

**Черкесов Г.Н.**

## **ПО ПОВОДУ СТАТЬИ КОФАНОВА Ю.Н. И СТРЕЛЬНИКОВА В.П. «МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОГРЕШНОСТИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СРЕДНЕГО РЕСУРСА ИЗДЕЛИЙ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ»**

Основным контингентом читателей журнала являются инженеры и научные работники, заинтересованные в создании высоконадежной техники и безаварийной ее эксплуатации. Вполне можно допустить, что по характеру своей деятельности они могут не знать теории надежности в объеме, достаточном, чтобы понимать все математические аспекты публикаций, но, как правило, они хорошо разбираются в практических вопросах применения результатов публикаций.

С этой точки зрения, следует обратить внимание на четкость постановки задачи исследования, соответствия названия статьи ее содержанию, правильность использования терминологии, обоснованность сделанных в математической модели надежности допущений, возможность их подтверждения в эксплуатации или при испытаниях, доказательность делаемых утверждений, практическую ценность теоретических результатов и явное ее формулирование в заключительной части статьи.

Внимательное изучение материалов статьи вызвало ряд замечаний, имеющих, в том числе, целью ответить на возможные вопросы читателей, помочь им в правильной оценке результатов публикации и предостеречь их от ошибок при их использовании.

### **1. О наименовании статьи**

В заголовке использован термин «средний ресурс». На наш взгляд, следует очень строго и ответственно относиться к использованию устоявшихся терминов в теории надежности. Согласно ныне действующему стандарту ГОСТ 27.002-89 «Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения»: ресурс (useful life) – суммарная наработка объекта от начала его эксплуатации или её возобновления после ремонта до перехода в предельное состояние (термин 4.5), а средний ресурс – математическое ожидание ресурса (термин 6.16). Это показатель долговечности. В статье фактически рассматривается средняя наработка до отказа (термин 6.10). Это показатель безотказности, не имеющий никакого отношения к предельному состоянию объекта. Об этом и авторы явно указывают уже в аннотации к статье. Тем не менее, в перечне ключевых слов они снова рассматривают как синонимы наработку до отказа и ресурс.

### **2. О двухпараметрических распределениях и гипотезе о коэффициенте вариации**

На стр. 3 статьи сказано: «Поскольку статистических данных для оценки параметров формы двухпараметрических распределений нет, принимаем гипотезу о равенстве коэффициента вариации распределения наработки единице ( $v=1$ ), как у экспоненциального распределения».

По этому поводу можно уверенно утверждать, что не существует не только статистических данных для оценки параметров формы двухпараметрических распределений, но и статистически значимых доказательств того, что изделия электронной техники имеют какое-либо другое распределение наработки, отличное от однопараметрического экспоненциального распределения.

Еще более удивительным является утверждение, что неведомые (в статье нет ссылок) «...исследователи, использующие для решения задач надежности однопараметрическое экспоненциальное распределение, автоматически допускают, что коэффициент вариации распределения наработки до отказа (на отказ) равен единице».

Для сведения неосведомленных, экспоненциальное распределение не может иметь никакого другого коэффициента вариации как отношения среднеквадратического отклонения к математическому ожиданию, кроме как единица. Поэтому сделанное утверждение выглядит так же, как утверждение: «некоторые математики автоматически допускают, что дважды два – четыре».

По этой же причине, естественно, остается непонятным, как это в таблице 2 коэффициент вариации экспоненциального распределения оказался равным 0,8. Совершенно бездоказательно выглядит утверждение на стр.7 (правая колонка) о том, что «...наиболее правильное значение коэффициента вариации наработок до отказа изделий электронной техники в режимах эксплуатации, в том числе ИМС, составит  $v=0,8$ ». Непонятно, откуда появилось значение 0,8 как допущение (почему не 0,75 или 0,85?) и в каком смысле оно правильное.

Сама гипотеза о постоянстве коэффициента вариации не имеет под собой физического и технического обоснования. Известно, что в жизненном цикле технических изделий наблюдаются этапы приработки, нормальной эксплуатации и старения. На этапе приработки по мере уменьшения интенсивности отказов коэффициент вариации уменьшается. Так для распределения Вейбулла при увеличении параметра формы  $m$  от 0,5 до 0,9 коэффициент вариации уменьшается от 2,24 до 1,11. То же самое происходит и на этапе старения. Для распределения Вейбулла при увеличении  $m$  от 1,1 до 2,0 коэффициент вариации уменьшается от 0,91 до 0,52. И эти значения не зависят от параметра масштаба.

