ограниченная практика страхования лесов от пожаров, гибели, незаконных вырубок и других рисков.

Экологическое страхование в Украине только начинает делать первые шаги. Необходимо разработать методику оценки экологических рисков, страховой стоимости и тарифов, урегулировать законодательно-правовую базу, что позволит в перспективе создать комплексную систему экологического страхования, охватывающую всех природопользователей.

Таким образом, в условиях экономической и социальной нестабильности и технологического роста увеличивается вероятность возникновения чрезвычайных ситуаций, что требует гарантированного финансирования мер по их предотвращению и ликвидации последствий для окружающей природной среды. Решение проблемы может быть связано с развитием системы экологического страхования, которое не только оказывает своевременную финансовую помощь при реабилитации и восстановлении компонентов окружающей среды, но и является методом снижения риска возникновения чрезвычайных ситуаций.

1.Боков В.А., Лищук А.В. Основы экологической безопасности. – Симферополь: Сонат, 1998. – 224 с.

2.Григорьев А.А. Экологические уроки прошлого и современности. – Л.: Наука, 1991. – 256 с.

3.Андрианов Б.В. Прогресс человечества и экологические кризисы // Изв. Российской АН. Сер. Геогр. – М., 1993. – 125 с.

4.Моткин Г.А. Основы экологического страхования. – М.: Наука, 1996. – 192 с.

5.Серов Г.П. Основы экологического страхования. – М.: МНЭПУ, 1995. – 64 с.

6.Экология города / Под ред. Ф.В.Стольберга. – К.: Либра, 2000. – 464 с.

7.Мягков С.М., Козлов К.А. Распространенность техногенных и природных чрезвычайных ситуаций в России // Вестник Московского ун-та. Сер.5. География. –1993. – №5. – 112 с.

Получено 29.03.2007

УДК 311.16 : 519.876.2 : 531.21

Н.А.ШУЛЬГА, А.А.БОБУХ, кандидаты техн. наук, Д.А.КОВАЛЕВ
Харьковская национальная академия городского хозяйства

ПРИМЕНЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА МНОЖЕСТВЕННОЙ КОРРЕЛЯЦИИ КАК КРИТЕРИЯ АДЕКВАТНОСТИ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СТАТИКИ И РЕАЛЬНОГО ОБЪЕКТА

Рассматриваются вопросы применения коэффициента множественной корреляции для оценки тесноты связи между фактическими и нормативными данными как критерия адекватности математических моделей статики и реального объекта управления.

Известно [1], что коэффициент множественной корреляции R показывает оценку тесноты связи между независимыми переменными X_1 и X_2 и зависимой переменной Y, и является своеобразным критерием адекватности математической модели статики и реального объекта.

Для проверки сказанного рассмотрим результаты расчета, проведенного по нормативному температурному графику для централизованного теплоснабжения г.Харькова и фактическим экспериментальным данным, полученным на ПТС (предприятии районного теплоснабжения) Дзержинского района г.Харькова*. Исходные данные представлены в виде таблицы, где ф – фактические данные, н – нормативные данные.

№ п/п	Температура наружного воздуха, (X_1) °C	Фактические данные		По температурному графику	
		температура теплоносителя в подающем трубопроводе, ($X_2^ф$) °C	температура теплоносителя в обратном трубопроводе, ($Y^ф$) °C	температура теплоносителя в подающем трубопроводе, ($X_2^н$) °C	температура теплоносителя в обратном трубопроводе, ($Y^н$) °C
1	3,6	67	26	77	42,5
2	2,7	68	24	78,5	42,5
3	3,9	68	27	77	42,5
4	2,8	67	25	78,5	42,5
5	2,1	69	25	81,5	43,6
6	0,7	69	25	84	44,7
7	0,7	70	27	84	44,7
8	0,6	70	25	84	44,7
9	0,1	75	31	87	46
10	-1,3	78	36	89	47
11	-2,4	77	30	92	48
12	-1,6	77	28	92	48
13	-1,4	78	30	89	47
14	1,4	77	28	84	44,4
15	5,0	76	28	77	43
16	-0,2	77	28	87	46
17	-2,6	79	28	95	49
18	-4,8	78	28	100	51
19	-0,2	77	27	87	46
20	-6,1	75	26	103	52
21	-7,9	75	29	108,5	54,7
22	-10,2	77	26	114	57
23	-8,1	80	25	108,5	54,7
24	-14,3	76	25	125	61
25	-16,4	74	24	131	63,5
26	-16,8	74	23	134	64,5
27	-20,5	76	26	135	63,5
28	-21,1	71	21	135	63,5
29	-20,3	76	19	135	64
30	-15,7	81	32	131	63,5
31	-14,0	89	24	125	61

