

Проект «Инженерные кадры Зауралья»

*МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ*  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Курганский государственный университет»

Кафедра «Автомобильный транспорт и автосервис»

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРИОДИЧНОСТИ ТЕХНИЧЕСКОГО  
ОБСЛУЖИВАНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ**

Методические указания  
к выполнению лабораторных работ  
по дисциплине «Основы работоспособности технических систем»  
для студентов направления 190600.62

Курган 2014

Кафедра: «Автомобильный транспорт и автосервис»

Дисциплина: «Основы теории надежности»  
(направление 190600.62).

Составили: канд. техн. наук, доц. А. В. Шарыпов,  
канд. техн. наук, доц. Г. В. Осипов.

Утверждены на заседании кафедры «9» ноября 2013 г.

Рекомендованы методическим советом университета 22 ноября 2013 г. в рамках  
проекта «Инженерные кадры Зауралья»

## Лабораторная работа

### Определение периодичности технического обслуживания транспортных средств

#### 1 Цель работы

Целью лабораторной работы является закрепление и углубление знаний по разделу «Методы определения нормативов», полученных студентами при изучении дисциплины «Основы работоспособности технических систем».

#### 2 Общие сведения

##### 2.1 Нормативы технической эксплуатации автомобилей и методы их определение

**Норматив** — количественный или качественный показатель, используемый для упорядочения процесса принятия и реализации решения.

По назначению нормативы подразделяются на:

- регламентирующие свойства изделий (надежность, производительность, грузоподъемность, масса, габариты);
- регламентирующие состояние изделий и материалов (значения параметров технического состояния, плотность, вязкость, содержание компонентов и примесей);
- регламентирующие ресурсное обеспечение (капиталовложения, расход материалов и запасных частей, трудовых затрат);
- регламентирующие технологические требования (определяющие порядок проведения определенных операций ТО и Р).

По уровню нормативы подразделяются на:

- общегосударственные (государственные стандарты, общегосударственные нормы технологического проектирования ОНТП, нормы расхода запасных частей и т.д.);
- межотраслевые (положение о ТО и Р подвижного состава);
- отраслевые (типовые технологические и методические указания, отраслевые стандарты);
- внутриотраслевые и хозяйственные (нормативы качества ТО и Р, стандарты предприятий).

Нормативы используются при определении уровня работоспособности автомобилей и парка, планировании объемов работ, числа исполнителей, потребность в производственной базе.

К важнейшим нормативам технической эксплуатации относятся:

- периодичность ТО;
- ресурс изделия до ремонта;
- трудоемкость ТО и Р;
- расход запасных частей и эксплуатационных материалов.

Определение нормативов производится на основе данных о надежности изделий, расходе материалов, продолжительности и стоимости работ ТО и ремонта. Рассмотрим наиболее распространенные методы определения нормативов технической эксплуатации.

## **2.2 Методы определения периодичности технического обслуживания**

**Периодичность ТО** – это нормативная наработка (в километрах пробега или часах работы) между двумя последовательно проводимыми однородными работами ТО. При проведении обслуживания применяются два основных метода доведения изделия до требуемого технического состояния.

При первом методе (по наработке) устанавливается определенная периодичность, в соответствии с которой изделие восстанавливается до заданного технической документацией уровня при достижении установленной наработки.

При втором методе (по параметру технического состояния) при заданной периодичности производится сначала контроль технического состояния и принимается решение о проведении предупредительных технических воздействий, т.е. доведении технического состояния изделия до установленного уровня. Таким образом, в общем виде операция ТО состоит из двух частей – контрольной и исполнительской.

Целесообразность использования того или иного способа проведения ТО (с контролем или без него) определяется соотношением затрат на устранение и предупреждение отказов, на контрольную и исполнительскую части операции, вариацией случайных величин и другими факторами.

Методы определения периодичности ТО подразделяются на:

- а) простейшие (метод аналогии по прототипу);
- б) аналитические, основанные на результатах наблюдений и основных закономерностях ТЭА;
- в) имитационные, основанные на моделировании случайных процессов.

### **2.2.1 Определение периодичности технического обслуживания методом аналогий и уточнений**

Периодичность (так же, как и перечень работ) в соответствии с данным методом назначается путем сравнений с прототипами или предшествующими на данном заводе моделями и затем уточняется в результате заводских, межведомственных испытаний и опыта эксплуатации. Так как показатели эксплуатационной технологичности автомобилей долгое время не нормировались при проектировании, то при составлении рекомендаций над заводами довлело стремление застраховать свою продукцию, что приводило к назначению минимальной периодичности (и максимального перечня операций), многоступенчатым системам обслуживания, резко различающимся рекомендациям по обслуживанию конструктивно однородных узлов и механизмов автомобилей разных заводов и вызывало большие трудности при организации технологического процесса на автотранспортных предприятиях.

Естественно, что данный метод может быть рекомендован лишь в качестве ориентировочного для предварительных, главным образом, заводских испытаний, а также при назначении исходных режимов.

### 2.2.2 Определение периодичности технического обслуживания по изменению внешнего вида узла, механизма, соединения, материала

По внешнему виду и характеру загрязнений подвижного состава определяют периодичность и объем уборочных и моечных операций при работе автомобиля в данных условиях эксплуатации (дорожные условия, время года и т.д.). Внешний вид и расположение смазки в подшипниковых узлах трения (расслоение смазки, ее сброс) является одним из критериев, свидетельствующих о необходимости замены смазки. Этот метод применяют для определения периодичности замены масел для двигателей (капельная проба), смазки узлов трения автомобилей через пресс-масленки, выполнения ряда крепежных операций. Данный метод имеет ограниченное применение и дает лишь примерные результаты.

### 2.2.3 Определение периодичности ТО по допустимому уровню безотказности

Параметрам изменения технического состояния свойственно рассеивание. Если назначать периодичность технического обслуживания с учетом всего размаха возможных значений параметра, то она будет слишком низкой, а само содержание работ – нестабильным. Назначение периодичности, исходя из среднего значения параметра, приводит к тому, что около половины случаев отказов и неисправностей возникает ранее установленной периодичности. Предложенный метод определения периодичности по допустимому уровню безотказности предусматривает определение периодичности  $l_0$  при условии, что вероятность возникновения отказа или неисправности ранее установленной периодичности будет меньше обусловленного уровня (рисунок 2.1).

Вероятность безотказной работы

$$R_D \{x_i \leq l_0\} = \gamma, \text{ т.е. } l_0 = x_\gamma, \quad (2.1)$$

где  $x_i$  – наработка на отказ;

$R_D$  – допустимая вероятность безотказной работы;

$\gamma = 1 - F$ ;

$l_0$  – периодичность ТО;

$x_\gamma$  – гамма-процентный ресурс.

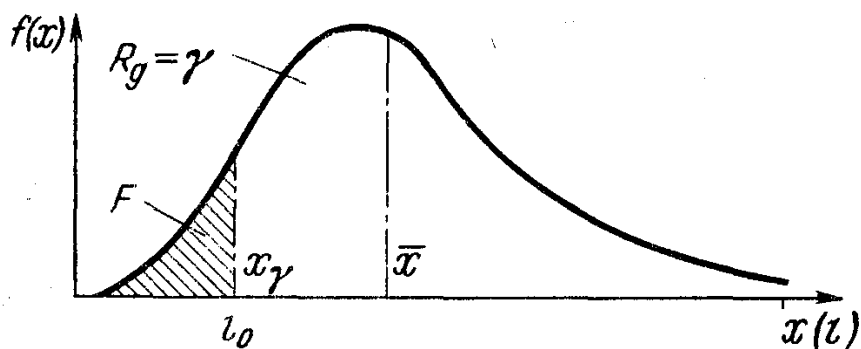


Рисунок 2.1 — Определение периодичности ТО по допустимому уровню безотказности

Для агрегатов и механизмов, обеспечивающих безопасность движения,  $R_{Д} = 0,9 - 0,98$ ; для прочих узлов и агрегатов  $R_{Д} = 0,85 - 0,90$ .

Определенная таким образом периодичность значительно меньше средней наработки на отказ и связана с ней следующим образом:

$$l_0 = \beta \bar{L}, \quad (2.2)$$

где  $\beta$  — коэффициент оптимальной периодичности, учитывающий вид кривой распределения, коэффициент вариации и доверительный уровень вероятности;

$\bar{L}$  — средняя наработка на отказ.

