

В.А.ЯНЧЕЛЕНКО, канд. техн. наук, доцент, (812) 328-89-39, yanchelenko@yandex.ru

Е.С.ПОДКАТОВА, ассистент, (812) 328-89-39, evgeniyapodkatova@inbox.ru

Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург

V.A.YANCHELENKO, Phd in eng. sc., associate professor, (812) 328-89-39, yanchelenko@yandex.ru

E.S.PODKATOVA, assistant lecturer, (812) 328-89-39, evgeniyapodkatova@inbox.ru

National Mineral Resources University (Mining University), Saint Petersburg

МЕТОДЫ ДИСПЕРСИОННОГО АНАЛИЗА В ЗАДАЧАХ УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА РАБОТЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО АВТОТРАНСПОРТА НА ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТАХ

Рассмотрены вопросы использования методов дисперсионного анализа в задачах улучшения диспетчеризации и качества работы технологического автотранспорта на открытых горных работах. Приведен конкретный пример применения рассмотренного метода для повышения качества перевозочного процесса.

Ключевые слова: диспетчеризация, качество, дисперсионный анализ.

METHOD OF DISPERSION ANALYSIS IN TASKS OF IMPROVEMENT QUALITY OF WORK MOTOR TRANSPORT FOR SURFACE MINING

The article is dedicated to methods of dispersion analysis in tasks of improvement management systems and quality of work technological motor transport for surface mining. An example for application of methods in made for upgrading of vehicular process.

Key words: control centralized traffic, quality, analysis of dispersion.

Дисперсионный анализ позволяет решать задачи по оценке надежности и воспроизводимости получаемых в эксплуатации по навигационным системам ГЛОНАСС/GPS, спутниковым системам, системам мониторинга автотранспорта фактических данных по транспортным процессам и системам и выполнять качественную оценку этих процессов.

Фактические данные используются для принятия решений в системе диспетчеризации и управления, их надежность и воспроизводимость являются необходимым условием для исключения сбоев и ошибок в управлении технологическим автотранспортом на открытых горных работах.

Все возникающие при определении фактических данных ошибки принято разделять на систематические и случайные.

Систематические ошибки порождаются причинами, действующими регулярно. К ним относятся ошибки, вызываемые внешними условиями (температуры внешней среды, магнитные поля, особенности проводящего измерения оператора и так далее).

Для подавления систематических ошибок их следует рандомизировать во времени (от англ. «random» – случайный). Для этого при получении фактических данных используют случайную последовательность, которую определяют с помощью таблиц случайных чисел, приводимых в руководствах по математической статистике.

Случайные ошибки вызываются присутствием в транспортных процессах и системах случайных факторов. Эти факторы проявляются в отдельных случаях и снижают качество работы транспортной системы (увеличивают расходы топлива, время доставки грузов, простои в пунктах погрузки-выгрузки, пограничного контроля, снижают комфортность перевозок и так далее).

Выявление факторов, вызывающих случайные ошибки в фактических данных, осуществляется методами дисперсионного анализа по однородности дисперсий. Неоднородность дисперсий – это присутствие в используемых дисперсиях таких, которые значительно превышают остальные, что свидетельствует о наличии в процессах случайных (вредных) факторов.

Дисперсионный анализ позволяет оценивать степень влияния (опасность) этих факторов и определять качество работы транспортных систем. Дисперсионный анализ может быть однофакторным (исследуется один фактор) и многофакторным (исследуется одновременно несколько факторов). Основные положения и классификация дисперсионного анализа разработаны Р.Фишером (Англия) в 1920-1930 гг.

Для определения однородности дисперсий в качестве оценочной величины используется критерий Фишера (F -критерий), таблицы с его значениями приводятся в справочных изданиях по математической статистике. Значения приводятся для различных степеней свободы (количества измерений факторов) и уровней значимости α ($\alpha = 0,05-0,1$ – обычный уровень оценки, $\alpha = 0,2$ – жесткий уровень оценки). Используются и другие критерии оценки – Кохрена (G -критерий) и Бартлета. Однако критерий Фишера применяется наиболее часто.

В практических работах для реальных транспортных систем значения критериев Фишера вычисляются по результатам измерений требуемых показателей в условиях эксплуатации. Затем уровни критериев сравниваются с табличными значениями.

Превышение табличного значения указанного критерия свидетельствует о присутствии в перевозочном процессе случай-

ного фактора, величина превышения показывает силу фактора.

Вычисление критериев может осуществляться простым (приближенным) методом или точным методом с использованием основного уравнения (теоремы) дисперсионного анализа.

Рассмотрим использование обсуждаемого метода в практической задаче по анализу и улучшению качества работы транспортной системы (однофакторный анализ).

Задача. Горно-добывающее предприятие осуществляет перевозки горной массы технологическими автосамосвалами в три смены – первую (дневную), вторую (вечернюю) и третью (ночную). Требуется определить влияние ночной смены на качество перевозок. Критерием оценки качества приняты потери рабочего времени автосамосвалами при выполнении перевозок горной массы.

В таблице приведены рандомизированные во времени данные измерений потерь рабочего времени автосамосвалами.