* В получении экспериментальных данных принимали участие К.В.Вайкова и Г.П.Прошутя.

По алгоритму, приведенному в [2], и данным таблицы рассчитаны соответствующие параметры, в частности:

простые средние арифметические значения фактических и нормативных величин: $\overline{Y^{ф}}$ =27,42°С, $\overline{Y^{н}}$ =51,16°С, $\overline{X_1}$ =-5,24°С, $\overline{X_2^{ф}}$ =74,87°С, $\overline{X_2^{н}}$ =100,27°С;

отклонения переменных от их простых средних арифметических значений:

$y_i^{ф} = Y_i^{ф} - \overline{Y^{ф}}$, $y_i^{н} = Y_i^{н} - \overline{Y^{н}}$, $x_{1i} = X_{1i} - \overline{X_1}$, $x_{2i}^{ф} = X_{2i}^{ф} - \overline{X_2}^{ф}$, $x_{2i}^{н} = X_{2i}^{н} - \overline{X_2}^{н}$;

средние квадратические отклонения тех же переменных (°С):

$$\sigma_{Y^{ф}} = \sqrt{\sum_{i=1}^{N} (y_i^{ф})^2 / N}\,; \quad \sigma_{Y^{н}} = \sqrt{\sum_{i=1}^{N} (y_i^{н})^2 / N}\,;$$

$$\sigma_{X_1^{ф}} = \sqrt{\sum_{i=1}^{N} (x_{1i}^{ф})^2 / N}\,; \quad \sigma_{X_2^{ф}} = \sqrt{\sum_{i=1}^{N} (x_{2i}^{ф})^2 / N}\,;$$

$$\sigma_{X_2^{н}} = \sqrt{\sum_{i=1}^{N} (x_{2i}^{н})^2 / N}\,,$$

$\sigma_{Y}^{ф} = 3{,}23$; $\sigma_{Y}^{н} = 7{,}91$; $\sigma_{X1} = 8{,}06$; $\sigma_{X2}^{ф}$=4,73; $\sigma_{X2}^{н}$=20,58;

коэффициенты парной корреляции между переменными:

$$r_{Y^{ф}X_1} = \sum_{i=1}^{N} y_i^{ф} x_{1i} / N\sigma_{Y^{ф}}\sigma_{X_1}\,, \quad r_{Y}^{ф}{}_{X1} = 0{,}406,$$

$$r_{Y^{н}X_1} = \sum_{i=1}^{N} y_i^{н} x_{1i} / N\sigma_{Y^{н}}\sigma_{X_1}\,, \quad r_{Y}^{н}{}_{X\,1} = -0{,}988,$$

$$r_{Y^{ф}X_2^{ф}} = \sum_{i=1}^{N} y_i^{ф} x_{2i}^{ф} / N\sigma_{Y^{ф}}\sigma_{X_2^{ф}}\,, \quad r_{Y}^{ф}{}_{X2}^{ф} = 0{,}274,$$