Чем меньше вариация случайной величины, тем больше периодичность технического обслуживания при прочих равных условиях может быть назначена. Более жесткие требования к безопасности снижают рациональную периодичность технического обслуживания (таблица 2.1).

Таблица 2.1 – Коэффициенты рациональной периодичности при различных значениях допустимой вероятности безотказной работы и коэффициента вариации ресурса

$R_{Д}$	Коэффициент вариации ресурса			
	0,2	0,4	0,6	0,8
0,85	0,80	0,55	0,40	0,25
0,95	0,67	0,37	0,20	0,10

Отметим условия, способствующие использованию данного метода:

- экономические последствия отказа и неисправности данного соединения, узла, механизма не являются первостепенными;
- массовость объектов, при которой удельное влияние каждого на работу машины, механизма, соединения относительно невелико;
- практическая невозможность фиксации последовательного изменения состояния каждого объекта по времени или пробегу.

Наиболее широкое применение данный метод нашел для установления периодичности технического обслуживания (контроль и подтягивание) кре-

пежных деталей. Метод может быть применен и для других узлов, агрегатов и механизмов в случае предварительной оценки периодичности технического обслуживания для их корректирования, а также при нормировании ресурса.

## 2.2.4 Определение периодичности ТО по допустимому значению и закономерности изменения параметра технического состояния

Изменение определенного параметра технического состояния у группы автомобилей происходит по-разному (кривые 1-7 рисунок 2.2). В среднем для этой группы тенденция изменения параметра характеризуется кривой 4, позволяющей определить среднюю наработку, когда в среднем вся совокупность изделий достигает допустимого значения параметра технического состояния. Этой средней наработке соответствует средняя интенсивность изменения параметра. При этом изделия с большей интенсивностью изменения параметра технического состояния будут достигать предельного состояния раньше, и, следовательно, для них при назначенной периодичности технического обслуживания, соответствующей средней наработке, будет зафиксирован отказ. Подобная система обслуживания является нерациональной, поэтому назначают такую периодичность  $l_0$ , при которой вероятность отказа не будет превышать заданной величины риска  $F$ , например,  $F = F_2$ .

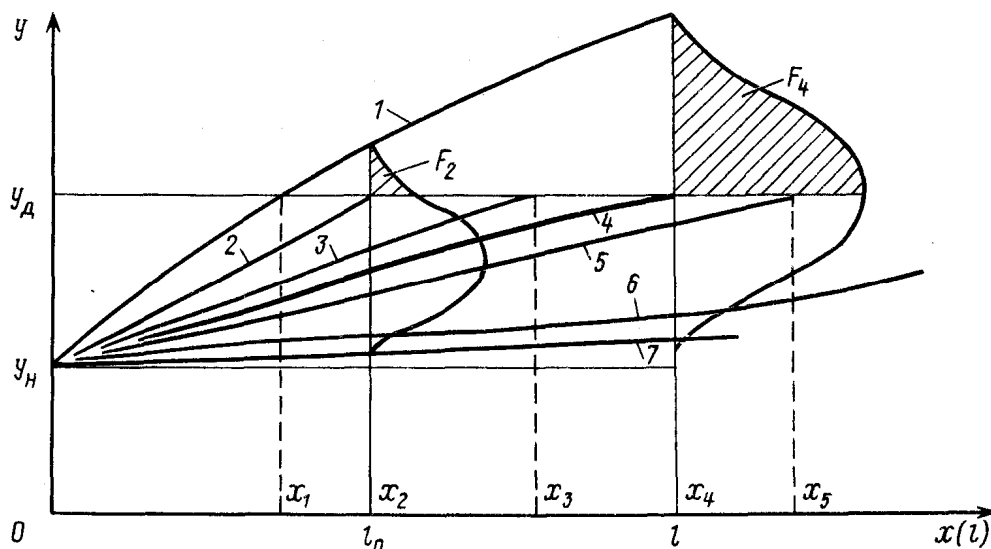


Рисунок 2.2 – Метод определения периодичности технического обслуживания по допустимому значению и закономерности изменения параметра технического состояния

Этот случай соответствует большей интенсивности изменения параметра технического состояния, чем средняя, называемой максимально допустимой:

$$a_D = \bar{a}\mu, \quad (2.3)$$

где  $\bar{a}$  – средняя интенсивность изменения параметра технического состояния, получаемая из кривых распределения;

$\mu$  – коэффициент максимальной интенсивности, учитывающий вид кривой распределения, коэффициент вариации и доверительный уровень вероятности.

На коэффициент  $\mu$  влияют степень риска, вариация и вид закона распределения.

Зная коэффициент вариации и задавшись доверительным уровнем вероятности, определяют  $\mu$ , а затем и максимальную интенсивность изменения параметра. Следовательно, с учетом уточнений данный метод позволяет определить такую периодичность обслуживания  $l_0$ , при которой вероятность превышения допустимого значения параметра технического состояния меньше допустимой. Естественно, что доверительный уровень вероятности не может быть постоянным для всех узлов, агрегатов и механизмов или принимаемых решений: для более ответственных он повышается, а для менее ответственных – снижается (таблица 2.2).

Таблица 2.2 – Обобщение значений доверительных уровней вероятностей

Последствия неправильного выбора доверительного уровня	$R_d$
Отказы или неправильно принятые решения, приводящие к экономическим потерям (увеличению трудоемкости, стоимости, простоев, к нарушению графика, штрафам, необходимости резервирования и т. д.) при:	
– нормировании долговечности конических передач авиационных редукторов;	0,95
– нормировании долговечности подшипников, шестерен, ступиц, клапанов, коленчатых валов, рессор, колес и других деталей автомобилей;	0,90–0,95
– нормировании долговечности тяговых двигателей электровозов;	0,94
– определении периодичности операций технического ухода за тракторами;	0,85
– разработках технологических процессов в машиностроении;	0,80–0,90
– расчетах безотказности средств автоматизации в химической промышленности.	0,90
Отказы и неправильно принятые решения, угрожающие здоровью и жизни людей, при:	
– нормировании долговечности деталей, влияющих на безопасность движения или полета;	0,95–0,99
– расчетах по безопасности и организации движения автомобилей;	0,90–0,95
– оценке новых лекарств, способов лечения, включая операции.	0,95–0,99

Учитывая проведенные исследования, а также опыт других отраслей промышленности и транспорта, при назначении периодичности технического



обслуживания автомобилей могут быть приняты следующие ориентировочные значения доверительных уровней вероятности: для агрегатов, механизмов, узлов, деталей и соединений, влияющих на безопасность движения,  $R_d = 0,9-0,95$ , для прочих  $R_d = 0,85-0,90$ .

Область применения рассмотренного метода – объекты обслуживания с явно фиксируемым изменением параметров технического состояния, к которым относится большинство узлов, агрегатов, механизмов, подвергаемых регулировочным (тормоза, сцепление, углы установки передних колес, реле-регулятор, натяжные ремни, клапанный механизм и др.), очистительным, (очистка фильтров, слив отстоя) и некоторым смазочным (проверка уровня) работам.

Необходимо подчеркнуть, что данным методом определяется рациональная периодичность выполнения контрольной части операции, а исполнительская часть выполняется по потребности с определенным коэффициентом повторяемости.

Применяя данный метод следует учитывать, что в нем непосредственно не рассматривается экономическая сторона определенной периодичности технического обслуживания.

### **2.2.5 Определение периодичности технического обслуживания по удельным затратам на техническое обслуживание и ремонт (технико-экономический метод)**

Рассмотренные методы определения периодичности технического обслуживания справедливы при условии, что на протяжении какого-то пробега или времени работы автомобиля изменения параметров технического состояния хотя и происходят, но не принимаются во внимание, а после прохождения этого пробега проводится техническое обслуживание, которое полностью или частично восстанавливает утраченные свойства соединения, механизма или агрегата. Так, например, по мере работы автомобиля средний зазор между накладками тормозных колодок и барабанами постепенно увеличивается до допустимого значения. При этом увеличивается и тормозной путь, оставаясь, однако, в пределах установленных норм, соответствующих допустимому значению зазора. Однако в ряде случаев любое изменение периодичности технического обслуживания оказывает влияние на стоимость технического обслуживания и ремонта.