Величины потерь рабочего времени (%) при работе автосамосвалов в дневную, вечернюю и ночную смены

Смена	Номер измерения							x_{cp}
	1	2	3	4	5	6	7	
Дневная	2	1,5	3	6	0,2	0	1	1,96
Вечерняя	1,5	4	4	0	0	2,5	1,5	1,93
Ночная	1,5	1,5	6	6	0	3	1	2,71

Определяем по справочным таблицам из пособий по математической статистике допустимые для однородных дисперсий значения критерия Фишера (F -критерия), исходя из числа измерений в каждой смене $m = 7$, соответствующие им числа степеней свободы $m - 1 = 6$ для уровней значимости $\alpha = 0,05$ (обычные условия проверки) и $\alpha = 0,2$ (жесткие условия проверки). Критерии равны соответственно $F = 4,3$ и $F = 2,1$.

Приближенное решение задачи. Вычисляем несмещенное значение дисперсий для всех трех рабочих смен, суммируя каждую по всем семи измерениям:

$$\sigma_1^2 = \frac{\sum (x_i - x_{cp})^2}{(m - 1)} =$$

$$= \frac{[(2-1,96)^2 + (1,5-1,96)^2 + \dots + (1-1,96)^2]}{6} = 4,25; \quad (1)$$

$$\sigma_2^2 = \frac{[(1,5-1,93)^2 + \dots + (1,5-1,93)^2]}{6} = 2,78; \quad (2)$$

$$\sigma_2^2 = \frac{[(1,5-2,71)^2 + \dots + (1-2,71)^2]}{6} = 5,82. \quad (3)$$

Вычисляем по данным расчетные (эксплуатационные) значения критерия Фишера как отношение наибольшей дисперсии к наименьшей

$$F = \frac{\sigma_3^2}{\sigma_2^2} = \frac{5,82}{2,78} = 2,1.$$

Сравнение табличных значений критерия $F = 4,3$ и $F = 2,1$ с полученным в эксплуатации $F = 2,1$ показывает отсутствие влияния ночной смены на однородность дисперсий и качество автомобильных перевозок как для обычных, так и для жестких условий проверки.

Точное решение задачи. Выполним оценку однородности дисперсий по эксплуатационным данным с использованием основного уравнения (теоремы) дисперсионного анализа.

Основное уравнение (теорема) доказывает, что общая (полная) сумма квадратов отклонений значений измерений фактических данных от общего среднего $\sum \sigma_{\text{общ}}^2$ равна факторной сумме квадратов отклонений плюс остаточная сумма квадратов отклонений от среднего арифметического

$$\sum \sigma_{\text{общ}}^2 = \sum \sigma_{\text{факт}}^2 + \sum \sigma_{\text{ост}}^2. \quad (4)$$

Решение с использованием выражения (4) осуществляется следующим образом.

Находим среднее арифметическое всего объема выборки (см. таблицу)

$$x_{\text{ср.общ}} = \frac{\sum \sum x_i}{mn} = \frac{(2+1,5+\dots+3+1)}{21} = 2,2,$$

где $n = 3$ – число смен.

Находим общую сумму квадратов отклонений от общего среднего арифметического

$$\sum \sigma_{\text{общ}}^2 = \sum \sum (x_i - x_{\text{ср.общ}})^2 = (2 - 2,2)^2 +$$

$$+ (1,5 - 2,2)^2 + \dots + (1 - 2,2)^2 = 79,8.$$

Находим факторную сумму квадратов отклонений групповых средних от общего среднего арифметического

$$\begin{aligned} \sum \sigma_{\text{факт}}^2 &= m \sum \sum (x_{\text{ср.факт}} - x_{\text{ср.общ}})^2 = \\ &= 7 \cdot [(1,96 - 2,2)^2 + \dots + (1,93 - 2,2)^2 + \\ &\quad + (2,71 - 2,2)^2] = 2,73. \end{aligned}$$

Находим остаточную сумму квадратов отклонений значений измеряемых величин от средней групповой

$$\begin{aligned} \sum \sigma_{\text{ост}}^2 &= \sum \sum (x_i - x_{\text{ср.факт}})^2 = [(2 - 1,96)^2 + \\ &+ \dots + (1 - 1,96)^2] + [(1,5 - 1,93)^2 + \dots + \\ &+ (1,5 - 1,93)^2] + [(1,5 - 2,71)^2 + \dots + \\ &+ (1 - 2,71)^2] = 77,07. \end{aligned}$$

Проверяем правильность расчетов по уравнению (4): $79,8 = 2,73 + 77,07$.

Решение выполнено правильно.

Находим общую, факторную и остаточную несмещенные дисперсии:

$$\sum \sigma_{\text{общ}}^2 = \frac{\sum \sigma_{\text{общ}}^2}{(mn-1)} = \frac{79,8}{(21-1)} = 3,99;$$

$$\sum \sigma_{\text{факт}}^2 = \frac{\sum \sigma_{\text{факт}}^2}{(n-1)} = \frac{2,73}{(3-1)} = 1,36;$$

$$\sum \sigma_{\text{ост}}^2 = \frac{\sum \sigma_{\text{ост}}^2}{n(m-1)} = \frac{77,07}{3 \cdot (7-1)} = 4,28.$$

Вычисляем по данным расчетные (эксплуатационные) значения критерия Фишера как отношение остаточной дисперсии к факторной (большей к меньшей)

$$F = \frac{\sigma_{\text{ост}}^2}{\sigma_{\text{факт}}^2} = \frac{4,28}{1,36} = 3,1.$$

Сравнение табличных значений критерия Фишера $F = 4,3$ и $F = 2,1$ с измеренным и вычисленным точным методом по данным эксплуатации значением $F = 3,1$ показало, что для жестких условий проверки (для уровня значимости $\alpha = 0,2$) имеет место ухудшение качества перевозок горной массы в ночную смену и неоднородность дисперсий.