

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ МНОГОФАКТОРНЫХ МОДЕЛЕЙ В ЗАДАЧЕ ОЦЕНКИ ФИЗИЧЕСКОГО ИЗНОСА ФУНДАМЕНТОВ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

И. А. Кудрявцев, С. И. Антохов

Белорусский Государственный университет транспорта
г. Гомель, Республика Беларусь.

В статье представлена методика формирования математической модели по определению физического износа фундаментов зданий и сооружений. Получены регрессионные зависимости износа фундаментов.

Ключевые слова: фундамент, фактор, износ, корреляция, классификация, регрессия, модель.

Исследования в задаче построения многофакторных моделей износа фундаментов зданий и сооружений требуют использования обширного статистического материала. Это обусловлено необходимостью моделирования и прогнозирования работы сооружения под влиянием различных условий эксплуатации. Имея обширную статистику физического износа сооружений под воздействием ряда факторов, возможно прогнозирование остаточного срока службы сооружения, периодичности и сложности проводимых ремонтов.

Аналізу подвергались статистические данные, полученные при обследовании реальных объектов (см. табл. 1).

$У$ – величины износа фундамента; X_1 – время эксплуатации; X_2 – продолжительность вибрации, за время эксплуатации; X_3 – ускорение в грунтовом массиве; X_4 – интервал отдыха сооружения от динамического воздействия; X_5 – модуль деформации грунта основания; X_6 – жесткость сооружения; X_7 – износ канализации; X_8 – износ водоснабжения; X_9 – качество возведения объекта; X_{10} – отклонение от паспортной прочности материала; X_{11} – неравномерная осадка.

Весь процесс формирования математической модели состоял из следующих этапов.

Этап 1. Классификация исходных признаков.

На данном этапе производится классификация, конечной целью которой является нахождение групп признаков, которые в рамках одной группы характеризовали бы проявления одного фактора. На этом этапе проводится классификация с использованием факторного анализа — анализ по исходным призна

Таблица 1

Величины физического износа и значения факторов воздействия

Y	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀	X ₁₁
14	8	1,1	0,31	25	10,5	1	21	14	5	12	13
9	10	0,2	0,11	111	21,4	1,3	17	11	4	4	4
31	18	1	0,22	18	27,1	1	17	17	4	2,4	14
20	21	—	—	—	27,6	1	80	80	5	1	15
24	10	0,6	0,18	15	28,4	1,3	65	65	4	14	4
8	5	0,5	0,14	10	14,3	1	10	10	4	6	3
7	4	0,8	0,1	6	21,5	1,3	7	9	5	3	5
15	8	0,5	0,08	16	16,3	1,5	11	15	4	4	5
19	9	0,4	0,18	21,5	14,4	1,3	15	18	4	7	4
23	10	1	0,14	10	27,8	1,3	21	24	4	9	3
28	18	0,5	0,1	20	11,3	1	31	37	5	4	12
52	31	3,1	0,11	10	16,1	1,4	94	100	5	3	14
14	10	0,6	0,5	16,2	10,3	1,2	51	67	4	8	9
20	14	0,8	0,4	17,1	14,5	1,3	83	94	3	11	14
20	11	1	0,07	11	18,1	1,4	54	59	5	3	10
28	23	1,3	0,26	18	13,2	1,6	80	51	4	4	22
44	25	1,7	0,26	15	17,6	1,7	56	4	4	6	24
27	18	0,6	0,14	30	19,4	1,8	37	31	4	6	21
10	5	—	—	—	12,3	1,4	12	14	4	11	4
8	4	—	—	—	10,4	1,3	12	15	4	11	4
17	10	—	—	—	10,6	1,4	31	36	4	5	6
19	14	—	—	—	13,7	1,1	57	54	5	5	8
28	15	0,6	0,08	25	14,5	1	51	51	4	5	9

кам с выделением двух главных компонент, корреляционного анализа — по значениям суммарных корреляций исходных признаков, полученных на основе матрицы парных корреляций (см. табл.2), а также производится кластерный анализ по исходным признакам по следующим методам:

Таблица 2

Корреляционная матрица по исходным признакам

	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	Y
X1	1,0	,74	,03	-,09	-,09	,38	,68	,41	,05	-,30	,76	,93
X2	,74	1,0	,02	-,34	-,03	,26	,59	,41	,34	-,18	,47	,77
X3	,03	,02	1,0	-,12	-,33	-,04	,31	,28	-,42	,50	,31	-,06
X4	-,09	-,34	-,12	1,0	,08	,01	-,20	-,23	-,15	-,10	-,13	-,26
X5	-,09	-,03	-,33	,08	1,0	,13	-,17	-,17	-,14	,05	-,25	,07
X6	,38	,26	-,04	,01	,13	1,0	,33	,05	-,18	-,11	,49	,32
X7	,68	,59	,31	-,20	-,17	,33	1,0	,86	-,14	,16	,52	,63
X8	,41	,41	,28	-,23	-,17	,05	,86	1,0	-,09	,19	,16	,38
X9	,05	,34	-,42	-,15	-,14	-,18	-,14	-,09	1,0	-,34	,04	,05
X10	-,30	-,18	,50	-,10	,05	-,11	,16	,19	-,34	1,00	-,15	-,18
X11	,76	,47	,31	-,13	-,25	,49	,52	,16	-,04	-,15	1,00	,63
Y	,93	,77	-,06	-,26	,07	,32	,63	,38	,05	-,18	,63	1,00

- по методу иерархической классификации (см. рис.1 и табл.3);
- по методу К-средних (см. табл. 3).

Для облегчения последующего сравнения результатов различных классификаций, желательно получать одинаковое количество групп.

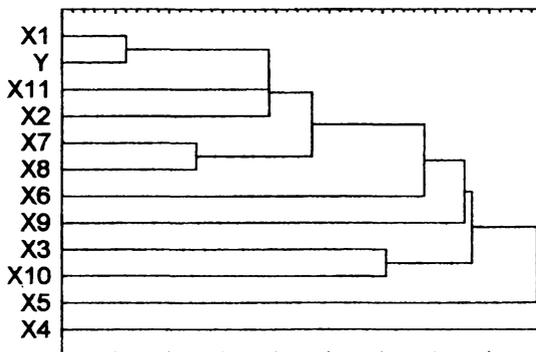


Рис. 2. Схема иерархической классификации

Таблица 3

Результаты согласования вариантов классификаций признаков

Группа	Иерархическая	К-средние	Окончательная
1	X1, Y, X11, X2, X7, X8	X1, X, X6, X7, X8, X11, Y	X1, X2, X7, X8, X11, Y
2	X6, X9, X3, X10	X9	X9, X6
3	X5, X4	X3, X4, X5, X10	X3, X4, X5, X10

2. Выбор информативных признаков.

Цель нахождения информативных (наиболее значимых) признаков X_i состоит в том, чтобы при выполнении следующего этапа можно было значительно сократить количество исследуемых регрессионных моделей. Существуют методики выделения значимых факторов, основанные на использовании матрицы парных корреляций. Признак определяется как информативный, если коэффициент его корреляции с целевым свойством выше порогового минимально допустимого значения, т.е. $R_{i0} > R_{\text{доп}}$ ($R_{\text{доп}}$ как правило равен 0.55). Также, значимый фактор можно выделить при определении порогового значения (R_{Π}) посредством выявления скачка в отсортированном по возрастанию векторе суммарных корреляций признаков $R_i = \sum_{j=0}^{11} R_{ij}$ (см рис. 3). Таким образом при выполнении условия $R_i > R_{\Pi}$ признак X_i считается информативным.

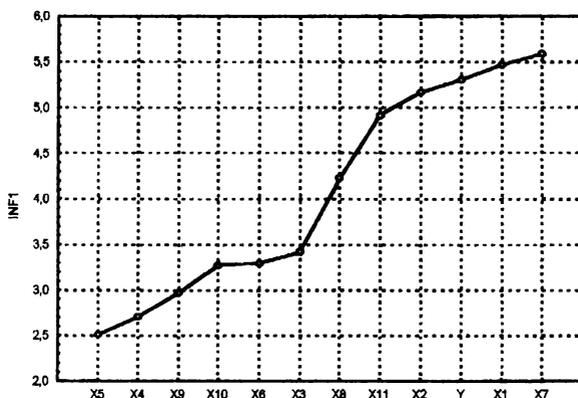


Рис.3. Диаграмма упорядоченных по возрастанию значений суммарных корреляций признаков.

