

Володарский В.А.

К ВОПРОСУ ТОЧНОСТИ ЗАДАНИЯ ИНФОРМАЦИИ ПРИ ОПТИМИЗАЦИИ ПРЕДУПРЕДИТЕЛЬНЫХ ЗАМЕН

Предложен метод исследования устойчивости и чувствительности моделей оптимизации предупредительных замен, позволяющий обосновать точность задания исходной экономической информации.

Ключевые слова: модель, оптимизация, устойчивость, чувствительность, точность.

1. Состояние вопроса

В настоящее время оптимизационные расчеты параметров предупредительных замен (ПЗ) технических устройств (ТУ) проводятся, как правило, в предположении о строгой достоверности и однозначности используемой исходной информации и, следовательно, о строгой однозначности получаемых решений. При решении практических задач оптимизации ПЗ неизбежна большая или меньшая неопределенность исходной информации, которая проявляется в недостоверном знании численных значений исходных показателей или их вероятностного описания. Исходную информацию в задачах оптимизации ПЗ можно разделить на три вида:

- 1) детерминированную;
- 2) вероятностно-определенную, когда известны функции и параметры распределения случайных величин;
- 3) вероятностно-неопределенную, когда функции распределения случайных величин не известны.

К детерминированной относится информация о стоимости ПЗ, среднее значение которой однозначно определено нормативными документами. Информацию о стоимости аварийного восстановления можно считать вероятностно-определенной, поскольку она не может быть определена однозначно из-за зависимости от ряда случайных факторов (внезапность отказов ТУ, квалификация обслуживающего персонала и т.п.). В зависимости от полноты исходных данных, информацию об ущербе из-за отказов ТУ в силу случайного, а иногда недостаточно определенного характера, можно отнести к вероятностно-определенной или вероятностно-неопределенной.

Особые трудности на практике возникают при выборе функции распределения вероятности безотказной работы (ВБР) из-за малого объема статистического материала об отказах ТУ. Определить функцию распределения существующим методом математической статистики можно при количестве отказов более ста. В этом случае информация будет вероятностно-определенной, а в

противном случае – вероятностно-неопределенной, так как при этом можно получить несколько возможных функций распределения.

Неопределенность исходной информации приводит к методическим и практическим трудностям оптимизации ПЗ. При этом значительно повышается размерность решаемой задачи, так как появляется большое число возможных сочетаний информации о функции распределения вероятности безотказной работы и стоимостных показателях. Это приводит к неоднозначности решения оптимизационной задачи, поскольку каждая периодичность ПЗ при тех или иных сочетаниях исходной информации будет условно оптимальной.

Поэтому проблема исследования влияния точности определения исходной информации о функциях распределения вероятности безотказной работы и стоимостных показателях при оптимизации ПЗ остается весьма актуальной.

В статье [1] автором впервые применительно к моделям оптимизации предупредительных замен введены понятия экономической устойчивости решений и чувствительности к вариации исходных данных функции удельных эксплуатационных затрат. Проведены исследования устойчивости и чувствительности известных в теории надежности моделей оптимизации ПЗ по наработке и групповых замен [2]. При заданной точности расчетов определены зоны равноэкономичной периодичности и оценены диапазоны допустимых отклонений параметров моделей в зоне экономической устойчивости. Как продолжение этой работы, в статье [3] с целью обоснования точности задания исходных экономических данных проведены аналогичные исследования функции удельных эксплуатационных затрат известной в теории надежности модели оптимизации ПЗ с минимальным ремонтом при отказе для функции распределения Вейбулла [2].

В связи с актуальностью, в дальнейшем появился ряд публикаций по этой проблеме. Так, в [4] рассматривается случай, когда установлен вид закона распределения времени безотказной работы и оценены значения его параметров. Здесь исследуется только влияние отклонений параметров распределения на выбор периода профилактического обслуживания. В качестве критерия используется максимальное значение коэффициента готовности, а средние длительности предупредительных профилактик и аварийно-профилактических работ при этом считаются детерминированными. Необходимо отметить, что приведенный пример определения периода профилактики при экспоненциальном законе распределения является некорректным. Этот закон описывает отказы нестареющих систем, для которых проведение профилактического обслуживания нецелесообразно [2].

Аналогично в [5] приведены результаты исследования влияния отклонений оценочных значений параметра формы распределения Вейбулла (параметр масштаба при этом принимается детерминированным) на оптимальные значения сроков замен и на оптимальные значения эксплуатационных затрат при стратегии ПЗ по наработке. Здесь функция распределения считается определенной, а информация о стоимости предупредительных и аварийных замен принимается детерминированной.

В статье [6] сделана попытка обоснования требований к точности оценок показателей безотказности для решения задач продления срока службы РЭС. Авторы ссылаются только на публикацию [1], хотя полностью используют результаты ранее выполненных исследований [3], заменив только обозначения параметров формул. Если в [3] по результатам исследования устойчивости и чувствительности эксплуатационных затрат дана оценка допустимой точности определения исходных экономических данных, то в публикации [6] фактически повторяется исследование устойчивости известной модели ПЗ с минимальным ремонтом при отказе для функции распределения Вейбулла, и не дается решение поставленной в статье задачи.

