

# Об оценивании показателей надежности автомобилей МАЗ

**Абрамович М.С.**

НИИ прикладных проблем  
математики и информатики  
Белорусский государственный университет  
пр. Независимости, 4, г. Минск  
Республика Беларусь  
*abramovichms@bsu.by*

**Мицкевич М.Н.**

НИИ прикладных проблем  
математики и информатики  
Белорусский государственный университет  
пр. Независимости, 4, г. Минск  
Республика Беларусь  
*mitskevich\_m@mail.ru*

## Аннотация

Для построения оценок показателей надежности по выборкам ограниченного объема рассматривается применение бутстреп-метода. Описывается структура и состав программного комплекса по оцениванию показателей надежности автомобилей МАЗ.

## 1 Введение

Важное место в комплексе мероприятий по повышению надежности автомобилей занимают статистические методы анализа надежности, позволяющие оценить надежность деталей, узлов, агрегатов и автомобиля в целом, выявить причины, характер и взаимосвязь их неисправностей.

На практике не всегда представляется возможность сформировать выборки изделий достаточно большого объема, используя которые можно получить достоверные показатели надежности. Тем не менее, уже по ограниченному объему выборки требуется оценить надежность изделия до начала серийного выпуска, чтобы по возможности предотвратить появление массовых неисправностей (тиражирование) и их устранение после проведения работ по технологическому оснащению производства. В связи с вышесказанным актуальной является задача вычисления показателей надежности по выборкам ограниченного объема и построения для них доверительных интервалов.

В представленной статье оценки параметров законов распределения по многократно цензурированным выборкам вычисляются с использованием метода максимального правдоподобия. Для построения точечных и интервальных оценок показателей надежности в случае выборки ограниченного объема предложен алгоритм, основанный на методе бутстрепа.

Приводятся также структура и описание программного комплекса по оценке показателей надежности автомобилей МАЗ.

## 2 Оценивание показателей надежности

Предположим, что сведения о надежности изделий представлены наработками работоспособных и отказавших изделий:

$$t_1, t_2, \dots, t_r; \quad \tau_1, \tau_2, \dots, \tau_n, \quad (1)$$

где  $t_1, t_2, \dots, t_r$  – наработки изделий до отказа,  $\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_n$  – наработки изделий до цензурирования.

По результатам эксплуатационных испытаний вида (1) требуется оценить показатели надежности изделий. В выборке (1) значения наработок до цензурирования не равны между собой и цензурирование происходит случайным образом. Такая модель выборки называется многократно цензурированной случайной выборкой.

В случае применения параметрических методов оценки предполагался известным закон распределения многократно цензурированной случайной выборки  $F(t, \Theta_1, \Theta_2, \dots, \Theta_l)$  с точностью до неизвестных параметров  $\Theta_1, \Theta_2, \dots, \Theta_l$ .

Оценки показателей надежности вычислялись в два этапа:

- на первом по выборке 1 оценивались параметры распределения;
- на втором – по найденным оценкам параметров распределения вычислялись оценки показателей надежности, как функции оценок параметров распределения.

Отметим, что оценки параметров распределений оценивались методом максимального правдоподобия. При этом, при построении функции правдоподобия предполагалось, что распределение приостановок описывается тем же вероятностным законом, что и распределение отказов, и с теми же параметрами. Если в результате эксплуатационных испытаний получена многократно цензурированная случайная выборка, в которой отказы и цензурирования независимы, то функция правдоподобия для данной выборки может быть записана в виде:

$$L = \prod_{i=1}^r f(t_i) \times \prod_{j=1}^n [1 - F(\tau_j)],$$

где  $f(t)$  – плотность распределения.

Оценки параметров распределения получались решением уравнений правдоподобия

$$\frac{\partial L}{\partial \Theta_i} = 0, \quad i = 1, 2, \dots, l.$$

количество которых равно числу параметров.

В качестве законов распределения показателей надежности рассматривались следующие законы: нормальный, логнормальный, экспоненциальный и Вейбулла (трехпараметрический). Оценки параметров законов распределения нормального, логнормального и Вейбулла вычислялись итерационными методами.

