

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: $Q_{ном}$ - 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, Y_{mm} , 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 $Q_{ном}$, L_m и N связаны.

Результаты регрессионного анализа представлены в таблице.

Таблица

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

Линейная модель для мостовых кранов представлена в виде

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

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} .

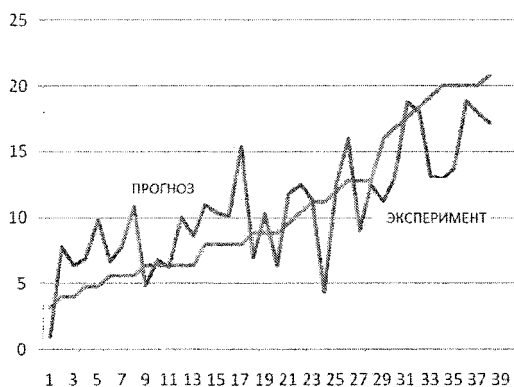
Значения множественного коэффициента корреляции ($R=0,74$) и коэффициента детерминации ($R^2=0,598$) говорят о достаточно хорошей аккумуляции моделью информации, заключенной в исходных данных – модель аккумулирует около 60 % экспериментальной информации. Значение критерия Фишера ($F=12, 290$) свидетельствует 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.: ФиС, 1985. – 487 с.
2. *Справочник по прикладной статистике / под ред. Э. Ллойда, У. Лейдермана, Ю.Н. Тюрина.* – М.: ФиС, 1989. – Т. 1. – 510 с.
3. *Справочник по прикладной статистике / под ред. Э. Ллойда, У. Лейдермана, С.А. Айвазяна, Ю.Н. Тюрина.* – М.: ФиС, 1990. – Т. 2. – 526 с.
4. *SPSS: искусство обработки информации. Анализ статистических данных и восстановление скрытых закономерностей: пер. с нем. / А. Бююль, П. Цёфелъ.* – 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 Prospekt. Tel.: 8 (351) 267-96-90.

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

Vladimir Ilyich 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.