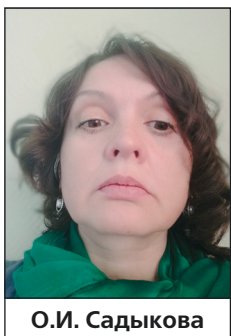


МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАКОНА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СЛУЧАЙНОЙ ВЕЛИЧИНЫ ПРИ ОБРАБОТКЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ КОЛЕС ВАГОНОВ



О.И. Садыкова



К.А. Сергеев

Приведены результаты исследований вероятностно-статистическими методами, позволяющими определить закон распределения для геометрических параметров колес вагонов. Обоснована целесообразность определения закона распределения случайной величины. Перечислен ряд обстоятельств, от которых зависит объем выборки. Обоснована практическая значимость исследования.

Ключевые слова: вагон, статистика, колесная пара, выборка, закон распределения, выборочное среднее, исправленная дисперсия

EDN: BRBDAJ

Для определения закона распределения случайной величины при обработке данных, полученных при изучении интенсивности изнашивания поверхности катания колесных пар железнодорожных вагонов целесообразно применять вероятностно-статистические методы. Знание закона распределения случайной величины, отвечающей за показатель изнашивания поверхности катания колесных пар, объясняется рядом причин, к которым относятся следующие:

- возможность значительной экономии времени и средств, затрачиваемых на получение информации, доступной на начальном этапе жизненного цикла колес подвижного состава;
- выявляющиеся в законе распределения статистические закономерности в достаточной мере свободны

от элементов случайности, что является основным условием прогнозирования технических возможностей колес подвижного состава на будущее.

Вероятностно-статистические оценки опираются на эксперимент, опытные данные, систему наблюдений, а также следует отметить, что чем больше объем статистического материала, тем точнее закономерности, наблюдаемые в процессе изнашивания колесных пар. В [1;2] приводятся различные вероятностно-статистические подходы для определения законов распределения случайных величин при обработке экспериментальных данных.

Объем выборочной совокупности колесных пар для исследования процесса изнашивания зависит от ряда обстоятельств. Перечислим основные из них:

Садыкова Оксана Ильисовна, кандидат педагогических наук, доцент кафедры «Нетяговый подвижной состав» Российской открытой академии транспорта Российского университета транспорта (РОАТ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: моделирование динамических систем в задачах железнодорожного транспорта, моделирование образовательного процесса в транспортном вузе. Автор 79 научных работ, в том числе 19 учебно-методических пособий и двух монографий.

Сергеев Константин Александрович, доктор технических наук, доцент кафедры «Нетяговый подвижной состав» Российской открытой академии транспорта Российского университета транспорта (РОАТ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: технологическая подготовка производства вагоноремонтных предприятий. Автор 137 научных работ, в том числе двух монографий.

- специфика объекта исследования;
- ресурсы (временные, людские);
- степень точности результата, на которую рассчитывает исследователь.

Рассмотрим методы, подобранные авторами для определения законов распределения случайной величины и адаптированные для обработки измерений геометрических параметров колес вагонов (прокат, толщина гребня, крутизна гребня, толщина обода).

Был произведен замер проката колеса железнодорожных вагонов, мм, результат представили в виде табл. 1, в которой дана выборка объемом $n=30$.

Авторы предположили, что данная выборка подчинена нормальному закону распределения.

Рассмотрим метод определения закона распределения выборки, который заключается в анализе значений асимметрии A_s и эксцесса E_k . Вычислим основные параметры выборки, отвечающей за такой показатель, как прокат колеса железнодорожных вагонов, представленные в табл. 1. Получим:

$$\bar{x}_b = 0,98 \text{ — выборочное среднее;}$$

$$s^2 = 0,14 \text{ — исправленная дисперсия;}$$

$$\sigma_b^2 = 0,14 \text{ — выборочная дисперсия.}$$

Рассчитаем показатель асимметрии A_s по формуле

$$A_s = \frac{m_3}{\sigma_b^3},$$

где σ_b^3 — куб стандартного выборочного отклонения, а m_3 — центральный эмпирический момент третьего порядка. Для несгруппированной статической совокупности центральный эмпирический момент третьего порядка рассчитаем по формуле

$$m_3 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_n)^3}{n}.$$

Получим $m_3 = 0,006359$, а $\sigma_b^3 = 0,05236$.