### 3 Построение оценок показателей надежности с помощью бутстреп-метода

Известно, что из-за потерь информации при цензурировании выборки уменьшается точность оценивания и имеет место смещение оценок параметров (Лемешко, 2001). При этом величина смещения зависит от степени цензурирования и от объема выборки. Количество информации Фишера по цензурированной выборке определяется соотношением (Лемешко, 2001):

$$J_c(\theta) = \frac{1}{P_1(\theta)} \left[ \frac{\partial P_1(\theta)}{\partial(\theta)} \right]^2 + \int_{x_1}^{x_2} \left[ \frac{\partial \ln f(x, \theta)}{\partial \theta} \right]^2 f(x, \theta) dx + \frac{1}{P_2(\theta)} \left[ \frac{\partial P_2(\theta)}{\partial \theta} \right]^2, \quad (2)$$

где  $P_1(\theta)$  и  $P_2(\theta)$  - вероятности попадания в область цензурирования слева и справа, а наблюдаемая область лежит в пределах от  $x_1$  до  $x_2$ .

В работе Лемешко (2001) методом статистического моделирования исследована эффективность оценивания параметров законов распределения по цензурированной выборке по отношению к оцениванию по полной выборке. Соотношение (2) позволяет судить о потерях информации при оценивании параметров распределения в зависимости от степени цензурирования.

Эффективность оценивания параметра определяется соотношением:

$$S = \frac{\det J_c(\theta)}{\det J(\theta)},$$

где  $J(\theta)$  – количество информации по полной выборке. Результаты, проведенного исследования (Лемешко, 2001) показывают, что при умеренном цензурировании (до 40% от объема полной выборки) имеет место высокая эффективность оценивания параметров законов распределения, т.е. сохраняющаяся в цензурированной выборке информация является достаточной для оценивания параметров распределения с требуемой точностью.

Таким образом, основной проблемой при оценке параметров законов распределения и на основании их показателей надежности при умеренном цензурировании является ограниченность объема анализируемой выборки.

Классические точечные и интервальные оценки показателей надежности, построенные по выборкам ограниченного объема, являются недостоверными (Diciccio, Efron, 1996). Для построения более точных оценок предлагается следующая процедура, основанная на бутстреп-методе (Diciccio, Efron, 1996) и состоящая из следующих шагов.

- Шаг 1. По цензурированной выборке объема  $N$  вычисляются МП-оценки параметров закона распределения  $F(t, \Theta_1, \Theta_2, \dots, \Theta_l)$ .
- Шаг 2. Генерируется  $M$  независимых выборок объема  $N$  распределения  $F(t, \Theta_1, \Theta_2, \dots, \Theta_l)$ , используя метод Монте-Карло; в качестве параметров для моделирования, используются оценки параметров, полученные на шаге 1.
- Шаг 3. Для каждой из  $M$  выборок вычисляются МП-оценки параметров закона распределения и на основании их оценка показателя надежности и формируется выборка оценок показателей надежности  $R = \{\hat{\rho}_i, i = 1, 2, \dots, M\}$ .
- Шаг 4. В качестве искомого значения оценки  $\hat{\rho}$  показателя надежности принимается выборочное среднее выборки  $R$ .
- Шаг 5. Для нахождения непараметрических доверительных интервалов показателей надежности по полученной выборке оценок показателей надежности  $R = \{\hat{\rho}_i, i = 1, 2, \dots, M\}$  формируется вариационный ряд оценок  $V = \{\hat{\rho}_{(i)}, i = 1, 2, \dots, M\}$ .
- Шаг 6. Доверительные границы для показателя надежности  $\rho$  определяются следующими значениями вариационного ряда:  $[\hat{\rho}_{(l)}, \hat{\rho}_{(u)}]$ , где  $l = [\frac{1-\nu}{2}M]$ ,  $u = [\frac{1+\nu}{2}M]$ ,  $[\cdot]$ -целая часть числа,  $\nu$  – доверительная вероятность.

#### 4 Программный комплекс оценки показателей надежности

Для оценки показателей надежности автомобилей МАЗ разработан программный комплекс, структура которого представлена на 1. Основное назначение программного комплекса – построение оценок показателей надежности и технико-экономических показателей надежности для деталей, узлов, агрегатов и автотранспортного средства (АТС) в целом.