Технико-экономический метод определения рационального режима технического обслуживания учитывает влияние периодичности технического обслуживания на износ деталей (межремонтный пробег  $L$ ), стоимость израсходованных материалов, а также трудовые затраты по техническому обслуживанию и ремонту. При этом удельные затраты на проведение технического обслуживания и ремонта определяются следующим образом:

$$C_{\Sigma} = C_I + C_{II} , \quad (2.4)$$

где  $C_{\Sigma}$  – суммарная удельная (т.е. отнесенная на единицу пробега) стоимость технического обслуживания и ремонта;

$C_1 = A/l$  – удельная стоимость технического обслуживания ( $A$  – затраты на операции технического обслуживания;

$l$  – периодичность обслуживания);

$C_{II} = B/L$  – удельная стоимость ремонта ( $B$  – затраты на ремонт);

$L$  – пробег между ремонтами).

Зависимости удельных затрат на обслуживание и ремонт в общем случае представляют собой гиперболические или близкие к ним функции, причем при увеличении периодичности технического обслуживания снижаются затраты на техническое обслуживание, но одновременно повышаются затраты на ремонт (рисунок 2.3). Поэтому суммарная удельная стоимость технического обслуживания и ремонта имеет экстремальную точку, соответствующую оптимальной периодичности технического обслуживания с минимумом затрат.

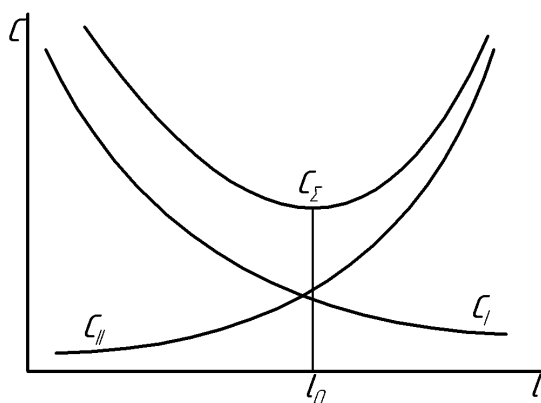


Рисунок 2.3 — Определение периодичности технического обслуживания по удельным затратам на техническое обслуживание и ремонт (технико-экономический метод)

Минимальные затраты на техническое обслуживание и ремонт являются лишь одной экономической характеристикой или критерием оптимальной периодичности и режима технического обслуживания в целом.

Могут быть учтены также технические критерии, безопасность движения, потери, связанные с прекращением транспортного процесса, простоями, стоимостью базы для технического обслуживания и ремонта и т.д. В этом случае оптимальная периодичность определяется из условия минимизации функции:

$$C_{\Sigma} = \sum_{j=1}^n C_j, \quad (2.5)$$

где  $C_j$  – факторы, влияющие на суммарные затраты.

Таким образом, в соответствии с технико-экономическим методом под оптимальным режимом технического обслуживания понимается такой режим, который обеспечивает надежную и безопасную работу подвижного состава при минимальных затратах материалов, средств и рабочей силы на техническое обслуживание и ремонт, отнесенных на единицу пробега или транспортной работы.

Рациональным режимом технического обслуживания следует считать такой режим, который в данных условиях эксплуатации обеспечивает по сравнению с ранее принятым режимом увеличение безотказности и безопасности работы подвижного состава и снижение затрат материалов, средств и рабочей силы на техническое обслуживание и ремонт, а также сокращение простоев подвижного состава в обслуживании и ремонте. Техничко-экономический метод вслед за его разработкой нашел широкое применение при обосновании оптимальных режимов технического обслуживания различных машин и механизмов. При этом он применен как для определения оптимальных или рациональных режимов по отдельным видам работ (например, смазочным), так и для сравнительной оценки эффективности режима в целом.

### 2.2.6 Определение периодичности технического обслуживания экономико-вероятностным методом

Этот метод обобщает предыдущие и учитывает экономические и вероятностные факторы, а также позволяет сравнивать различные стратегии поддержания и восстановления работоспособности автомобиля.

Как уже отмечалось, одна из стратегий сводится к устранению неисправностей изделия по мере их возникновения (рисунок 2.4 а), т.е. по потребности. Удельные затраты при этом определяются как отношение разовых затрат на ремонт к средней наработке на отказ.

Преимуществом этой стратегии является простота, основным недостатком – неопределенность состояния изделия, которое может отказать в любое время. Кроме того, затрудняются планирование и организация ТО и ремонта.

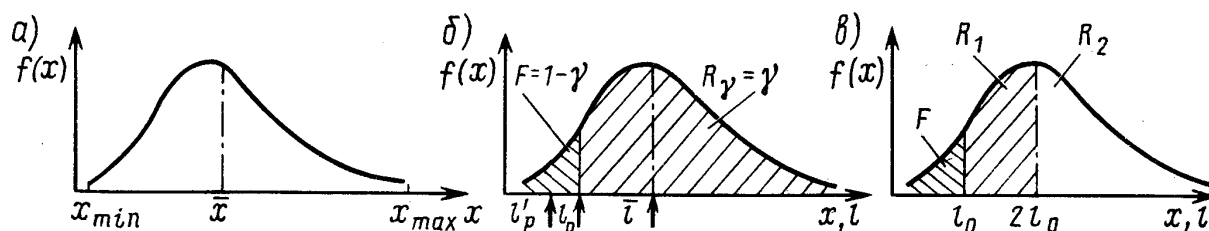


Рисунок 2.4 – Экономико-вероятностный метод определения периодичности ТО

Альтернативная стратегия (рисунок 2.4 б) предусматривает предупреждение отказов и повреждений, восстановление исходного или близкого к нему состояния изделия до того, как будет достигнуто предельное состояние. Эта стратегия реализуется при предупредительном ТО, предупредительных заменах деталей, узлов, механизмов и т.д.

Рассмотрим метод реализации этой стратегии. Так как теоретически отказ может произойти при любой сколько угодно малой периодичности, то стратегия реализуется не в чистом, а в смешанном виде: допускается определенная, как правило, малая вероятность отказа, а периодичность предупредительного обслуживания или ремонта меньше средней наработки на отказ. При этом те

отказы, которые возникли раньше заданной периодичности обслуживания, устраняются по мере их возникновения. Обычно задается допустимая вероятность отказа или требуемая вероятность безотказной работы.

Остальные работы будут проводиться с периодичностью  $l_p$ , стоимостью  $d$  и заданной вероятностью данного события.

Преимущества данной стратегии состоят в следующем. Во-первых, может быть гарантирован определенный уровень надежности работы изделия. Во-вторых, затраты на техническое обслуживание значительно ниже затрат на ремонт при отказе, который к тому же может сопровождаться с дополнительными потерями, связанными с оказанием помощи из-за нарушения транспортного процесса. В-третьих, предупредительный характер этой стратегии создает условия для плановой организации ТО и ремонта. Эти преимущества компенсируют определенный недостаток данной стратегии, заключающийся в недоиспользовании ресурса изделия, так как периодичность предупредительных работ оказывается меньше, чем средняя наработка до отказа.

При этой стратегии удельные затраты определяются как отношение средневзвешенной стоимости одной операции к средневзвешенной наработке с учетом отказа части изделий:

$$C = \frac{cF + dR}{l}, \quad (2.6)$$

где  $c$  – удельные затраты на проведение ремонта;  
 $d$  – удельные затраты на проведение технического обслуживания;  
 $l$  – средневзвешенная наработка.

В экономико-вероятностном методе так же, как и при определении оптимальной периодичности по безотказности, используют понятие коэффициента рациональной периодичности.

$$l_0 = \beta_0 \bar{L}, \quad (2.7)$$

$$\beta_0 = \left[ \frac{2(d/c)v}{(1+v^2)(1-v)} \right]^v, \quad (2.8)$$

где  $\beta_0$  – коэффициент рациональной периодичности;  
 $v$  – коэффициент вариации.

Экономико-вероятностный метод позволяет рассчитать рациональную периодичность ТО исходя из заданного сокращения потока отказов в межконтрольные периоды, т.е. между двумя последовательными ТО.

Экономико-вероятностный метод определяет и рациональные пути совершенствования организации ТО.

Действительно, при периодичности  $l_0$  фактически требуют предупредительного воздействия те изделия (первая группа), потенциальный отказ которых может возникнуть с некоторой вероятностью  $R_l$  (рисунок 2.3), при наработке  $l_0 \leq l \leq 2l_0$  (без учета вариации самой оптимальной периодичности). Изделия с потенциальной наработкой на отказ  $l_0 > 2l_0$  (вторая группа) могут обслу-

живаться не при данном, а при последующих обслуживающих. Вероятность этого события  $R_2 = R - R_1$ , поэтому при втором способе реализации предупредительной стратегии необходимо разделение изделий первой и второй группы, которое осуществляется с помощью контроля (диагностирования), требующего дополнительных затрат.

