

Б. Н. АВИЛОВ-КАРНАУХОВ

ОБ ИССЛЕДОВАНИИ МЕХАНИЗМОВ ПО ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ

(Представлено академиком А. В. Винтером 5 III 1952)

Энергетические характеристики механизмов имеют важное значение для анализа и нормирования энергопотребления⁽¹⁾. Нами предложено применять энергетические характеристики для исследования механизмов. Используя энергетические характеристики, возможно, например, определить наиболее вероятное значение таких основных показателей, как коэффициенты трения или коэффициенты сопротивления в исполнительской части механизма, произвести сравнительную оценку качеств механизмов или их модификации и т. п.

Использование энергетических характеристик для указанных целей предполагает, что эти характеристики представляют некоторые реальные связи, отображающие качества механизмов и условия их работы. В условиях нормальной эксплуатации механизмов связи эти определяются не только известными основными показателями, но и большим или меньшим числом второстепенных, случайных, неустранимых в практике факторов. При подобных обстоятельствах зависимостям функциональным противопоставляются основанные на опытных данных зависимости статистические⁽²⁾. Как следствие, в дальнейшем принимается, что энергетические характеристики являются многомерными статистическими связями.

Отметим кратко, что в настоящее время применение данного метода ограничено некоторыми определенными условиями. В частности: исследуются механизмы с электроприводом, работающие в длительном режиме с переменной, в общем случае, нагрузкой; устанавливается лишь значение показателей, определяющих мощность, потребляемую в исполнительской части машин.

Практическое применение предложенного метода сводится, прежде всего, к определению параметров уравнения энергетической характеристики исследуемого механизма как линейной или нелинейной корреляционной связи, а затем к анализу этих параметров. Поскольку определение параметров уравнений корреляционных связей общеизвестно⁽²⁾, далее непосредственно на примере иллюстрируются некоторые начальные и простейшие приложения данного метода к исследованию одного из механизмов.

Пример. Определить параметры энергетической характеристики и коэффициент сопротивления перемещению угля по жолобу скребкового конвейера w' .

При испытании в нормальных эксплуатационных условиях установленных в штреке скребковых конвейеров типа СТ₂-11 были получены показатели их работы, представленные в табл. 1 (по материалам треста

Показатели, полученные при испытании конвейеров СТ₂-11
(установка в штреке)

P	A													n _i
	15,04	17,22	21,83	23,75	27,50	30,35	32,00	34,05	36,25	41,60	43,80	49,05	56,80	
88,11						1								1
96,96				1			1							2
110,55					1									1
115,93								1						1
127,71			1											1
130,09		1												1
132,35	1													1
135,07								1						1
140,30				1										1
144,90						1								1
146,45								1			1			1
153,01									1	1				2
175,29												1		1
207,40								1						1
218,73									1					1
245,00										1		1		1
256,74													1	1
n _h	1	1	1	2	1	2	1	4	2	1	1	2	1	20

«Кавэлектромонтаж»). В этой таблице и в последующем обозначаем: A_h — производительность конвейера в т/час; P_i — мощность, потребляемую электродвигателем, в квт/км; n_{hi} — частоты, с которыми среди объема данной статистической совокупности встретились соответствующие комбинации A_h и P_i ; n_h — частота значения $A = A_h$; n_i — частота значения $P = P_i$; n — общее число испытаний.

1. В первой части исследования определим параметры энергетической характеристики

$$P_i = f(A) = bA + P_{cl}, \quad (1)$$

предполагая, что искомая связь линейна, как это вытекает из анализа соответствующих функциональных зависимостей для конвейеров.

На основании данных табл. 1 определяются следующие показатели:

1. Полные средние $\bar{A} = \frac{1}{n} \sum n_h A_h = 33,57$; $\bar{P} = \frac{1}{n} \sum n_i P_i = 151,25$.