Таким образом, из приведенного анализа публикаций очевидно, что вопросы исследования и обоснования требований к точности исходной информации при оптимизации предупредительных замен до настоящего времени остаются незавершенными.

В предыдущей публикации автора [7] представлены результаты выполненных исследований экономической устойчивости моделей оптимизации ПЗ в условиях вероятностно-неопределенной информации о функции распределения ВБР. В этом случае при оцененном значении коэффициента вариации задано семейство функций распределения и показана эквивалентность получаемых решений в отношении определения диапазона оптимальных значений периодичности ПЗ.

Цель статьи – исследования устойчивости и чувствительности моделей оптимизации предупредительных замен для обоснования точности задания исходной экономической информации.

2. Обоснования точности задания исходной экономической информации

При оптимизации периодичности проведения ПЗ технических устройств, как правило, ориентируются на средние значения исходных экономических данных. На практике часто стоимость аварийного ремонта с учетом ущерба от простоя устройств имеет значительные отклонения от среднего значения. При этом параметры математических моделей не могут быть заданы однозначно. В этих условиях при решении задачи каждому сочетанию значений параметров соответствует свое оптимальное значение периодичности ПЗ.

Основываясь на ранее полученных результатах [1], задачу обоснования точности, с которой должны определяться исходные данные, предлагается решать в два этапа.

Во-первых, необходимо провести исследование экономической устойчивости функции удельных эксплуатационных затрат и при заданной точности расчетов определить допустимые отклонения периодичности ПЗ в зоне оптимальных значений.

Во-вторых, необходимо исследовать чувствительность функции удельных эксплуатационных затрат к изменению её параметров и, используя диапазон допустимого отклонения периодичности ПЗ, обосновать точность определения исходных экономических данных.

Решение этой задачи покажем на примере стратегии предупредительных замен с минимальным ремонтом при отказе, когда удельные эксплуатационные затраты (если наработка между отказами имеет распределение Вейбулла) определяется согласно [2]

$$C(\tau) = [B + A(k_b \tau T^{-1})^b] \tau^{-1}, \quad (1)$$

где B – стоимость предупредительной замены; A – стоимость аварийного ремонта при отказе с учетом ущерба; b – параметр формы распределения Вейбулла; $k_b = \Gamma(1-b^{-1})$. Здесь Γ – гамма-функция; T – наработка на отказ; τ – периодичность ПЗ.

Разделив выражение (1) на A/T , получим значение относительных удельных затрат в безразмерном виде

$$y = C(\tau)A^{-1} = \eta x^{-1} + k_b^b x^{b-1}, \quad (2)$$

где $\eta = B/A$ – коэффициент стоимости; $x = \tau/T$ – относительная периодичность предупредительных замен в долях наработки на отказ.

Оптимальное значение x_0 при минимуме относительных удельных эксплуатационных затрат y_0 определяется из условия $dx/dy = 0$ по формулам:

$$X_0 = k_b^{-1}(\eta(b-1)^{-1})^{1/b}; \quad (3)$$

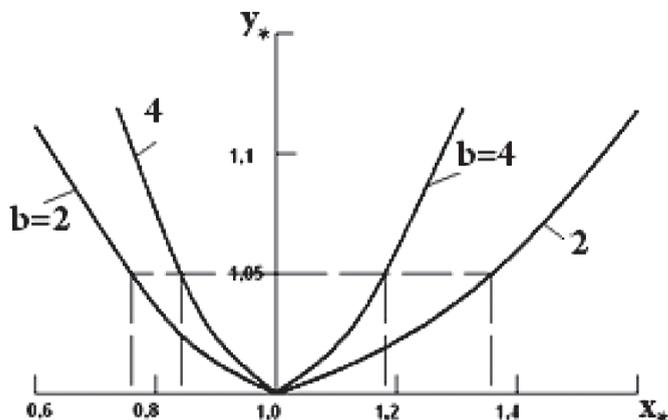


Рис. 1. Результаты исследования экономической устойчивости

$$y_0 = bk_b^b x_0^{b-1}. \tag{4}$$

Преобразовав (2) через (3) и (4), получим уравнение вида

$$y_x = (b - 1 + x_x^b)(bx_x)^{-1}, \tag{5}$$

где $y_x = y/y_0$; $x_x = x/x_0$ – относительные отклонения, соответственно, удельных эксплуатационных затрат и периодичности предупредительных замен от их оптимальных значений.

Уравнение (5) носит обобщенный характер, не зависит от параметров η , x и k_b исходной математической модели (2) и позволяет исследовать экономическую устойчивость удельных эксплуатационных затрат. Задавая значение $y_x = 1 + \delta$, можно определить допустимые относительные отклонения оптимальной периодичности предупредительных замен, соответствующие принятой точности расчетов относительных удельных эксплуатационных затрат.