Таким образом, с оптимальной периодичностью  $l_0$  контролируются все не отказавшие до этого момента изделия. Стоимость этого контроля составляет  $d_k$ , а работы по доведению технического состояния до нормы, имеющие стоимость  $d$ , с вероятностью  $R_1$  проводятся только для первой группы изделий. Очевидно, такое развитие предупредительной стратегии с использованием диагностирования будет целесообразно, если дополнительная стоимость контроля (специальное оборудование, квалифицированный труд) будет компенсирована сокращением стоимости профилактической операции и ущерба от отказов. Следовательно, профилактическая операция в контрольной своей части будет выполняться для всех изделий по потребности с учетом результатов контроля.

Вторым условием применения предварительного контроля является обеспечение достоверного разделения (прогнозирование) с помощью диагностирования изделий, требующих обслуживания при очередном или последующих профилактических воздействиях.

Очевидно, что предварительный контроль целесообразен при уменьшении суммарных затрат по второму методу. При этом оптимальные периодичности при первом и втором методах могут не совпадать. Одним из методов проведения контрольных работ является диагностирование, которое служит для определения технического состояния автомобиля, его агрегатов и узлов без разборки и является технологическим элементом ТО и ремонта.

### **2.2.7 Определение периодичности технического обслуживания методом статистических испытаний**

Этот метод основан на имитации (моделировании) реальных случайных процессов ТО, что дает возможность ускорить испытания, исключить влияние побочных факторов, резко сократить стоимость экспериментов, провести при необходимости исследования с целью выбора наиболее пригодного варианта. Исходным материалом для моделирования служат как фактические данные, полученные при наблюдении, так и законы распределения.

## **3 Порядок выполнения лабораторной работы**

### **3.1 Задание на лабораторную работу**

Задание на лабораторную работу выдается каждому студенту индивидуально на специальном бланке и содержит:

- наименование агрегата, механизма, узла или системы;
- выборку значений наработок на отказ заданного объекта;

- величину затрат на проведение операции ТР – с;
- величину затрат на проведение операции ТО – d;

Лабораторная работа предусматривает определение периодичности технического обслуживания.

Для проведения расчетов предусмотрено использование компьютеров с использованием программы Microsoft Office Excel или с использованием разработанной программы для определения режимов технического обслуживания и диагностирования.

### 3.2 Расчет периодичности технического обслуживания

Периодичность ТО может быть определена по допустимому уровню безотказной работы агрегата, узла или системы; технико-экономическим методом; экономико-вероятностным методом.

#### 3.2.1 Метод определения периодичности по допустимому уровню безотказности

Метод определения периодичности по допустимому уровню безотказности предусматривает выбор такой периодичности  $l_{\text{от}}$ , при которой вероятность возникновения отказа или неисправности ранее установленной периодичности будет меньше обусловленного уровня. При этом для агрегатов, узлов и систем, обеспечивающих безопасность движения, допустимая вероятность безотказной работы принимается  $R_d = 0,90 \dots 0,95$ , для прочих узлов и агрегатов  $R_d = 0,85 \dots 0,90$ .

Искомая периодичность  $l_{\text{от}}$  может быть получена путем использования зависимости:

$$l_{\text{от}} = \beta_1 \bar{l}, \quad (3.1)$$

где  $\beta_1$  – коэффициент оптимальной периодичности, учитывающий величину и характер вариации наработки на отказ, а также принятую допустимую вероятность безотказной работы. Величина  $\beta_1$  может быть определена из таблицы 3.1.

Таблица 3.1 – Значения  $\beta_1$

Rg	$\beta_1$ при v			
	0.2	0.4	0.6	0.8
0.85	0.80	0.55	0.40	0.25
0.95	0.67	0.37	0.20	0.10

Для анализа статистических данных при определении периодичности ТО по данному методу рекомендуется использовать *статистические процедуры* надстройки Пакет анализа (Analysis Tool Pak) и *статистические функции* библиотеки встроенных функций Excel.

Основные сведения обо всех этих средствах имеются в электронной справочной системе Excel.

Для доступа к процедурам Пакета анализа необходимо в меню Сервис (Tools) щелкнуть указателем мыши на строке Анализ данных (Data Analysis). Открывается диалоговое окно с соответствующим названием, в котором перечислены процедуры статистического анализа данных (рисунок 3.1).

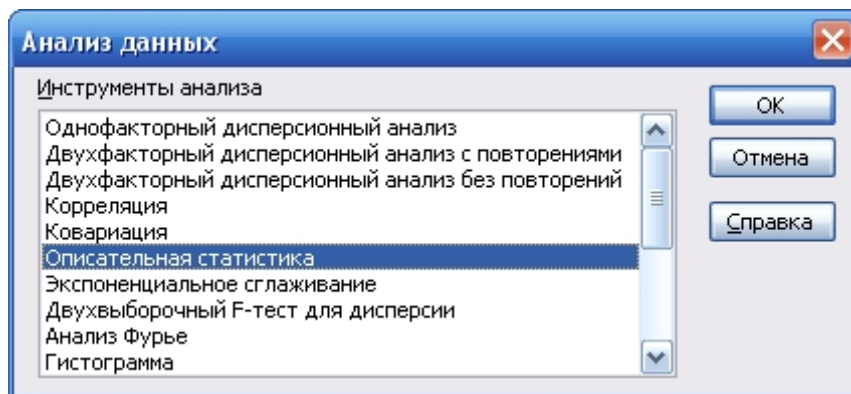


Рисунок 3.1 – Диалоговое окно процедуры Анализ данных

Для того, чтобы запустить в работу нужную статистическую процедуру, нужно выделить ее указателем мыши и щелкнуть на кнопке ОК. На экране появится диалоговое окно вызванной процедуры. На рисунке 3.2 для примера показано диалоговое окно процедуры Описательная статистика (Descriptive statistics).

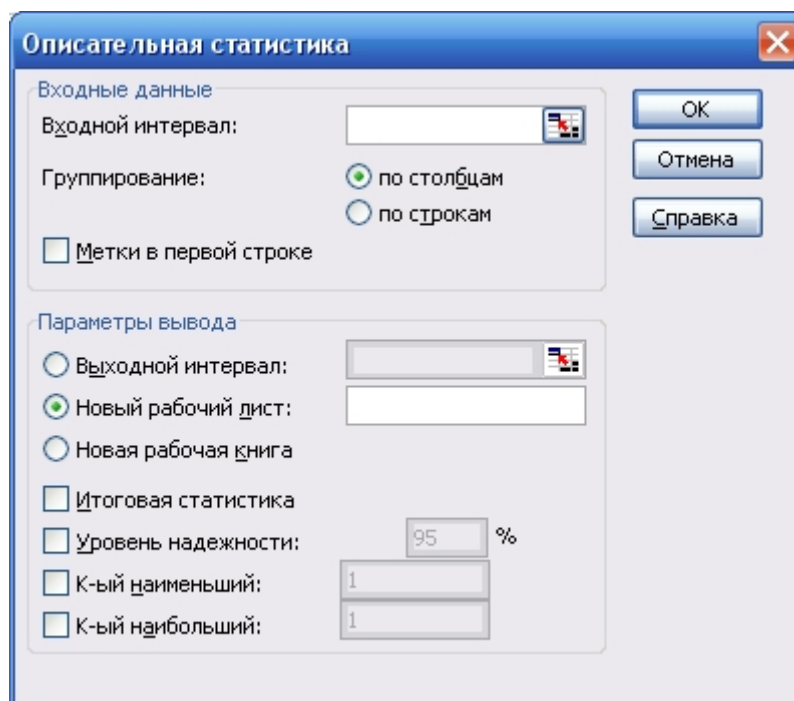


Рисунок 3.2 – Диалоговое окно процедуры Описательная статистика

Диалоговое окно каждой процедуры содержит элементы управления: поля ввода, раскрывающиеся списки, переключатели, флажки и т.п. Эти эле-

менты позволяют задать нужные параметры используемой процедуры. Некоторые элементы управления имеют специфический характер, присущий одной процедуре или небольшой группе процедур.