2. Средние квадратические отклонения (стандарты)

$$\sigma_A = \sqrt{\frac{1}{n} \sum n_h A_h^2 - \bar{A}^2} = 10,452; \quad \sigma_P = \sqrt{\frac{1}{n} \sum n_i P_i^2 - \bar{P}^2} = 46,191.$$

3. Ковариация $\mu_{11} = \frac{1}{n} \sum n_{hi} A_h P_i - \bar{A} \bar{P} = 330,028$.

4. Коэффициент корреляции $r = \mu_{11} / \sigma_A \sigma_P = 0,684$. Оценка значимости коэффициента корреляции выполняется по соотношению $|r| \sqrt{n-1} \cong 3$, чем определяется (3) реальность установленной корреляционной связи.

5. Коэффициент регрессии $\rho_{PA} = r \sigma_P / \sigma_A = 3,023$. Оценка коэффициента регрессии производится по вспомогательному показателю

$$t_p = \rho [\Sigma n_h \cdot (A_h - \bar{A})^2]^{1/2} / s,$$

где

$$s = \left\{ \frac{1}{n-2} [\Sigma n_i \cdot (P_i - \bar{P})^2 - \rho^2 \Sigma n_h \cdot (A_h - \bar{A})^2] \right\}^{1/2} = 35,52;$$

тогда $t_p = 3,99 \cong 4,0$.

Далее из таблицы вероятностей $B(|t| \geq t_1)$ (здесь B — знак вероятности) для $k = n - 2 = 18$ и наблюдаемого $t_p = 4$ находим ((³), табл. V) вероятность случайных значений t . В данном случае $B(|t| \geq 4) \leq 0,001$, чем устанавливается существенное отличие ρ_{PA} от нуля, а тем самым доказываются существование регрессии.

На основе найденных показателей несложно определить параметры искомого уравнения регрессии \bar{P} на A , которое обычно записывают в следующей форме:

$$\bar{P}_{Al} - \bar{P} = \rho_{PA} (A - \bar{A}). \quad (2)$$

Из сравнения уравнений (1) и (2) вытекает: $\rho_{PA} = b = 3,023 \cong 3,0$ квт-ч/т-км и $\bar{P} - \rho_{PA} \bar{A} = P_{cl} = 50,5$ квт/км.

Таким образом, искомая энергетическая характеристика представляется уравнением:

$$\bar{P}_{Al} = bA + P_{cl} = 3,0A + 50,5 \text{ квт/км}. \quad (3)$$

Графически найденная характеристика, выраженная через удельное потребление энергии:

$$\bar{w}_A = \frac{\bar{P}_{Al}}{A} = b + \frac{P_{cl}}{A} = 3,0 + \frac{50,5}{A} \text{ квт-ч/т-км} \quad (4)$$

построена на рис. 1. На этом же чертеже отмечены точки, выражающие так называемую корреляционную связь между производительностью A и соответствующими частными средними значениями потребляемой мощности $\bar{P}_h = \bar{P}_{Al} = \frac{1}{n_h} \Sigma n_{hi} P_i$ или, здесь, надлежащими показателями удельного потребления энергии $\bar{w}_h = \bar{P}_h / A$.

II. Во второй части исследования устанавливаются средние и вероятная величины коэффициента w' , а также средние величины коэффициента трения цепи со скребками по жолобу конвейера f .

Если известные связи (4) между потребляемой мощностью и производительностью конвейеров номинальной длины L км привести к рассматриваемой зависимости $\bar{P}_A = f(A)$, то в итоге будет получена следующая формула:

$$\bar{P}_A = bAL + P_{cl}L \text{ квт}. \quad (5)$$

Здесь

$$b = (1 + b_j) (1 + b_\Delta) 2,725 (w' \cos \psi \pm \sin \psi) \text{ квт-ч/т-км}, \quad (6)$$

$$P_{cl} = (1 + b_j) (1 + p_{c\Delta}) 19,6 q_0 f v \cos \psi + \frac{P_{cJ}}{L} \text{ квт/км}. \quad (7)$$

