

*Королев Александр Егорович, кандидат технических наук, доцент,
Государственный аграрный университет Северного Зауралья*

ПРИМЕНЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ МАКСВЕЛЛА И КОШИ В ОЦЕНКЕ НАДЁЖНОСТИ МАШИН

Аннотация: В статье анализируются теоретические функции аппроксимации закономерностей проявления отказов технических систем. Отказы машин являются случайными и в большинстве случаев независимыми событиями, которые имеют значительный разброс во времени. Обоснованное применение методов математической статистики позволяет получить достоверные сведения о характере проявления неисправностей изделий. В исследовании использовалась выборка по 40 объектам с коэффициентом вариации их отказов $0,1 \dots 1,0$. Установлено изменение плотности распределения случайных величин от степени их рассеивания. Показано влияние коэффициента вариации на точность совпадения эмпирических и теоретических результатов исследования. На основе оценки погрешности расчёта обоснован диапазон применения теоретических законов распределения отказов объектов наблюдения.

Ключевые слова: техническая система, надёжность, законы распределения, коэффициент вариации, точность расчёта

Abstract: The article analyzes the theoretical functions of approximation of the patterns of occurrence of failures of technical systems. Machine failures are random and in most the independent events that have significant scatter by time. Justified application of mathematical statistics methods allows you to obtain reliable data about the character manifestations of malfunctions the products. The study used a sample along 40 objects with a coefficient of variation of their failures $0,1 \dots 1,0$. A change in

the distribution density of random values from the degree of their scatter was established. The influence of the coefficient of variation on the accuracy of coincidence of empirical and theoretical results of the study is shown. Based on the estimation of the calculation error, the range of application of theoretical laws for the distribution of failures of objects of observation is justified.

Keywords: technical system, reliability, distribution laws, coefficient of variation, calculation accuracy

Математическая статистика включает в себя методы обработки и анализа опытных данных для получения научных и практических выводов об изучаемом процессе или явлении [1]. Эти исследования позволяют вычислить числовые характеристики и параметры случайных величин, а также оценить взаимосвязь между ними [2]. Существующие теоретические и практические методики дают возможность определить устойчивые математические закономерности проявления отказов машин [3]. В большинстве случаев внезапность возникновения этих неисправностей приводит к тому, что оценка достоверности этого события имеет также вероятностный характер [4]. Вначале оценивают параметры закона распределения, а затем на их основе вычисляют показатели надёжности. Теоретический закон распределения отражает характер дифференциальной и интегральной функций безотказности конкретной совокупности машин, соответственно имеет свои характеристики и область применения [5]. Накопленный опыт эксплуатации технических систем различного назначения показывает, что закономерности их отказов достаточно точно описываются нормальным (ЗНР), Вейбулла (ЗРВ), Релея (ЗРР) и экспоненциальным (ЗРЭ) законами распределения. Распределение Максвелла (ЗРМ) используется в изучении вероятностных физико-химических процессов, а также в оценке погрешностей формы и расположения деталей при изготовлении. Одним из критериев предварительного выбора закона является коэффициент вариации случайных величин.

Для анализа была взята информация по 40 эксплуатационным отказам

сельскохозяйственной техники с коэффициентом вариации $V = 0,2 \dots 1,0$. По критерию Пирсона выявлено, что приемлемая согласованность опытных и теоретических распределений для закона Максвелла достигается при $V > 0,4$, а это является зоной действия законов Вейбулла и Релея. В качестве примера на рис. 1 показана плотность отказов при коэффициенте вариации 0,55.

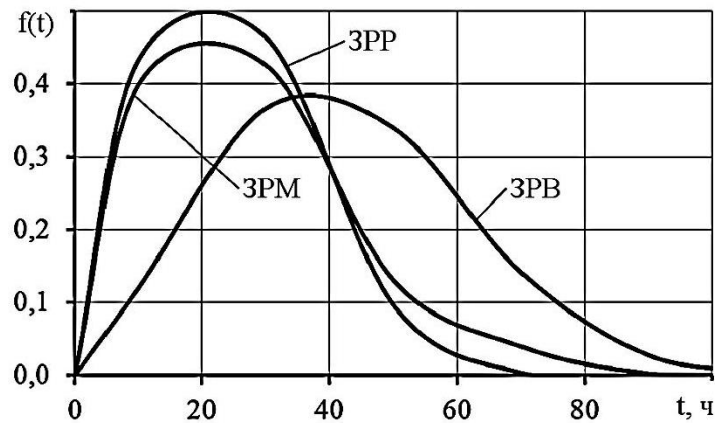


Рисунок 1. Дифференциальная функция законов распределения

Зависимости отличаются максимальной ординатой и имеют асимметрию относительно друг друга.