К числу общих для большинства процедур элементов управления относятся:

- поле ввода Входной интервал (Input Range). В это поле вводится ссылка на диапазон, содержащий статистические данные, подлежащие обработке. Входной диапазон может быть столбцом или группой столбцов (строкой или группой строк);

- переключатель Группирование (Grouped By). В том случае, когда входной диапазон представляет собой столбец или группу столбцов, переключатель устанавливается в положение по столбцам (Columns). Если же входной диапазон представляет собой строку или группу строк, то переключатель устанавливается в положение по строкам (Rows). Более точным названием этого переключателя было бы название Расположение;

- флажок Метки (Labels in First Row). Флажок устанавливается в тех случаях, когда первая строка (первый столбец) входного диапазона содержит заголовки. Если такие заголовки отсутствуют, флажок Метки не устанавливается. При этом Excel автоматически создает и выводит на экран стандартные названия для данных выходного диапазона (Столбец 1, Столбец 2, ... или Строка 1, Строка 2, ...);

- переключатели Выходной интервал/Новый рабочий лист/Новая книга (Output Range/New Worksheet/New Workbook). Эти переключатели определяют место вывода таблицы, содержащей результаты реализации статистической процедуры. В группе может быть выбран только один переключатель.

При выборе переключателя Выходной интервал таблица результатов решения выводится на тот же рабочий лист, на котором находятся исходные данные. Справа от переключателя открывается поле ввода, в которое надо ввести ссылку на левую верхнюю ячейку таблицы результатов.

В положении Новый рабочий лист открывается новый лист рабочей книги. На этот лист, начиная с ячейки A1, и выводится таблица результатов решения. Справа от переключателя имеется поле ввода, в которое в случае необходимости можно ввести имя нового рабочего листа.

Следует заметить, что результаты, получаемые с помощью статистических процедур Пакета анализа, не имеют постоянной связи с исходными данными — в случае изменения исходных данных результаты решения автоматически не изменяются. В том случае, когда необходимо получить результаты, автоматически изменяющиеся вместе с исходными данными, нужно использовать подходящие статистические функции библиотеки встроенных функций.

После вычисления выборочных характеристик необходимо рассчитать коэффициент вариации наработки на отказ равный отношению стандартного отклонения к математическому ожиданию (среднему значению наработки на отказ) по формуле:

$$v_x = \frac{\sigma}{m}. \quad (3.2)$$



Затем необходимо рассчитать периодичность технического обслуживания по формуле 3.1.

### 3.2.2 Определение периодичности ТО экономико-вероятностным методом

Экономико-вероятностный метод предусматривает проведение технического обслуживания с периодичностью  $l_{TO}$  при которой суммарные удельные затраты на проведение ТО и ТР будут минимальными. При этом удельные затраты определяются как отношение средневзвешенной по вероятности стоимости соответствующей операции к средневзвешенной наработке:

$$C_{\Sigma} = C_{TO} + C_{TP} = \frac{dP}{l_{cp}} + \frac{c(1-P)}{l_{cp}}, \quad (3.3)$$

где  $d$  – затраты на операции ТО;

$c$  – затраты на операции ТР;

$P$  – вероятность безотказной работы при пробеге  $l_{TO}$ .

Величина средневзвешенной наработки  $l_{cp}$  может быть определена:

$$l_{cp} = l_{TO}P + \int_{l_{min}}^{l_{TO}} l\varphi(l)dl, \quad (3.4)$$

где  $l_{min}$  – минимальная наработка на отказ по выборке;

$\varphi(l)$  – дифференциальная функция распределения отказов.

Для определения периодичности ТО, используя данный метод, необходимо провести статистическую обработку исходных данных, используя методику, рассмотренную в лабораторных работах по курсу «Основы теории надежности» /1/. Методика приведена в приложении А.

Для этого необходимо:

– для заданной выборки наработки на отказ рассчитать основные статистические характеристики: выборочное среднее, выборочную дисперсию, выборочное среднее квадратическое отклонение, наименьшее и наибольшее значения, размах выборки, асимметрию, эксцесс, коэффициент вариации;

– данные для случайной величины *наработка на отказ* разбить на 10 групп и сформировать статистический ряд, содержащий границы и середины частичных интервалов, а также соответствующие частоты; вычислить относительные, накопленные и накопленные относительные частоты;

– для случайной величины построить полигон и кумуляту частот, построить гистограмму по плотностям относительных частот;

– установить ее соответствие заданным законам распределения, используя критерий  $\chi^2$ ;

– с помощью критерия  $\chi^2$  выполнить проверку справедливости гипотезы о соответствии статистических данных выбранным распределениям, уровень значимости при подборе подходящего распределения принять равным 0,05.

Для того, чтобы определить оптимальную периодичность обслуживания, необходимо, изменяя в достаточно широких пределах величину  $l_{TO}$ , произвести вычисления по формулам (3.3) и (3.4) до достижения минимального значения  $C_{\Sigma}$ .

В рамках выполнения данной лабораторной работы определение  $l_{TO}$  производится на ЭВМ с использованием специально разработанной программы. При этом результаты расчета заносятся в таблицу 3.2. Затем результаты расчета представляются в виде графика, отражающего зависимости:

$$C_{TO} = \varphi_1(l_{TO}), \quad C_{TP} = \varphi_2(l_{TO}), \quad C_{\Sigma} = \varphi_3(l_{TO}).$$

Таблица 3.2 – Определение оптимальной периодичности ТО экономико-вероятностным методом

$l_{TO}$	$C_{TO}$	$C_{TP}$	$C_{\Sigma}$
1	2	3	4

Определить оптимальную периодичность технического обслуживания, используя коэффициент оптимальной периодичности:

$$l_{\hat{O}T} = \beta_2 \bar{l}, \quad (3.5)$$

где  $\beta_2 = \left[ \frac{2(d/c)v}{(1+v^2)(1-v)} \right]^v$ .

В формуле (3.5) величина  $v$  представляет собой коэффициент вариации наработки на отказ.

После проведения расчетов и определения периодичности ТО с использованием различных методов провести сравнение полученных значений и сделать выводы.

#### 4 Содержание отчета

- 1 Наименование и цель работы.
- 2 Основные определения и расчетные формулы.
- 3 Исходные данные и результаты вычислений (таблицы, графики).
- 4 Выводы и заключение.

## 5 Контрольные вопросы

- 1 Какой из методов учитывает технические и экономические характеристики объектов, для которых определяется периодичность ТО?
- 2 Что означает понятие «упорядочение данных»?
- 3 Что означает понятие «группировка данных»?

## Список литературы

- 1 Методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплине «Основы теории надежности» для студентов направления 190600.62. – Курган : Изд-во Курганского гос. ун-та, 2013. – 15 с.
- 2 Шарыпов, А. В. Основы теории надежности транспортных систем [Текст] : учебное пособие / А. В. Шарыпов, Г. В. Осипов. – Курган : Изд-во Курганского гос. ун-та, 2006. – 128 с.
- 3 Половко, А. М. Основы теории надежности [Текст] / А. М. Половко, С. В. Гуров. – СПб. : БХВ-Петербург, 2006. – 704 с.
- 4 Половко, А. М. Основы теории надежности [Текст] : практикум / А. М. Половко, С. В. Гуров. – СПб. : БХВ-Петербург, 2006. – 560 с.

Приложение А  
(информационное)

**1 Статистическая обработка данных**

**1.1 Вычисление основных характеристик выборки**

Основными числовыми характеристиками выборочной совокупности являются выборочное среднее, выборочная дисперсия, выборочное среднее квадратическое (или стандартное) отклонение, наименьшее и наибольшее значения, размах выборки, асимметрия, эксцесс.

Для расчета указанных характеристик в Excel необходимо поставить курсор в ячейку, в которую будет записано значение характеристики, вызвать соответствующую функцию и в качестве ее аргумента указать блок ячеек со статистическими данными.

Для удобства следующих операций значения случайной величины  $Z$  (статистические данные) перепишем на другой лист в прямоугольный блок ячеек, например в ячейки A1 : J10.

Значения вычисляемых характеристик будем располагать в ячейках с G12 по G19, как показано в таблице A1.1.