Графики зависимости y_x от x_x при разных значениях b представлены на рис.1, из которого видно следующее. С ростом параметра формы распределения Вейбулла b (уменьшением коэффициента вариации) экономическая устойчивость функции удельных эксплуатационных затрат

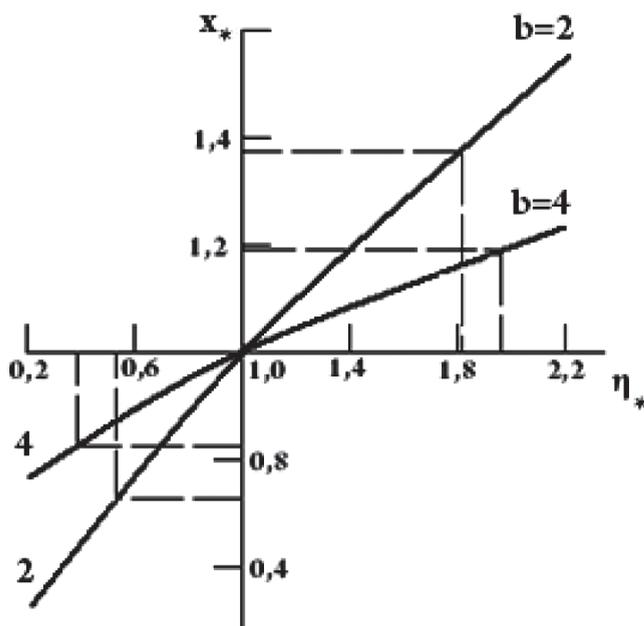


Рис. 2. Результаты исследования чувствительности

снижается. Если задать, например, $\delta = 0,05$ (см. пунктир на рис.1), то получим следующие допустимые отклонения периодичности предупредительных замен: при $b=2$ от нижнего $\underline{x}_x = 0,73$ до верхнего $\overline{x}_x = 1,37$; при $b=4$ – от $\underline{x}_x = 0,82$ до $\overline{x}_x = 1,19$. Тогда оптимальное τ_0 , допустимые нижнее $\underline{\tau}_0$ и верхнее $\overline{\tau}_0$ значения периодичности предупредительных замен определяются как $\tau_0 = x_0 T$, $\underline{\tau}_0 = \underline{x}_x \tau_0$, $\overline{\tau}_0 = \overline{x}_x \tau_0$.

Определение чувствительности функции удельных эксплуатационных затрат к изменению коэффициента стоимости η проводится с использованием уравнения (3). Исследование чувствительности не требует знания численных значений коэффициента стоимости, так как выполняется в относительных единицах $\eta_x = \eta/\eta_0$, где η_0 – базовое значение коэффициента стоимости, соответствующее оптимальной периодичности предупредительных замен.

Результаты исследования чувствительности представлены на рис.2, из которого видно, что с увеличением параметра формы b чувствительность к изменению η_x снижается, и исходные экономические данные могут определяться с большей погрешностью. Например, в зоне экономической устойчивости функции удельных эксплуатационных затрат при $\delta=0,05$ (см. пунктир на рис. 2) допустимы следующие относительные отклонения коэффициента стоимости: при $b=2$ – от 0,52 до 1,84, а при $b=4$ – от 0,46 до 2,0 от его базового значения.

Заключение

В результате исследования чувствительности установлено, что в зоне экономической устойчивости функции удельных эксплуатационных затрат исходные экономические данные могут определяться с большой погрешностью. Например, при точности расчетов 5% удельных эксплуатационных затрат в случае стратегии замен с минимальным ремонтом при отказах допустимы относительные отклонения коэффициента стоимости в случае распределения Вейбулла с коэффициентом формы равным двум – от 0,52 до 1,84, а с коэффициентом формы равным четырем – от 0,46 до 2,0 от его базового значения. В рассматриваемых случаях эти значения могут быть приняты в качестве допустимой точности определения исходных экономических данных.

Литература

1. Володарский В.А. Оптимизация периодичности предупредительных замен в условиях неопределенности исходной информации // Надежность и контроль качества. – 1984. – №8. – С. 39-44.
2. Барлоу Р., Прошан Ф. Математическая теория надежности. – М.: Советское радио, 1969.- 488 с.
3. Володарский В.А. Обоснование точности определения исходных экономических данных при оптимизации периодичности предупредительных замен // Надежность и контроль качества. – 1986. – №4. – С. 36-39.
4. Голиков В.Ф. О влиянии точности определения характеристик надежности на выбор периода профилактического обслуживания // Известия АН СССР. Техническая кибернетика. 1986. – №1. – С. 66-69.
5. Байхельт Ф., Франкен П. Надежность и техническое обслуживание. Математический подход. – М.: Советское радио, 1988.- 392 с.
6. Ланецкий Б.Н., Кобзев В.В. Обоснование требований к точности оценок показателей безотказности РЭС эксплуатируемых ЗРК для решения задач продления назначенных сроков службы (ресурсов) // Системы обработки информации.- 2006.- Выпуск 4 (53).- С.110-117.
7. Володарский В.А. Исследования экономической устойчивости моделей оптимизации предупредительных замен // Надежность. – 2012. – №1(40). – С. 36-43.