

# СТАТИСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ МЕХАНИЧЕСКОЙ ЧАСТИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПОДЪЕМА МОСТОВЫХ КРАНОВ

**Ю.С. Усынин, В.И. Заляпин, М.С. Бутаков**  
г. Челябинск, ЮУрГУ

## STATISTICAL MODEL OF A MECHANICAL PART OF THE ELECTRIC DRIVE OF BRIDGE CRANE LIFTING

**Y.S. Usynin, V.I. Zalyapin, M.S. Butakov**  
Chelyabinsk, South Ural State University

Предложена статистическая модель расчета упругого прогиба пролетных балок мостового крана.

**Ключевые слова:** статистическая модель, упругий прогиб пролетных балок, мостовой кран.

A statistical model for calculation the rebound beam deflection of the bridge crane passage beams is suggested.

**Keywords:** statistical model, rebound beam deflection of the passage beams, bridge crane.

Механическая часть электропривода подъема мостовых кранов отличается сложностью и разнообразием конструкции, что делает конкретный расчет этой части крана весьма трудоемким и нерациональным. В то же время всеми авторами и разработчиками проектов признается существенное влияние упругих податливостей в механической системе на процессы в электроприводе подъема мостового крана. Одним из важнейших параметров, учет которых необходим при проектировании электроприводов мостовых кранов, является *прогиб пролетных балок*. Прогиб связан с рядом характеристик мостового крана, которые зависят от конструкции крана, режима его работы, времени нахождения в эксплуатации, длины пролетных балок, циклов нагружения и т. п. Влияние перечисленных показателей на величину прогиба достоверно не известно.

Целью настоящей работы является установление степени влияния перечисленных параметров на *прогиб пролетных балок*.

В качестве основного метода исследования был принят метод статистического анализа экспериментальных данных.

Основанием для анализа упомянутой зависимости, явились данные наблюдений по 38 мостовым кранам с различными техническими параметрами, важнейшими среди которых были:  $Q_{\text{ном}}$  – номинальная грузоподъемность, т;  $L_m$  – пролет крана, м;  $T$  – возраст крана (отрезок времени от даты его производства до даты проведения испытаний), год и  $N$  – число циклов за время эксплуатации (под циклом понимается одна рабочая операция, включающая в себя подъем, перемещение и опускание груза). Величина прогиба пролетных балок мостового крана,  $\text{мм}$ , рассматривалась как отклик системы на различные комбинации технических характеристик, перечисленных выше.

В процессе синтеза модели крана, описывающей зависимость величины прогиба его пролетных балок от эксплуатационных параметров, решались следующие стандартные статистические задачи:

- корреляционный анализ предикторов (эксплуатационных характеристик) с целью выявления линейных связей между ними [1, 2];
- дисперсионный анализ предикторов с целью выявления наиболее значимых показателей [1, 3];
- регрессионный анализ линейной зависимости прогиба пролетных балок мостового крана от эксплуатационных показателей, с целью получения расчетных соотношений [2, 3].

Все расчеты проводились с использованием пакета программ статистического анализа SPSS-15 [4, 5] (лицензия ГОУ ВПО ЮУрГУ L №071115 от 15 ноября 2007 года с продлением на 2008, 2009 гг.).

Корреляционный анализ предикторов позволил установить, что все включенные в анализ переменные значимо коррелируют с переменной прогиб пролетных балок, однако, имеет место т. н. коллинеарность предикторов – переменные  $Q_{\text{ном}}$ ,  $L_m$  и  $N$  связаны.

Результаты регрессионного анализа представлены в таблице.

Таблица

Предикт.	Коэффициенты		95 % довер. интервал В	
	B	Std. Errort	Низ	Верх
(Constant)	7.877	4.416	-1.107	16.861
$Q_t$	.062	.060	-.059	.183
$L_m$	.352	.147	.054	.651
$T_{\text{year}}$	-.088	.066	-.222	.047
kod_cycl	-.738	.176	-1.096	-.380

Линейная модель для мостовых кранов представлена в виде

$$Y_{mm} = 7,877 + 0,062 \cdot Q_t + 0,352 \cdot L_m - \\ - 0,088 \cdot T_{year} - 0,738 \cdot kod\_cycl.$$

Здесь переменная  $cod\_cycl = N \cdot 10^{-5}$ . Как видно из таблицы, значимыми переменными являются  $L_m$  и  $cod\_cycl$ . Именно они, в основном, определяют изменчивость переменной  $Y_{mm}$ .