Таблица 4

Группы информативных признаков

Группа	Значимые признаки
1	У, X1, X2, X7
2	X9
3	X4, X10

3. Составление регрессионных моделей и оценка их точности.

На данном этапе, с помощью итерационного процесса подключения информативных признаков из полученных классификацией групп значимых признаков, формируются линейные регрессионные модели, путем вычисления параметров регрессионной зависимости методом наименьших квадратов.

Итерационный процесс формирования регрессионных уравнений состоит в выборе наиболее информативного признака, отслеженного в процессе выполнения предыдущих этапов, и построения регрессионного уравнения $Y = \varphi(X_i)$. При этом оценивается коэффициент точности формирования регрессионной модели i -м нормативным объясняющим признаком (η_i). На второй итерации в полученную модель добавляется следующий за первым информативный признак (X_j) и строится новое регрессионное уравнение: $Y = \varphi(X_i, X_j)$ (см. табл. 5). Оценивая полученный коэффициент точности (коэффициент корреляции), возможно иметь два случая:

1. $\eta_i \geq \eta_j$ --- для всех i и j означает, что множественная регрессия хуже описывает процесс формирования целевого свойства, в нашем случае износ фундаментов, и надо остановиться на предыдущем уравнении;
2. $\eta_i < \eta_j$ --- процесс построения регрессионных моделей надо продолжить.

Полученное уравнение регрессионной зависимости на последней итерации, при которой выполняется условие 1, является итоговым (см. табл. 5).

Надо заметить, что в итоговом уравнении желательно присутствие хотя бы одного информативного члена каждой группы, что обеспечит полноту описания факторных влияний на целевое свойство (износ фундаментов) и следовательно повысит качество модели.

Таблица 5

Уравнения регрессии и характеристики качества регрессионных оценок целевого свойства по информативным объясняющим признакам.

Коэффициенты уравнения регрессии при информативных признаках из групп *						Характеристики качества		
1			2	3		Своб. чл.	R	StErr
X1	X2	X7	X9	X4	X10		8	9
1	2	3	4	5	6	7	8	9
905174	-	-	-	-	-	-0,024	0,905	3,448
-	818377	-	-	-	-	156319	0,774	7,639
-	-	609871	-	-	-	-0,003	0,610	13,817
-	-	-	101398	-	-	0,0028	0,101	21,774
-	-	-	-	-274983	-	156319	0,259	17,739
-	-	-	-	-	-261391	0,0023	0,261	20,497
832369	190606	-	-	-	-	82138	0,94	2,20
994107	-	-120969	-	-	-	0,0348	0,909	3,827
914515	-	-	-547200	-	-	-0,004	0,907	3,911
955800	-	-	-	-192332	-	71114	0,95	1,861
985814	-	-	-	-	180074	0,019	0,919	3,404
860862	200794	-53034	-	-	-	80295	0,941	2,18
826068	200071	-	-13675	-	-	81722	0,940	2,206
894044	87104	-	-	-168154	-	76641	0,951	1,81
871962	181041	-	-	-	113824	81507	0,945	2,022
853481	226761	-67926	-33384	-	-	78763	0,941	2,17
943016	97430	-84581	-	-177775	-	73387	0,953	1,75
990210	208496	-174033	-	-	184960	75063	0,951	1,82
935565	123725	-99701	-33864	-177855	-	71830	0,953	1,74
998246	194453	-169564	18358	-	190647	75745	0,951	1,82
1067287	98560	-193460	146890	-169062	178814	69342	0,962	1,43

*.- значения коэффициентов уравнения регрессии увеличены в 10^6 .

Таким образом, по нашим исследованиям получена следующая модель, которая наиболее адекватно описывает процесс формирования износа фундаментов:

$$Y = 0,069342 + 1,067287X_1 + 0,098560X_2 - 0,193460X_7 + 0,146890X_9 - 0,169062X_4 + 0,178814X_{10}$$

Литература

1. Кудрявцев И.А., Пироговский К.Н. Методические рекомендации по определению физического износа жилых, общественных, промышленных зданий и транспортных сооружений и примерный состав восстановительных работ. Гомель, БелГУТ, 1995.
2. Лукомский Я.И. Теория корреляции и ее применение к анализу производства. М. : Госстатиздат, 1958.