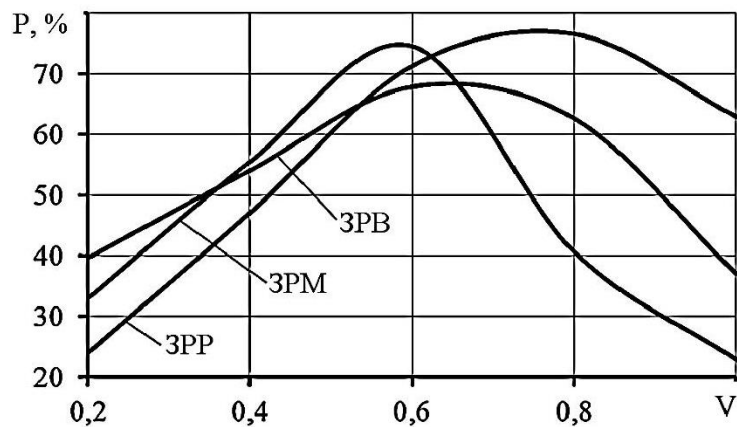


Рисунок 2. Вероятность совпадения опытных и теоретических распределений

Отсюда следует, что закон Максвелла целесообразно использовать при $0,4 < V < 0,6$, но в каждом конкретном случае необходимо сопоставление с ЗРВ по критериям согласия. Если коэффициент вариации менее 0,33, то однозначно назначается нормальный закон распределения. Также симметричным является

закон Коши (ЗРК), в физике это распределение описывает профили равномерно уширенных спектральных линий и амплитудно-частотные характеристики колебательных систем в окрестностях резонансных частот. Это распределение не имеет математического ожидания и дисперсии, поэтому для аппроксимации случайных процессов необходимо применять статистические оценочные параметры. На рис. 3 приведено вероятное рассеивание отказов для ЗНР и ЗРК при $V = 0,3$.

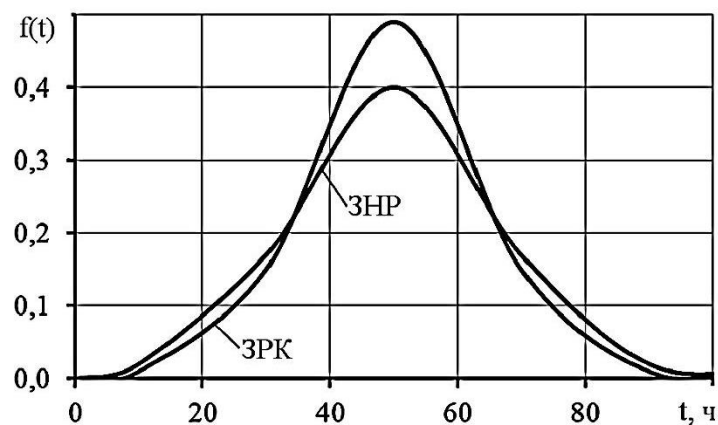


Рисунок 3. Вероятность плотности отказов при симметричных законах распределения

По сравнению с нормальным распределением функция плотности Коши имеет более высокий пик, но более длинные и низкие хвосты. С увеличением величины разброса исходной информации достоверность полученных результатов значительно снижается (рис. 4).

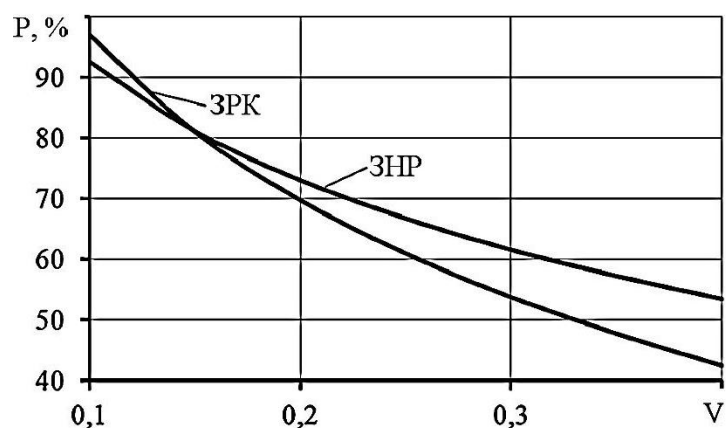


Рисунок 4. Изменение точности аппроксимации эмпирических распределений

Закон Коши может применяться при коэффициенте вариации не более 0,2, а это для автотракторной и сельскохозяйственной техники встречается достаточно редко. В целом можно отметить, что законы Максвелла и Коши можно привлекать в узких пределах при исследовании надёжности машин.

Библиографический список:

1. Городецкий В. И. Элементы теории испытаний и контроля технических систем / В.И. Городецкий, А.К. Дмитриев, В.М. Марков. - Л.: Энергия, 1978. - 192 с.
2. Дорохов А. Н. Обеспечение надёжности сложных технических систем / А.Н. Дорохов, В.А. Керножицкий, А.Н. Миронов, О.Л. Шестопалова. - Санкт-Петербург: Лань, 2017. - 352 с.
3. Королев А.Е. Анализ методов испытаний техники на надёжность / А.Е. Королев // Наука. Техника. Технологии. -2020. - №4. - С. 243-246.
4. Митков А.Л. Статистические методы в сельхозмашиностроении / А.Л. Митков, С.В. Кардашевский. - М.: Машиностроение, 1978. - 360 с.
5. Швалева А. В. Методы математической статистики в технических исследованиях / А. В. Швалева // Молодой ученый. - 2012. - № 3 (38). - С. 427-430.