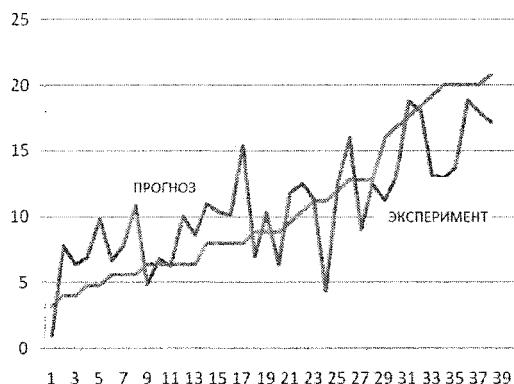
Значения множественного коэффициента корреляции ( $R=0,74$ ) и коэффициента детерминации ( $R^2 = 0,598$ ) говорят о достаточно хорошей аккумуляции моделью информации, заключенной в исходных данных – модель аккумулирует около 60 % экспериментальной информации. Значение критерия Фишера ( $F=12, 290$ ) свидетельствует об адекватности регрессионной модели экспериментальным данным (уровень значимости менее 0,001).

Допустимая погрешность в величине прогиба мостового крана обычно определяется экспериментальным путем при нагружении крана предельно допустимым для него грузом и измерении величины прогиба. Нормативные документы не оговаривают величину допустимой погрешности при экспериментальном определении прогиба балки [6, 7]. Исходя из опыта проведения подобных экспериментов, допустимая погрешность определяется применяемой приборной базой и может быть принята  $\Delta Y = \pm 1$  мм.

Можно считать эту величину вполне приемлемой при проектировании привода. С этой точки зрения интересно сравнить величину прогиба, прогнозируемую регрессионной моделью, с наблюдающейся экспериментально. На рисунке по оси абсцисс отложены номера мостовых кранов, упорядоченные по возрастанию величины наблюдаемого в эксперименте прогиба, по оси ординат – величина прогиба: экспериментальная и прогнозируемая регрессионной моделью. Анализ отклонений экспериментальных данных от прогнозируемых показывает, что, несмотря на верный качественный характер модели, в количественном плане модель нуждается в совершенствовании. Средняя абсолютная ошибка прогноза составляет 2,8 мм, средняя относительная – около 26 %.

### Выводы

Методами статистического анализа показано, что величину прогиба мостового крана можно



прогнозировать с помощью математической модели, представляющей собой уравнение множественной линейной регрессии. Наиболее значимыми факторами, определяющими величину прогиба, являются пролет мостового крана и количество циклов работы крана за срок эксплуатации. Остальные параметры (грузоподъемность и возраст крана) слабо влияют на модель.

### Литература

1. Айвазян, С.А. Прикладная статистика. Исследование зависимостей / С.А. Айвазян, И.С. Енюков, Л.Д. Мешалкин. – М.: ФиC, 1985. – 487 с.
2. Справочник по прикладной статистике / под ред. Э. Ллойда, У. Лейдермана, Ю.Н. Тюрина. – М.: ФиC, 1989. – Т. 1. – 510 с.
3. Справочник по прикладной статистике / под ред. Э. Ллойда, У. Лейдермана, С.А. Айвазяна, Ю.Н. Тюрина. – М.: ФиC, 1990. – Т. 2. – 526 с.
4. SPSS: искусство обработки информации. Анализ статистических данных и восстановление скрытых закономерностей: пер. с нем. / А. Бюль, П. Цёфель. – СПб.: ООО «ДиаСофтЮП», 2002. – 608 с.
5. Наследов, А. SPSS 15. Профессиональный статистический анализ данных / А. Наследов. – М.; СПб.: ПИТЕР, 2008. – 416 с.
6. Краны. Правила и методы испытаний. Международный стандарт ИСО 4310-81. – 7 с.
7. ГОСТ 27584-88. Краны мостовые и козловые электрические. Общие технические условия. – М.: Издательство стандартов, 1988. – 24 с.

Поступила в редакцию 12.06.2010 г.

**Усынин Юрий Семёнович.** Доктор технических наук, профессор кафедры электропривода и автоматизации промышленных установок, Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск. Контактный телефон: 8 (351) 267-96-90.

**Yuri Semyonovich Usynin** is a Dr.Sc. (Engineering), Professor of the Electric Drive and Automation of the Industrial-Scale Plants Department of South Ural State University. 454080, Chelyabinsk, 76 Lenin Prospect. Tel.: 8 (351) 267-96-90.

**Заляпин Владимир Ильич.** Кандидат физико-математических наук, профессор кафедры математического анализа, Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск.

**Vladimir Il'yich Zalyapin** is Cand.Sc. (Physics and Mathematics), Professor of the Mathematical Analysis Department of South Ural State University, Chelyabinsk.

**Бутаков Михаил Сергеевич.** Аспирант кафедры электропривода и автоматизации промышленных установок, Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск. Контактный телефон: 8 (351) 267-96-90.

**Michail Sergeevich Butakov** is a postgraduate student of the Electric Drive and Automation of the Industrial-Scale Plants Department of South Ural State University, Chelyabinsk. Tel.: 8 (351) 267-96-90.