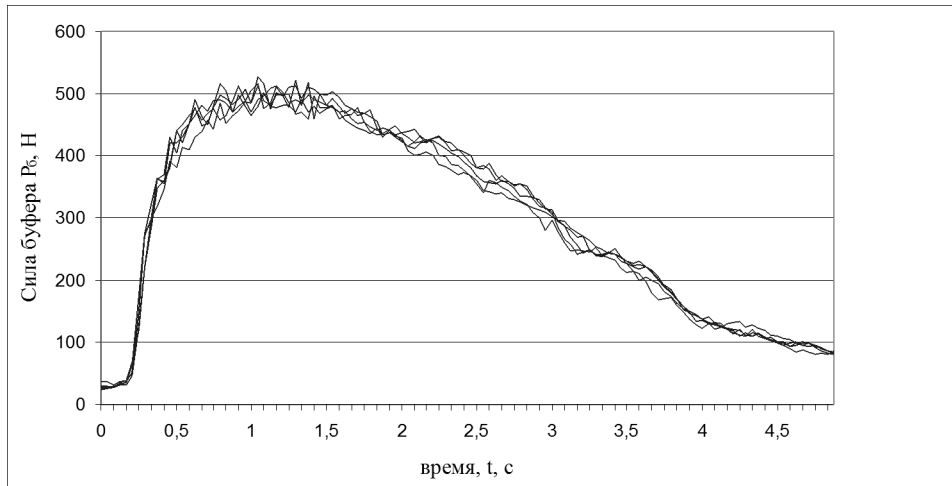


Рис. 8. График зависимости силы буфера от времени для 6-ти комплектов шариков и жесткости пружин 88 Н/м

Графики зависимостей показали, что сила буфера возрастает до максимума в первой четверти суммарного промежутка времени срабатывания буферного устройства, после чего плавно уменьшается практически до нуля.

Такой характер изменения силы буферного устройства подтверждает ранее полученные теоретические зависимости о способности буферного устройства пружинно-шарикового типа поглощать энергию движущегося мостового крана [10, 11].

Обработка результатов проведенных испытаний проводилась в соответствии с статистикой малой выборки [12]. Среднее арифметическое полученных экспериментальных значений силы буферного устройства

$$\bar{x} = \frac{1}{j} \sum_{i=1}^j x_i, \tag{1}$$

где x_i – значение силы буферного устройства;

j – объем выборки.

Дисперсия для каждой серии измерений

$$D = \sigma^2 = \frac{1}{j} \sum_{i=1}^j (x_i - \bar{x})^2. \tag{2}$$

Достоверность результатов проведенных экспериментов оценивалась по значениям критерия Кохрена [12]

$$G_{\max} = \frac{\max D_j}{\sum_{i=1}^j D_i} \leq G_{\alpha} \quad (3)$$

где $\max D_j$ – наибольшее значение дисперсии для j параллельных серий;

$\sum_{i=1}^j D_i$ – сумма дисперсий j – ой серии.

Результаты статистической оценки достоверности экспериментальных данных приведены в таблице 2.

Статистическая оценка достоверности экспериментальных данных

Таблица 2

Время t, c	Номер партии испытания	Измеренные значения силы буфера P_6, H в одной партии испытания					Результаты обработки		
		1	2	3	4	5	\bar{x}	$D = \sigma^2$	G_{\max}
0,5	1	346	370	354	359	350	355,8	68,96	0,47
	2	344	372	352	361	348	355,4	100,6	
	3	348	368	356	357	352	356,2	44,96	
1,5	1	500	496	496	501	481	494,8	51,76	0,627
	2	504	497	494	496	500	498,2	12,16	
	3	502	490	492	498	494	495,2	18,56	
2,5	1	435	425	437	447	440	436,8	51,36	0,423
	2	440	430	428	450	438	437,2	61,76	
	3	442	438	430	445	432	437,4	32,64	
3,5	1	247	245	245	281	286	260,8	346,5	0,52
	2	245	249	247	273	275	257,8	176,9	
	3	252	242	242	262	273	254,2	143,3	
4,5	1	36	28	24	25	29	28,4	17,84	0,49
	2	37	29	25	27	30	29,6	16,64	
	3	31	28	28	29	27	28,6	1,84	

В соответствии с формулой (3), максимальное расчетное значение критерия Кохрена

$$G_{\max} = \frac{51,76}{51,76 + 12,16 + 18,56} = 0,627$$

получено при определении величины силы буферного устройства при $t = 1,5c$. Табличное значение критерия Кохрена, соответствующее

доверительной вероятности 0,95 для количества параллельных серий испытаний 3 при количестве степеней свободы $q = j - 1 = 5 - 1 = 4$, равно 0,746 [12]. Так как для данного, и для остальных значений времени t выполнялось условие $G_{\max} \leq G_{\alpha}$, то результаты экспериментов, можно считать, признанными достоверными.

Полученные результаты обработки данных испытаний подтвердили работоспособность и целесообразность применения экспериментального комплекса для исследования процесса срабатывания буферного устройства пружинно-шарикового типа.

Выводы:

1. Разработан экспериментальный комплекс, который с высокой точностью, позволяет проводить исследования процесса срабатывания буферного устройства пружинно-шарикового типа.

2. Оценка результатов подтвердила достоверность испытаний, а так же работоспособность и адекватность экспериментального комплекса.

3. Испытания подтвердили полученные ранее теоретические зависимости о способности буферного устройства пружинно-шарикового типа поглощать энергию движущегося крана.

ЛИТЕРАТУРА

1. Н.А. Лобов. Динамика передвижения кранов по рельсовому пути: Учебное пособие. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003. – 232 с.

2. T.N. Haas, P. Mainoon, P.E. Dunaiski. The effect of parameters on the end buffer impact force history of the crane, Journal of the South African Institution of Civil Engineering – Vol.54, No 1, pp.55-62, 2012.

3. T.N. Haas. Numerical (FEA) Evaluation of Crane End Buffer Impact Forces, Doctorate degree dissertation, University of Stellenbosch, Stellenbosch, 2007, 243 p.

4. Л.Н. Никольский. Фрикционные амортизаторы удара. - М.: Машиностроение, 1964. – 171 с.

5. <http://www.raznoves.ru/info.htm>

6. Д. Шмид, А. Бауман, Х. Кауфман, Б. Зиппель. Управляющие системы и автоматика для мехатроники. - Москва: Техносфера, 2007. – 584 с.

7. И.В. Антонец Методы расчета и моделирования упругих элементов : учебное пособие/ И.В. Антонец, А.П. Терешенок. – Ульяновск: УлГТУ, 2013. – 121 с.

8. SIMATIC Produkte für Totally Integrated Automation. Katalog ST 70 · 2013 - Siemens AG, 2013. – 1220 с.

9. Семенюк В.Ф., Лингур В.Н. Особенности шарикового передаточного механизма // Праці Одеського політехнічного університету: Науковий та науково-виробничий збірник. – Одеса, 2012. – Вип. 2(39). – С. 55–60.

10. В.Ф. Семенюк, В.Н.Лингур. Влияние параметров пружинно-шарикового буферного устройства на динамические нагрузки мостового крана// Збірник наукових праць УкрДАЗТ. – Харків, 2014. - Вип. 148(1). – с. 59-66.

11. V.F. Semenjuk., V.N. Lingur. Influence of friction on the efficiency of springs-ball buffer device of bridge cranes. Eastern European Scientific Journal – No 6, pp.295-303, 2014.

12. Х.-Й. Миттаг, Х. Ринне. Статистические методы обеспечения качества. – М.: Машиностроение. 1995. – 600 с.