Таблица A1.1 – Расчет выборочных характеристик

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	
1	17,68	29,19	17,75	34,38	6,29	4,98	5,70	3,44	21,96	17,51	
2	38,68	9,52	16,03	9,53	27,22	15,66	19,10	13,64	25,46	5,91	
3	2,87	6,58	4,86	8,98	8,53	24,33	19,38	39,52	41,72	27,54	
4	28,55	14,08	4,53	16,62	27,99	30,43	7,87	18,60	9,58	2,58	
5	4,86	28,76	2,61	26,79	43,88	17,28	19,70	20,41	15,08	20,05	
6	12,84	17,23	84,86	15,76	56,95	5,46	16,34	25,38	35,96	9,76	
7	33,74	16,93	8,92	58,53	4,52	20,64	9,94	27,92	12,78	35,14	
8	13,24	14,71	4,64	5,90	28,99	43,44	53,56	23,23	24,53	15,20	
9	42,10	17,22	29,16	15,64	4,38	17,55	3,45	6,95	17,31	20,73	
10	11,04	20,31	23,33	10,48	12,85	17,93	26,95	15,20	11,86	23,21	
11											
12	Выборочное среднее						19,79				
13	Выборочная дисперсия						190,76				
14	Выборочное ср. квадр. отклонение						13,81				
15	Наименьшее значение						2,58				
16	Наибольшее значение						84,86				
17	Размах выборки						82,28				
18	Асимметрия						1,69				
19	Эксцесс						4,62				

Вычисление выборочных характеристик осуществляется по формулам:

- выборочное среднее:  $G12 = \text{СРЗНАЧ}(A1 : J10)$ ;
- выборочная дисперсия:  $G13 = \text{ДИСП}(A1 : J10)$ ;
- выборочное среднее квадратическое отклонение:  
 $G14 = \text{СТАНДОТКЛОН}(A1 : J10)$  ИЛИ  $G14 = \text{КОРЕНЬ}(G13)$ ;
- наименьшее значение:  $G15 = \text{МИН}(A1 : J10)$ ;
- наибольшее значение:  $G16 = \text{МАКС}(A1 : J10)$ ;
- размах выборки:  $G17 = G16 - G15$ ;
- асимметрия:  $G18 = \text{СКОС}(A1 : J10)$ ;
- эксцесс:  $G19 = \text{ЭКСЦЕСС}(A1 : J10)$ .

## 1.2 Формирование статистического ряда и графическое представление данных

Для наглядного представления статистических данных используется группировка. Числовая ось разбивается на интервалы, и для каждого интервала подсчитывается число элементов выборки, которые в него попали. Группировка данных производится в следующей последовательности:

- наименьшее значение округляется в меньшую сторону, а наибольшее – в большую сторону до «хороших» чисел  $x_{min}$  и  $x_{max}$ ;
- выбирается количество групп  $k$ , удовлетворяющее неравенству  $6 < k < 20$ ; иногда оно определяется по формуле  $k = [5 \cdot \lg n]$ . Например, если объем выборки  $n = 100$ , то  $k = 10$ ;
- находится шаг по формуле  $h = \frac{R}{k}$ ,

где  $R = x_{max} - x_{min}$  – длина промежутка, в котором содержатся статистические данные;

– определяются границы частичных интервалов:

$$a_0 = x_{min}, \quad a_1 = a_0 + h, \quad a_2 = a_1 + h, \quad \dots \quad a_k = a_{k-1} + h = x_{max}; \quad (A1.1)$$

– в каждом интервале вычисляются средние значения  $\tilde{x}_i = \frac{a_{i-1} + a_i}{2}$ ;

– для каждого интервала  $[a_{i-1}, a_i]$ ,  $i = 1, 2, \dots, k$  находятся:

а) частоты  $n_i$ , т.е. число выборочных значений, попавших в интервал;

б) относительные частоты  $\frac{n_i}{n}$ ;

в) накопленные частоты  $w_i = n_1 + n_2 + \dots + n_i$ ;

г) накопленные относительные частоты  $\frac{w_i}{n}$ .

Для выборочной совокупности (таблица А1.1) результаты группировки в Excel представлены в таблице А1.2.

Сначала следует указать объем выборки, максимальное и минимальное значения, размах выборки, количество групп и шаг:

$A23 = 100, B23 = 100, C23 = 0, D23 = B23 - C23, E23 = 10, F23 = D23 / E23.$

В ячейках A25 : H25 указываются заголовки будущей таблицы. В этой таблице колонки B и C можно заполнить в соответствии с формулами (1.1) или заполнить две строки и скопировать их в последующие так, чтобы всего получилось  $k = 10$  строк. Колонку D можно заполнить, используя формулу:

$$D26 = (B26 + C26) / 2$$

с последующим копированием в ячейки D27 : D35.

Таблица A1.2 – Группировка статистических данных

	A	B	C	D	E	F	G	H
21								
22	$n$	$x_{\max}$	$x_{\min}$	$R$	$k$	$h$		
23	100	100	0	100	10	10		
24								
25	Группа	Левая граница	Правая граница	Сере- дина	Частота	Относ. частота	Накоп. частота	Накоп. относ. частота
26	1	0	10	5	27	0,27	27	0,27
27	2	10	20	15	34	0,34	61	0,61
28	3	20	30	25	24	0,24	85	0,85
29	4	30	40	35	7	0,07	92	0,92
30	5	40	50	45	4	0,04	96	0,96
31	6	50	60	55	3	0,03	99	0,99
32	7	60	70	65	0	0	99	0,99
33	8	70	80	75	0	0	99	0,99
34	9	80	90	85	1	0,01	100	1
35	10	90	100	95	0	0	100	1

Для заполнения колонки E следует выделить ячейки E26 : E35 и обратиться к функции ЧАСТОТА, указав массив статистических данных и массив правых границ интервалов:

$$\{= \text{ЧАСТОТА}(A1:J10; C26:C35)\}.$$

Одновременное нажатие клавиш <Ctrl>+<Shift>+<Enter> приведет к заполнению выделенных ячеек.

Заполнение колонки F производится по формуле:

$$F26 = E26 / \$A\$23$$

с последующим копированием в ячейки F27 : F35.

Далее заполняются две ячейки колонки G по формулам:

$$G26 = E26, \quad G27 = G26 + E27$$

с последующим копированием G27 в ячейки G28 : G35.

Колонка H заполняется по формуле:  $H26 = G26 / \$A\$23$

с последующим копированием в ячейки H27 : H35.

Данные, собранные в таблице А1.2, нуждаются в наглядном представлении. Формами такого наглядного представления являются:

– полигоны частот – графическая зависимость частот (относительных частот) от середин интервалов (рисунок А1.1);

– кумуляты частот – графическая зависимость накопленных частот (накопленных относительных частот) от середин интервалов (рисунок А1.2).