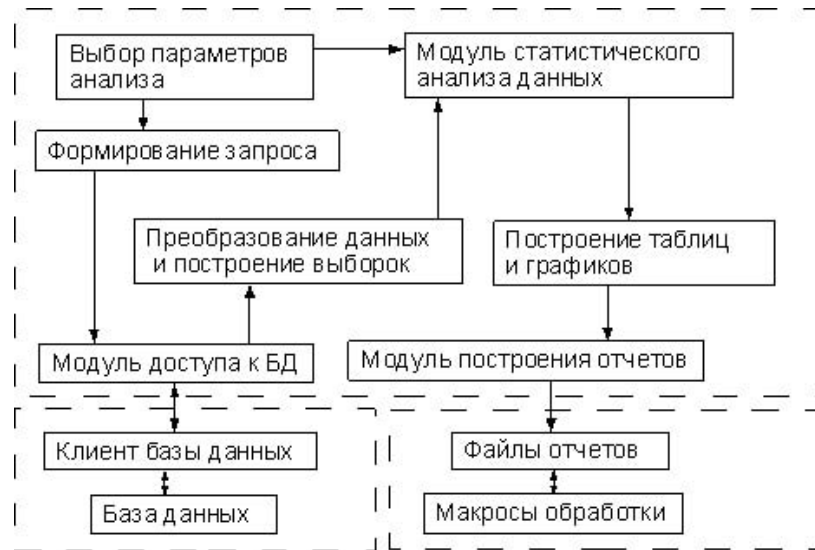


Рис. 1: Структура программного комплекса

Опишем назначение основных модулей комплекса.

Выбор параметров анализа включает в себя выбор объекта статистического анализа (деталь, агрегат, АТС в целом), выбора контрольной группы АТС, расчетного периода и показателя надежности.

База данных об отказах АТС МАЗ, разработанная в среде Oracle, содержит справочную информацию, а также отчетные данные по отказам деталей за определенный период в виде информационной карты о надежности. Для работы с информационными картами разработан модуль сбора

и обработки информации о надежности. Справочная информация включает в себя классификаторы объектов исследования (автомобилей, узлов и агрегатов, деталей) и их свойств, неисправностей (по характеру, причинам, влиянию на безопасность использования, сложности устранения и пр.), способов их устранения.

Модуль доступа к базе данных осуществляет получение данных по запросу, редактирование, добавление и удаление информации из базы данных, а также отвечает за пополнение справочных классификаторов по мере появления новых отказов АТС.

Модуль построения отчетов о надежности позволяет выполнять:

- подготовку отчетов по отказам деталей с группированием данных и итоговыми подсчетами показателей по предприятиям;
- формирование отчетов, содержащих расчетные показатели надежности и нормы расхода запасных частей АТС МАЗ;
- создание графиков изменения показателей надежности;
- передачу данных в файл Excel и запуск макросов обработки отчетов.

Модуль статистического анализа данных состоит из программ вычисления:

- показателей надежности объектов: вероятность безотказной работы, ресурс, число отказов и повреждений, наработка на отказ, ведущая функция потока отказов, интенсивность отказов, коэффициент готовности;
- показателей использования и технико-экономических показателей в зависимости от пробега: транспортная работа, объем перевозок, расход топлива; машино-дни в хозяйстве, работе, ремонте, коэффициенты использования пробега, грузоподъемности; простой в ремонте, трудоемкость ремонта, затраты на запасные части; нормы расхода запасных частей.

Оценки показателей надежности и доверительные интервалы для них вычислялись методами, описанными в п.2. Отметим, что число моделируемых выборок для бутстреп-метода при построении оценок показателей надежности полагалось равным  $M = 10000$ .

Исследование зависимости эмпирических значений технико-экономических показателей от пробега проводилось на основе аппроксимации по 9 типам кривых с МНК-оценкой их параметров. Выбор наилучшей кривой для аппроксимации осуществлялся с использованием  $F$ -критерия.

Выходная информация, получаемая в результате работы программного комплекса, анализируется в ОАО «МАЗ», дополняется данными из других источников. По полученным данным о характере и повторяемости неисправностей разрабатываются мероприятия по повышению надежности. После внедрения мероприятий проводится расчет соотношения показателей надежности и затрат на поддержание АТС в работоспособном состоянии, определяется прогнозируемый ресурс АТС по результатам эксплуатации.

## Список литературы

- [1] Лемешко Б.Ю. (2001) Об оценивании параметров распределений и проверке гипотез по цензурированным выборкам. *Методы менеджмента качества* 4, 32–38.
- [2] Diccio T.J., Efron B. (1996). Bootstrap Confidence Intervals. *Statistical Science* 11(3), 189–228.