Рассчитав показатель асимметрии получим, что $A_s = 0,1214$. Положительное значение A_s показывает, что распределение скошено вправо. Значение $A_s = 0,1214$ по модулю меньше, чем 0,25, значит асимметрия незначительна. Чем меньше по модулю A_s , тем рассматриваемое эмпирическое распределение ближе к нормальному распределению.

Рассчитаем показатель эксцесса E_k по формуле

$$E_k = \frac{m_4}{\sigma_b^4} - 3.$$

Центральный эмпирический момент четвертого порядка рассчитаем по формуле для несгруппированных данных:

$$m_4 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_n)^4}{n}.$$

Получим $m_4 = 0,023619$, а $E_k = -1,79497$. Полученный отрицательный эксцесс показывает, что распределение является более низким и положим относительно эталонного нормального распределения.

Можно сделать следующие выводы:

- рассматриваемая выборочная совокупность практически симметрична, но несколько ниже, чем нормальное распределение с параметрами $\bar{x}_b = 0,98$ и $\sigma_b^2 = 0,14$;
- выборка проката колеса железнодорожных вагонов близка к нормальному закону распределения.

Рассмотрим второй метод определения закона распределения выборки, отвечающей за показатель — прокат колеса железнодорожных вагонов проката, мм. Будем проверять гипотезу о нормальном распределении данной совокупности по критерию Пирсона.

Разобьем выборку на интервалы в количестве

$$r \approx 5 \lg(n) \approx 5 \lg(30) \approx 7.$$

Составим расчетную таблицу (табл. 2).

Найдем выборочную среднюю:

$$\bar{x}_b = \frac{1}{n} \sum x_k n_k = 0,951.$$

Таблица 1

Прокат, мм	0,47	0,48	0,55	0,54	0,64	0,65	0,68	0,78	0,81	0,84	0,88	0,9	0,92
Частота	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1

Окончание табл. 1

Прокат, мм	0,95	0,99	1,02	1,07	1,13	1,15	1,19	1,24	1,27	1,32	1,39	1,41	1,765
Частота	2	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1

Найдем выборочную дисперсию:

$$D_b = \frac{1}{n} \sum (x_k)^2 n_k - \bar{x}_b^2 = 0,089783583.$$

Найдем выборочное среднее квадратическое отклонение:

$$s = \sqrt{\frac{n}{n-1} D_b} = 0,304761495.$$

Вычислим теоретические частоты n_i , учитывая, что $n=30$, $h=0,185$, $s=0,304761495$, по формуле

$$n_i = \frac{nh}{s} \varphi(u_i).$$

Причем заметим, что

$$u_i = \frac{x_i - \bar{x}_b}{s}.$$

Составим расчетную таблицу (табл. 3).

Суммируя последний столбец табл. 3 получаем, что $\chi^2_{\text{выб}} = 5,0982$. Вычислим $\chi^2_{\text{кр}} = 6$ по табл. «Крити-

ческие точки распределения χ^2 ». Число степеней свободы равно $k=5-3=2$ (5 – число групп в выборке), а уровень значимости $\alpha=0,05$. Так как $\chi^2_{\text{выб}} > \chi^2_{\text{кр}}$, то нет оснований отвергнуть гипотезу о нормальном распределении выборки. Следовательно, такой показатель износа колеса, как прокат колеса железнодорожных вагонов, подчинен нормальному закону распределения.

Выбор перспективных информационно-статистических методов обработки данных, получаемых при эксплуатации колес подвижного состава, описание статистических методик расчета являются необходимыми в современных условиях развития железнодорожной отрасли. В процессе своего исследования авторами были использованы статистические, аналитические и графические методы. Практическая значимость исследования заключается в том, что анализ существующих информационно-статистических методов обработки данных, получаемых при эксплуатации колес подвижного состава, обоснует переход к описанию новых расчетных методик.