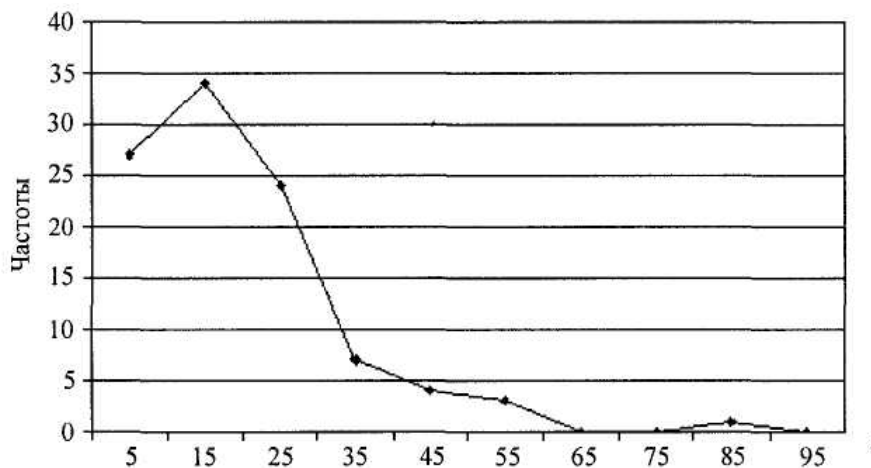


Рисунок А1.1 – Полигон частот

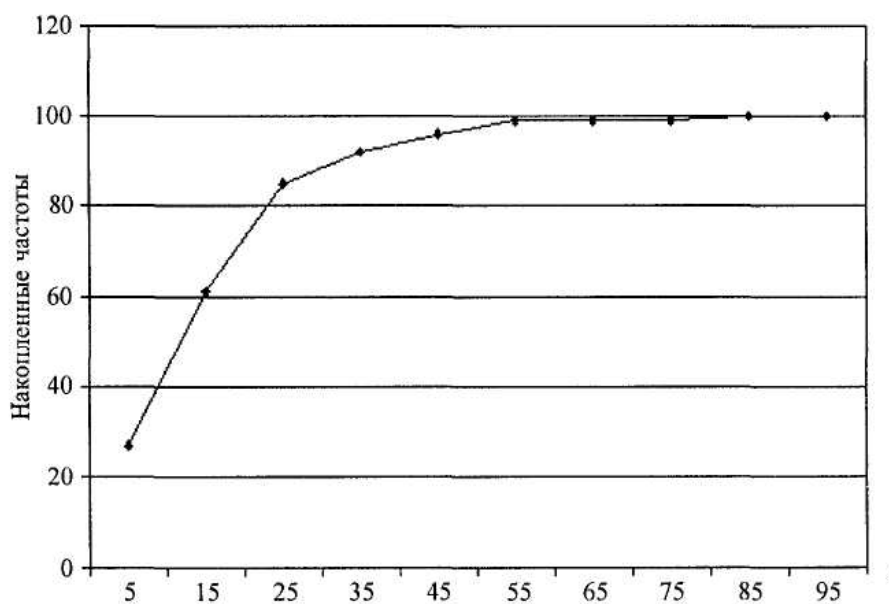


Рисунок А1.2 – Кумулята частот

### 1.3 Подбор подходящего закона распределения вероятностей

При достаточно большом объеме выборки статистические данные позволяют подобрать подходящее распределение вероятностей. С этой целью можно рассмотреть некоторые известные распределения, например равномерное, нормальное и гамма-распределение.

Предположим, что случайная величина  $X$  имеет функцию распределения  $F(x)$ . Будем называть это предположение гипотезой о виде распределения случайной величины  $X$ . Чтобы иметь полную информацию о распределении случайной величины, надо знать параметры этого распределения или их некоторые оценки. Как правило, параметры распределений берутся такими, чтобы математическое ожидание случайной величины  $X$  было равно выборочной средней, а среднее квадратическое отклонение случайной величины  $X$  – выборочному среднему квадратическому отклонению. Указанные выборочные характеристики находятся в ячейках G12 и G14 соответственно.

Откроем новый лист Excel и поместим эти значения в ячейки A2 и B2 соответственно (таблица A1.3). Определим параметры равномерного, нормального и гамма-распределений в соответствии с формулами:

$$a = m - \sigma\sqrt{3}, \quad b = m + \sigma\sqrt{3}, \quad \alpha = \frac{m^2}{\sigma^2}, \quad \beta = \frac{\sigma^2}{m}$$

и запишем их в ячейки:

$$B5 = A2 - B2 \cdot \text{КОРЕНЬ}(3),$$

$$B6 = A2 + B2 \cdot \text{КОРЕНЬ}(3),$$

$$B8 = A2,$$

$$B9 = B2,$$

$$B11 = (A2/B2)^2,$$

$$B12 = B2^2/A2.$$

Далее построим таблицу, шапка которой располагается в ячейках A14 : E14.

В ячейках A15 : A24 содержатся середины частичных интервалов, взятые из ячеек D26 : D35 предыдущего листа. В ячейках B15 : B24 вычислены плотности относительных частот как частное от деления относительных частот предыдущего листа (ячейки F26 : F35) на шаг (ячейка \$F\$23).

Таблица A 1.3 – Значения плотностей распределения

	А	В	С	Д	Е
1	Матем. ожидание	Сред. кв. отклон			
2	19,79	13,81			
3					
4	Параметры равномерного распределения				
5	$a$	-4,13			
6	$b$	43,71			
7	Параметры нормального распределения				
8	$m$	19,79			
9	$\sigma$	13,81			



Продолжение таблицы А1.3

10	Параметры гамма - распределения				
11	$\alpha$	2,05			
12	$\beta$	9,64			
13					
14	Середина	Плотность относит, частот	Плотность равномер. распред.	Плотность нормал распред.	Плотность гамма-распред.
15	5	0,027	0,021	0,016	0,030
16	15	0,034	0,021	0,027	0,034
17	25	0,024	0,021	0,027	0,021
18	35	0,007	0,021	0,016	0,010
19	45	0,004	0,000	0,005	0,005
20	55	0,003	0,000	0,001	0,002
21	65	0,000	0,000	0,000	0,001
22	75	0,000	0,000	0,000	0,000
23	85	0,001	0,000	0,000	0,000
24	95	0,000	0,000	0,000	0,000

Плотности равномерного, нормального и гамма-распределений рассчитываются в соответствии с формулами:

$$C15 = \text{ЕСЛИ}(A15 < B5; 0; \text{ЕСЛИ}(A15 \leq B6 / (B6 - B5); 0)),$$

$$D15 = \text{НОРМРАСП}(A15; B8; B9; \text{ЛОЖЬ}),$$

$$E15 = \text{ГАММАРАСП}(A15; B11; B12; \text{ЛОЖЬ}),$$

затем они копируются в блок ячеек С16:Е24.

Построим гистограмму частот, совмещенную с плотностью каждого из указанных ранее распределений. Гистограмма частот – это графическое изображение зависимости плотности относительных частот  $n_i / nh$  от соответствующего интервала группировки.

В этом случае площадь гистограммы равна единице, и гистограмма может служить аналогом плотности распределения вероятностей случайной величины  $X$ . Графическое изображение гистограммы и кривых различных распределений приведено на рисунках А1.3-А1.5. При этом используется нестандартная диаграмма типа «График | гистограмма».

По внешнему виду этих графиков вполне можно судить о соответствии кривой распределения данной гистограмме, т.е. о том, какая кривая ближе к полученной гистограмме.

Используя критерий  $\chi^2$ , надо установить, верна ли принятая нами гипотеза о распределении случайной величины  $X$ , т.е. о соответствии функции распределения  $F(x)$  экспериментальным данным, чтобы ошибка не превышала заданного уровня значимости  $\alpha$  (вероятность того, что будет отвергнута правильная гипотеза).