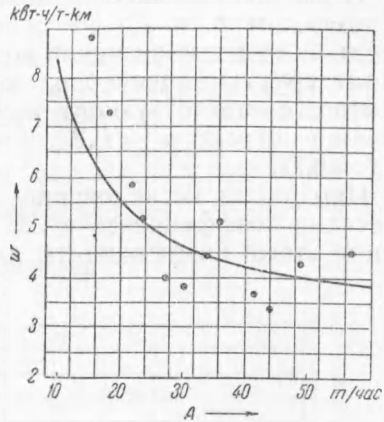


Рис. 1. Энергетическая характеристика скребкового конвейера СТ₂-11

В последних формулах даны, кроме общеизвестных и введенных ранее, следующие обозначения: $b_j = 0,194$, $b_A = 0,15$ — коэффициенты переменных потерь в приводе и узлах трения механизма; $p_{cA} = 0,15$ — коэффициент постоянных потерь в узлах трения механизма; $P_{c1} / L = 18,07$ квт/км — мощность холостого хода привода, отнесенная к единице номинальной длины конвейера. Кроме того, $\psi = 0^\circ$, $q_0 = 12,2$ кг/м и $v = 0,4$ м/сек. Численные значения основных показателей установлены из опыта, а второстепенные величины приняты по каталожным или литературным данным. Что касается коэффициентов w' и f , то в литературе (4) имеются указания лишь о приближенном диапазоне их значений ($w' = 0,3-0,5$; $f = 0,25-0,45$), хотя величина последних оказывает решающее влияние на потребляемую мощность и усилия, действующие в основных частях конвейера.

В дальнейшем по найденным из экспериментального исследования показателям b и P_{c1} на основании формул (6), (7) устанавливаются средние опытные значения коэффициентов w' и f излагаемого примера и для группы конвейеров, доставляющих уголь в лавах (при $\psi = 0^\circ$). В итоге соответствующих вычислений было определено, что для установки в штреке $w' = 0,80$, $f = 0,25$, а для установки в лаве $w' = 0,56$ и $f = 0,77$.

Продолжая исследование, можно установить наиболее вероятные значения коэффициента w' . С этой целью определяются частные значения этого коэффициента для каждого опыта, которых всего было

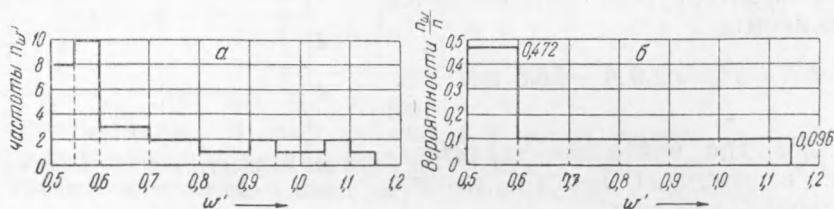


Рис. 2. Распределение частот (а) и вероятностей (б) значений коэффициента w'

выполнено 36. Частные значения возможно определить по средним значениям w' на основе известного положения о том, что относительная погрешность суммы заключается между наибольшей и наименьшей из относительных погрешностей слагаемых.

В данном случае несложно определить сначала погрешность каждого опытного значения P_{A1} относительно соответствующей ординаты найденной прямой регрессии $\bar{P}_{A1} = f(A)$, а затем, поскольку произведение bA является одним из членов выражения для P_{A1} , принять, что измерение A выполнено точно и погрешность b равна погрешности P_{A1} . В результате указанных действий было найдено распределение частот значений w' , представленное на рис. 2а.

Из обобщающей диаграммы распределения вероятностей (рис. 2б) следует, что наиболее вероятные значения коэффициента w' для данных условий, которые определяются, в основном, качествами угля (влажность, размеры кусков и пр.), находятся в пределах 0,5—0,6. Прочие величины являются равновероятными случайными значениями и вызываются аномальными причинами.

Поступило
4 V 1951

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ В. И. Вейц, Изв. АН СССР, ОТН, № 11, 1549 (1946). ² В. И. Романовский, Математическая статистика, 1938. ³ В. И. Романовский, Применение математической статистики в опытном деле, 1947. ⁴ А. О. Спиваковский, Рудничный транспорт, 1949.