Таблица 2

Интервалы	(0,47; 0,655)	(0,655; 0,84)	(0,84; 1,025)	(1,025; 1,21)	(1,21; 1,395)	(1,395; 1,58)	(1,58; 1,765)
Частоты	7	4	7	6	4	1	1
Относительные частоты	0,23	0,13	0,23	0,2	0,13	0,03	0,03
Середина интервала	0,5625	0,7475	0,9325	1,1175	1,3025	1,4875	1,6725
Величина u_i	-1,28	-0,67	-0,06	0,55	1,15	1,760	2,37
$\varphi(u_i)$	0,1758	0,3187	0,3982	0,3429	0,2059	0,0848	0,0241
Теоретические частоты n_i	3,2015	5,8038	7,2516	6,2446	3,7496	1,5443	0,4389

Таблица 3

После объединения эмпирических частот n_k	n_i	$(n_k - n_i)^2$	$(n_k - n_i)^2 / n_i$
7	3,2015	14,4286	4,5068
4	5,8038	3,2537	0,5606
7	7,2516	0,0633	0,0087
6	6,2446	0,0598	0,0096
6	5,7328	0,0714	0,0125
			5,0982

На основе проведенного анализа установлено, что рассмотренные методы определения законов распределения случайной величины при ряде ограничений на объемы выборочных совокупностей [1;2] могут найти применение в задачах статистического прогнозирования технического состояния вагонов в процессе эксплуатации. 

Литература

1. Анисимов, П.С. Испытания вагонов : монография / П.С. Анисимов. — Москва: Маршрут, 2004. — 196 с. — ISBN 5-89035-152-4. — Текст: непосредственный.
2. Шубин, Р.А. Надежность технических систем и техногенный риск: учебное пособие для студентов 3, 4 курсов дневного отделения специальности 280102 «Безопасность технологических процессов и производств» / Р.А. Шубин; М-во образования и науки Российской Федерации, Федеральное гос. бюджетное образовательное учреждение высш. проф. образования «Тамбовский гос. технический ун-т». — Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2012. — 79 с. — ISBN 978-5-8265-1086-5. — Текст: непосредственный.
3. Гмурман, В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика: учебное пособие для студентов вузов / В.Е. Гмурман. — 9-е изд., стер. — Москва: Высшая школа, 2003. — 479 с. — ISBN 5-06-004214-6. — Текст: непосредственный.
4. Сергеев, К.А. Математические модели структурного анализа технологических процессов вагоноремонтного производства / К.А. Сергеев. — Текст: непосредственный // Наука и техника транспорта. — 2005. — №3. — С. 28—36.
5. Горлач, Б.А. Теория вероятностей и математическая статистика: учебное пособие / Б.А. Горлач. — Санкт-Петербург [и др.]: Лань, 2013. — 319 с. — ISBN 978-5-8114-1429-1. — Текст: непосредственный.
6. Сажин, Ю.В. Анализ временных рядов и прогнозирование: учебник / Ю.В. Сажин, А.В. Катынь, Ю.В. Сарайкин. — Саранск: Изд-во Мордов. Ун-та, 2013. — 132 с. — Текст: непосредственный.
7. Сергеев, К.А. Ультразвуковой контроль колёсных пар и безопасность движения поездов / К.А. Сергеев, В.В. Готаулин. — Текст: непосредственный // Безопасность движения на железнодорожном транспорте: сборник научных статей / Поволжский филиал РГОТУПС; под ред. А.А. Сатарова. — Саратов: НАДЕЖДА, 2002. — С. 49—51.
8. Конструирование и расчет вагонов: учебник / В.В. Лукин, П.С. Анисимов, В.Н. Котуранов [и др.]; под ред. П.С. Анисимова. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва: ФГОУ «Учебно методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2011. — 688 с. — ISBN 978-5-9994-0060-4. — Текст: непосредственный.
9. Конструирование и расчет вагонов: учебное пособие / В.В. Лукин, Л.А. Шадур, В.Н. Котуранов, А.А. Хохлов; под редакцией В. В. Лукина. — Москва: 2000. — 727 с. — ISBN 5-89035-024-2. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/60024> (дата обращения: 19.10.2022).
10. ГОСТ 9238- 2013. Габариты железнодорожного подвижного состава и приближения строений = Construction and rolling stock clearance diagrams: национальный стандарт Российской Федерации: издание официальное: утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 22 ноября 2013 г. № 1608-ст: дата введения 2014-07-01 / разработан Открытым акционерным обществом «Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта» (ОАО «ВНИИЖТ»). — Москва: Стандартинформ, 2014. — Текст: непосредственный.