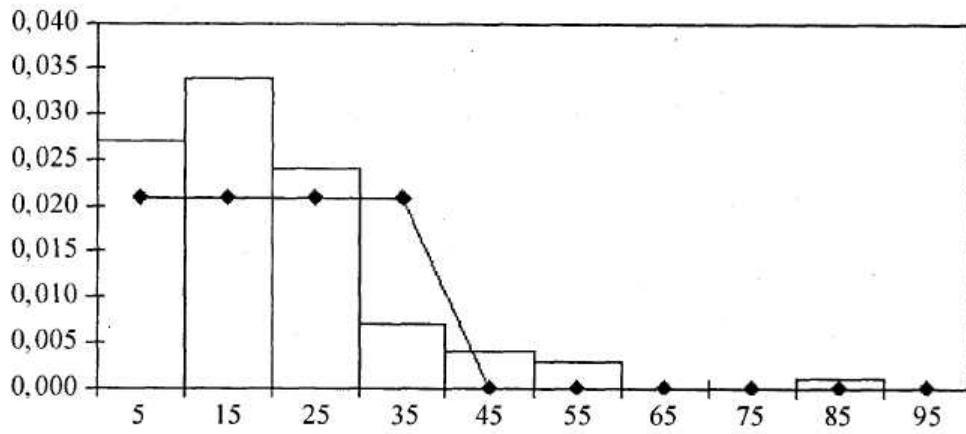


Рисунок А1.3 – Сглаживание гистограммы плотностью равномерного распределения

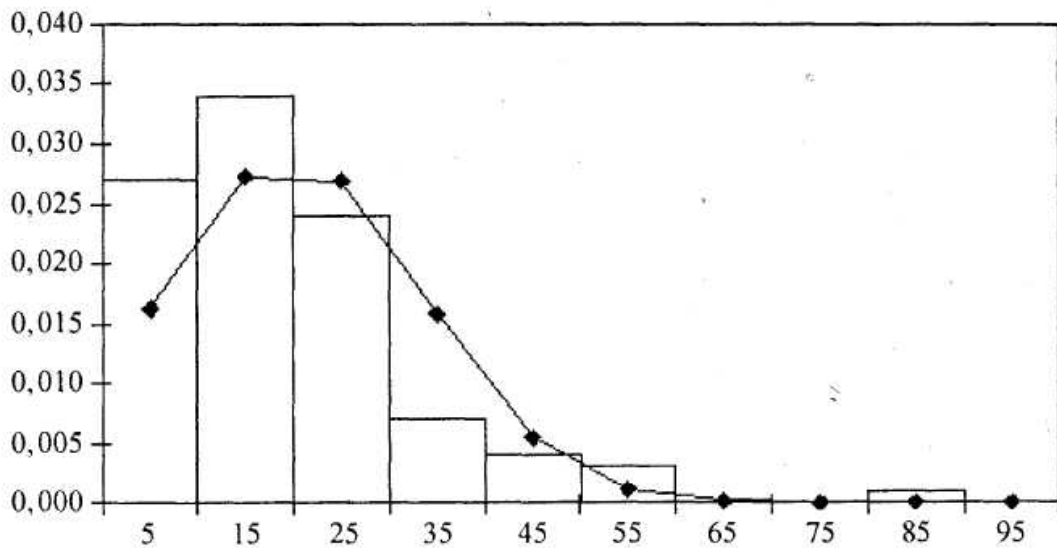


Рисунок А1.4 – Сглаживание гистограммы плотностью нормального распределения

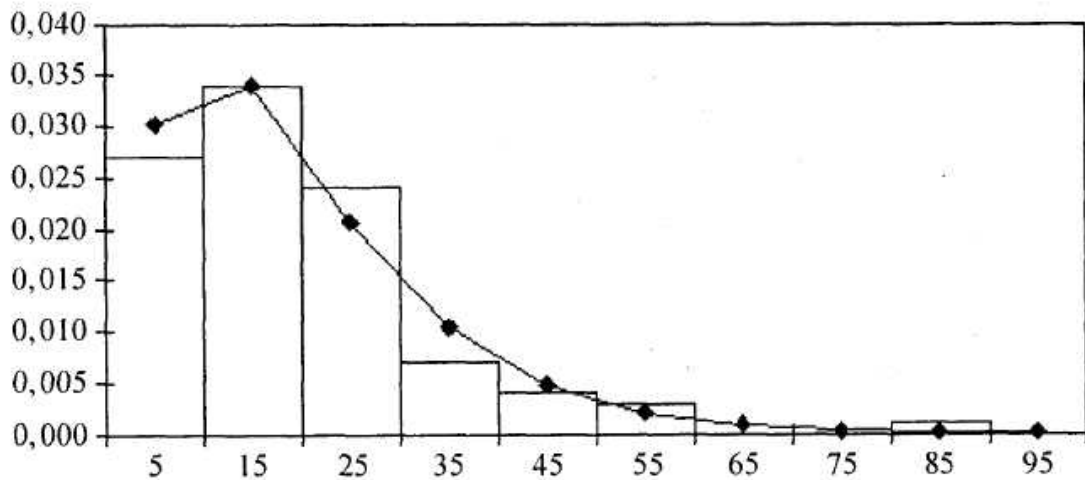


Рисунок А1.5 – Сглаживание гистограммы плотностью гамма-распределения

Для применения критерия  $\chi^2$  необходимо, чтобы частоты  $n_i$ , соответствующие каждому интервалу, были не меньше 5. Если это не так, рядом стоящие интервалы объединяются, а их частоты суммируются. В результате общее количество интервалов может уменьшиться до значения  $k'$ . Далее вычисляется следующая сумма:

$$\chi_{\text{выч}}^2 = \sum_{i=1}^{k'} \frac{(n_i - np)^2}{np_i}, \quad (\text{A1.2})$$

где  $p_i$  – теоретическая вероятность того, что случайная величина  $X$  примет значение из интервала  $[a_{i-1}, a_i]$ . Мы предположили, что случайная величина  $X$  имеет функцию распределения  $F(x)$ , поэтому  $p_i = F(a_i) - F(a_{i-1})$ . Образец расчетов по формуле (A1.2) в Excel для трех распределений показан в таблице A1.4.

В колонке А содержатся левые, а в колонке В – правые границы интервалов. В колонке С находятся соответствующие частоты. Заметим, что интервалы с 5-го по 10-й объединены в один, чтобы все частоты были не менее пяти. Количество интервалов вместо  $k = 10$  стало равным  $k' = 5$ . В колонке D рассчитываются теоретические вероятности в зависимости от вида распределения. Как обычно, вычисляется одно значение, которое копируется в другие ячейки:

– для равномерного распределения:

D45 = ЕСЛИ(B45 < \$B\$5; 0; ЕСЛИ(B45 <= \$B\$6;  
(B45 - \$B\$5)/(\$B\$6 - \$B\$5); 1)) - ЕСЛИ(A45 < \$B\$5; 0;  
ЕСЛИ(A45 <= \$B\$6; (A45 - \$B\$5)/(\$B\$6 - \$B\$5); 1));

– для нормального распределения:

D52 = НОРМРАСП(B52; \$B\$8; \$B\$9; ИСТИНА) - НОРМРАСП(A52;  
\$B\$8; \$B\$9; ИСТИНА);

– для гамма-распределения:

D59 = ГАММАРАСП(B59; \$B\$11; \$B\$12; ИСТИНА)- ГАММА-  
РАСП(A59; \$B\$11; \$B\$12; ИСТИНА).

В колонке E рассчитываются слагаемые соотношения (A1.2) по формуле:

E45 = (C45 - 100·D45)^2/(100·D45), которая копируется в другие ячейки колонки E.

Согласно формулы (A1.2) для каждого рассмотренного распределения определяются итоговые суммы:

E50 = СУММ(E45:E49),

E57 = СУММ(E52:E56),

E64 = СУММ(E59:E63),

которые равны соответственно 19,698, 14,214 и 1,789.

Гипотеза о виде закона распределения должна быть принята, если вычисленное значение  $\chi_{\text{выч}}^2$  достаточно мало, а именно не превосходит критического значения  $\chi_{\text{кр}}^2$ , которое определяется по распределению  $\chi^2$  в зависимости от заданного уровня значимости  $\alpha$  и числа степеней свободы  $r = k' - s - 1$ . Здесь  $s$  – число неизвестных параметров распределения, которые были определены по выборке (для равномерного, нормального и гамма-распределений  $s = 2$ ). В дан-

ном примере  $r = k'-s-1 = 5-3 = 2$ . Полагая  $\alpha = 0,05$ , критическое значение критерия  $\chi^2$  в Excel рассчитывается по формуле:

$$E66 = \text{ХИ2ОБР}(0,05;2)$$

и, как следует из таблицы А1.4, равно 5,991.

Таблица А1.4 – Подбор распределения на основе критерия  $\chi^2$

	А	В	С	Д	Е
43	Левая граница	Правая граница	Частота	Вероятности	$\chi^2$
44				Равномерное распределение	
45	0	10	27	0,209	1,778
46	10	20	34	0,209	8,206
47	20	30	24	0,209	0,459
48	30	40	7	0,209	9,247
49	40	100	8	0,078	0,008
50	Сумма				19,698
51				Нормальное распределение	
52	0	10	27	0,163	6,978
53	10	20	34	0,267	2,004
54	20	30	24	0,264	0,220
55	30	40	7	0,158	4,916
56	40	100	8	0,072	0,097
57	Сумма				14,214
58				Гамма-распределение	
59	0	10	27	0,263	0,017
60	10	20	34	0,335	0,007
61	20	30	24	0,208	0,477
62	30	40	7	0,106	1,243
63	40	100	8	0,086	0,045
64	Сумма				1,789
65					
66	Критическое значение критерия				5,991

Поскольку  $1,789 < 5,991$ , то принимается гипотеза о том, что статистические данные имеют гамма-распределение с параметрами  $\alpha = 2,05$  и  $\beta = 9,64$  соответственно.

Шарыпов Александр Владимирович  
Осипов Георгий Владимирович

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРИОДИЧНОСТИ ТЕХНИЧЕСКОГО  
ОБСЛУЖИВАНИЯ  
ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ**

Методические указания  
к выполнению лабораторных работ  
по дисциплине «Основы работоспособности технических систем»  
для студентов направления 190600.62

Редактор Е. А. Могутова

---

Подписано в печать 07.05.14	Формат 60*84 1/16	Бумага тип. 65 гр. м <sup>2</sup>
Печать цифровая	Усл. печ. л. 2,0	Уч-изд. л. 2,0
Заказ 141	Тираж 50	Не для продажи

---

РИЦ Курганского государственного университета.  
640000, г. Курган, ул. Советская, 63/4.  
Курганский государственный университет.