$$r_{Y^{н}X_2^{н}} = \sum_{i=1}^{N} y_i^{н} x_{2i}^{н} / N\sigma_{Y^{н}}\sigma_{X_2^{н}}\,, \quad r_{Y}^{н}{}_{X2}^{н} = 0{,}998,$$

$$r_{X_1\,X_2^{ф}} = \sum_{i=1}^{N} x_{1i} x_{2i}^{ф} / N\sigma_{X_1}\sigma_{X_2^{ф}}\,, \quad r_{X1X2}^{ф} = -0{,}393,$$

$$r_{X_1 X_2^н} = \sum_{i=1}^{N} x_{1i} x_{2i}^н / N\sigma_{X_1}\sigma_{X_2^н}, \quad r_{X1X2}{}^н = -0{,}994;$$

формулы множественной регрессии:

$$Y^ф - \overline{Y^ф} = a_1^ф \cdot (X_{1i} - \overline{X_1}) + a_2^ф (X_{2i}^ф - \overline{X_2^ф}),$$

$$Y^н - \overline{Y^н} = a_1^н \cdot (X_{1i} - \overline{X_1}) + a_2^н (X_{2i}^н - \overline{X_2^н}),$$

при этом коэффициенты a_1 и a_2 определяют из системы уравнений:

$$\begin{cases} a_1^ф \sum\limits_{i=1}^{N} (X_1)^2 + a_2^ф \sum\limits_{i=1}^{N} X_1 X_2^ф = \sum\limits_{i=1}^{N} X_1 Y^ф \\ a_1^ф \sum\limits_{i=1}^{N} X_1 X_2^ф + a_2^ф \sum\limits_{i=1}^{N} (X_2^ф)^2 = \sum\limits_{i=1}^{N} X_2^ф Y^ф \end{cases},$$

$$\begin{cases} a_1^н \sum\limits_{i=1}^{N} (X_1)^2 + a_2^н \sum\limits_{i=1}^{N} X_1 X_2^н = \sum\limits_{i=1}^{N} X_1 Y^н \\ a_1^н \sum\limits_{i=1}^{N} X_1 X_2^н + a_2^н \sum\limits_{i=1}^{N} (X_2^н)^2 = \sum\limits_{i=1}^{N} X_2^н Y^н \end{cases},$$

где $\sum\limits_{i=1}^{N} (X_1)^2 = \sum\limits_{i=1}^{N} (X_{1i} - \overline{X_1})^2$; $\sum\limits_{i=1}^{N} (X_1)^2 = 2013{,}11;$

$$\sum_{i=1}^{N} (X^н_2)^2 = \sum_{i=1}^{N} (X_{2i}^н - \overline{X_2^н})^2; \quad \sum_{i=1}^{N} (X_2^н)^2 = 13129{,}83;$$

$$\sum_{i=1}^{N} (X^ф_2)^2 = \sum_{i=1}^{N} (X_{2i}^ф - \overline{X_2^ф})^2; \quad \sum_{i=1}^{N} (X_2^ф)^2 = 693{,}58;$$

$$\sum_{i=1}^{N} X_1 X^н_2 = \sum_{i=1}^{N} (X_{1i} - \overline{X_1})(X_{2i}^н - \overline{X_2^н}); \quad \sum_{i=1}^{N} X_1 X_2^н = -5113{,}29;$$

$$\sum_{i=1}^{N} X_1 X^ф_2 = \sum_{i=1}^{N} (X_{1i} - \overline{X_1})(X_{2i}^ф - \overline{X_2^ф}); \quad \sum_{i=1}^{N} X_1 X_2^ф = -464{,}12;$$

$$\sum_{i=1}^{N} X_1 Y^н = \sum_{i=1}^{N} (X_{1i} - \overline{X_1})(Y_i^н - \overline{Y^н}); \quad \sum_{i=1}^{N} X_1 Y^н = -1953{,}64;$$