### 3. О средней наработке как показателе безотказности изделий электронной техники

Средняя наработка до отказа удобна как показатель безотказности в виду его простоты (это одно число, и легко осмысливается как интервал времени). Однако еще А.М. Половко и Б.В. Гнеденко обратили внимание на то, что средняя наработка до отказа не является подходящим показателем безотказности по следующим причинам.

Известно, что количественно средняя наработка – это площадь под кривой вероятности безотказной работы.

Для высоконадежных изделий, а к ним как раз относится электронная техника, интервал осреднения во много раз (на один или два порядка) превосходит интервал реальной эксплуатации изделия.

Для количественной иллюстрации этого эффекта используем материалы статьи. Среднее время эксплуатации 26980 изделий равно 102412 час или 11,7 года. Средняя наработка до отказа при экспоненциальном распределении равна 26287 лет, что в 2 250 раз больше среднего времени эксплуатации. Если использовать два различных распределения: однопараметрическое экспоненциальное и двухпараметрическое Вейбулла, то при одинаковых вероятностях отказов 0,00044477 на интервале 11,7 лет средние значения наработки разойдутся: 26287 лет и 5347 лет. Но это произойдет исключительно за счет различий на интервале эксплуатации от 11,7 до 26287 (или более) лет. Однако это никого не должно интересовать, так как различия проявятся, когда изделие уже давно будет снято с эксплуатации по критериям долговечности. Этот эффект отражен на рисунке 1 в статье, но он не замечен и вывод из него не сделан (скорее, сделан прямо противоположный вывод).

### 4. Экономический ущерб от применения экспоненциального распределения

В заключении к статье приводится суждение: «Экспоненциальный закон распределения времени безотказной работы, получивший широкое распространение, часто не отражает реальные условия возникновения отказов электронной техники. Его применение приносит большой экономический ущерб».

Как и многое другое в статье, это утверждение бездоказательно и не соответствует содержанию статьи. Ничего не говорится о природе экономического ущерба.

### 5. О необходимости перехода на двухпараметрическое распределение наработки

Утверждение в заключении о том, что двухпараметрические диффузионные законы распределения дают наиболее адекватные показатели надежности изделий электронной техники, никак не подтверждено материалами статьи. Первый вопрос, на который следует ответить: каков должен быть объем статистических данных, чтобы уверенно идентифицировать двухпараметрическое распределение по критериям математической статистики. Даже для экспоненциального распределения это не просто. Опираясь на материалы статьи, можно вычислить, что даже при столь внушительной суммарной наработке в 2,76 млрд. час дисперсия точечной оценки средней наработки такова, что двухсигмовые пределы составляют 59% точечной оценки, а доверительный интервал с уровнем значимости 0,2 имеет размеры  $\pm 40\%$  от значения точечной оценки.

Второй вопрос, не менее сложный, состоит в том, есть ли физические или физико-химические предпосылки к тому, чтобы старение электронной техники начиналось так рано (в первые 10-15 лет при средней наработке сотни лет).

## 6. Небрежность и избыточность

Неоднозначное впечатление оставляет некоторая небрежность в обращении с числовым материалом в статье. Так, оценка средней наработки до отказа при экспоненциальном распределении составляет 26287 лет (а не 22830 лет, как в таблице 2). Статистическая наработка на один отказ составляет 230,37 млн. час, а не 200 млн. час, как на стр.7 (левая колонка). Интенсив-

ность отказов  $4,34 \cdot 10^{-9}$  час<sup>-1</sup>, а не  $5 \cdot 10^{-9}$  час<sup>-1</sup>, как на с.4. Средняя наработка до отказа в распределении Вейбулла при коэффициенте вариации 0,8 равна 5347 лет, а не 5275 лет, как в таблице 2, и т.д.

В статье есть избыточные материалы, не относящиеся к обсуждаемой проблеме, что засоряет текст и отвлекает от цели публикации, например, рассуждения об ускоренных испытаниях на с.6, которые нигде затем не использованы.

Отмеченные недостатки статьи вызывают сожаление, тем более что авторами являются известные исследователи, имеющие значительные достижения в теории надежности. Автор настоящей заметки оставляет возможность продолжения дискуссии по предмету статьи и по проблеме качества публикаций.