$$\sum_{i=1}^{N} X_1 Y^ф = \sum_{i=1}^{N} (X_{1i} - \overline{X_1})(Y_i^ф - \overline{Y^ф}); \quad \sum_{i=1}^{N} X_1 Y^ф = 327{,}42;$$

$$\sum_{i=1}^{N} X_2^{н} Y^{н} = \sum_{i=1}^{N} (X_{2i}^{н} - \overline{X_2^{н}})(Y_i^{н} - \overline{Y^{н}})\,; \quad \sum_{i=1}^{N} X_2^{н} Y^{н} = 5038{,}89;$$

$$\sum_{i=1}^{N} X_2^{\phi} Y^{\phi} = \sum_{i=1}^{N} (X_{2i}^{\phi} - \overline{X_2^{\phi}})(Y_i^{\phi} - \overline{Y^{\phi}})\,; \quad \sum_{i=1}^{N} X_2^{\phi} Y^{\phi} = 129{,}6.$$

Тогда:

$$\begin{cases} 2013{,}11a_1^{\phi} - 464{,}12a_2^{\phi} = 327{,}42 \\ -464{,}12a_1^{\phi} - 693{,}58a_2^{\phi} = 129{,}6 \end{cases},$$

$$\begin{cases} 2013{,}11a_1^{н} - 5113{,}29a_2^{н} = -1953{,}64 \\ -5113{,}29a_1^{н} + 13129{,}83a_2^{н} = 5038{,}89 \end{cases},$$

$a_1^{ф}=0{,}243$; $a_1^{н}=0{,}400$; $a_2^{ф}=0{,}350$; $a_2^{н}=0{,}539$;

коэффициент множественной корреляции:

$$R^{\phi} = \sqrt{\left(r^2_{Y^{\phi}X_1} + r^2_{Y^{\phi}X_2^{\phi}} - 2r_{Y^{\phi}X_1} \cdot r_{Y^{\phi}X_2^{\phi}} \cdot r_{X_1X_2^{\phi}}\right) / \left(1 - r^2_{X_1X_2^{\phi}}\right)},$$

$$R^{н} = \sqrt{\left(r^2_{Y^{н}X_1} + r^2_{Y^{н}X_2^{н}} - 2r_{Y^{н}X_1} \cdot r_{Y^{н}X_2^{н}} \cdot r_{X_1X_2^{н}}\right) / \left(1 - r^2_{X_1X_2^{н}}\right)}.$$

Тогда $R^{\phi} = 0{,}622$; $R^{н} = 1{,}0$.

Полученные значения подставляем в формулу множественной регрессии:

$$Y^{\phi} - 27{,}42 = 0{,}243\,(X_1 + 5{,}24) + 0{,}350\,(X_2^{\phi} - 74{,}87);$$
$$Y^{н} - 51{,}16 = 0{,}4\,(X_1 + 5{,}24) + 0{,}539\,(X_2^{н} - 100{,}27).$$

Сравнение полученных математических моделей статики рассмотренного реального объекта по значениям коэффициентов множественной регрессии R при выполнении неравенства $R > r_{YX1}$; $R > r_{YX2}$; $R > r_{X1X2}$ свидетельствует, что полученные математические модели адекватны реальному объекту даже в случае фактических значений соответствующих температур. Коэффициенты a_1 и a_2 и простые средние арифметические значения $\overline{Y}$, $\overline{X_1}$, $\overline{X_2}$ необходимо уточнять в процессе функционирования реального объекта ПТС при реализации разрабатываемой функциональной схемы автоматизации этого объекта с учетом соответствующих ограничений.

1.Кулініч Г.Л. Вища математика: У 2 кн. Кн. 2. Спеціальні розділи. – К: Либідь, 2003. – 400 с.

2.Бобух А.О., Герасимова О.М. Комбіновані системи автоматичного керування об’єктами теплопостачання і опалення // Коммунальное хозяйство городов: Науч.-техн. сб. Вып.33. – К: Техніка, 2001. – С.192-196.

Получено 12.02.2007