

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования
«ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

А.В. Рудаченко, С.В. Дайнеко, Н.В. Чухарева, С.С. Байкин

**ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ
ПО НАДЕЖНОСТИ ГАЗОНЕФТЕПРОВОДОВ**

Издательство Томского политехнического университета
2008

УДК 622.692.4/693

Р 83

Рудаченко А.В.

Р 83 Лабораторный практикум по надежности газонефтепроводов: методические указания / А.В. Рудаченко, С.В. Дайнеко, Н.В. Чухарева, С.С. Байкин. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – 135 с.

ISBN 5–98298–196–6

В работе изложены основные понятия и определения по надежности оборудования газонефтепроводов, рассмотрены наиболее часто используемые модели надежности как отдельных объектов, так и систем газонефтепроводов в целом. Представлены основные этапы построения моделей надежности и этапы компьютерного моделирования для решения практических задач по надежности. Приводится материал по практическому применению методов компьютерного моделирования для решения задач надежности газонефтепроводов в среде Excel. Построение моделей объектов проводится на реальных статистических данных.

Предназначено для магистрантов дневного обучения направления «Нефтегазовое дело» специальности «Надежность газонефтепроводов и хранилищ».

УДК 622.692.4/693

Рекомендовано к печати Редакционно-издательским советом
Томского политехнического университета

Рецензент

Инженер по диагностике производственного
отдела эксплуатации магистральных газопроводов
и газораспределительных станций ООО «Томсктрансгаз», к.т.н.

А.В. Герасимов

ISBN 5–98298–196–6

© Томский политехнический университет, 2008

© Оформление. Издательство Томского политехнического университета, 2008

Дайнеко Светлана Витальевна,
Рудаченко Александр Валентинович,
Чухарева Наталья Вячеславовна,
Байкин Сергей Сергеевич

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ ПО НАДЕЖНОСТИ ГАЗОНЕФТЕПРОВОДОВ

Редактор	М.В. Пересторонина
Верстка	К.С. Чечельницкая
Дизайн обложки	О.Ю. Аршинова О.А. Дмитриев

Подписано к печати 09.04.2008. Формат 60х84/16. Бумага «Снегурочка».
Печать XEROX. Усл.печ.л. 7,85. Уч.-изд.л. 7,1.
Заказ 332. Тираж 100 экз.



Томский политехнический университет
Система менеджмента качества
Томского политехнического университета сертифицирована
NATIONAL QUALITY ASSURANCE по стандарту ISO 9001:2000



ИЗДАТЕЛЬСТВО ТПУ. 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30.



ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	6
1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ	8
1.1. Основные характеристики конструкции линейной части магистральных газопроводов и трассы газопровода в целом	8
1.2. Нагрузки и воздействия	9
1.3. Классификация отказов и предельных состояний	12
1.4. Показатели надежности	15
1.5. Применение моделей и методов теории надежности при проектировании линейной части магистральных газопроводов	19
1.6. Критичность отказов и предельных состояний	25
1.7. Требования к построению расчетных схем для оценки напряженно-деформированного состояния участка газопровода	28
1.8. Формирование расчетных участков	28
1.9. Формирование пространства состояний расчетного участка	30
1.10. Перечень и структура нормируемых показателей надежности	31
1.11. Методы расчета показателей надежности	32
2. ВЫДВИЖЕНИЕ ГИПОТЕЗЫ О ВИДЕ ЗАКОНА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СЛУЧАЙНОЙ ВЕЛИЧИНЫ	36
Лабораторная работа № 1. Выдвижение гипотезы о законе распределения времени безотказной работы линейной части магистрального газопровода	38
Лабораторная работа № 2. Выдвижение гипотезы о функции распределения времени восстановления линейной части магистральных газопроводов	43
Лабораторная работа № 3. Выдвижение гипотезы о модели надежности газоперекачивающего агрегата	50
Лабораторная работа № 4. Выдвижение гипотезы о законе распределения отказов линейной части нефтепродуктопровода вследствие продольных разрушений	54
Лабораторная работа № 5. Выдвижение гипотезы о законе распределения времени безотказной работы насосных агрегатов НПС	58
Лабораторная работа № 6. Выдвижение гипотезы о законе распределения времени безотказной работы магистральных насосов	62

3. МЕТОДЫ ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ В EXCEL	69
Лабораторная работа № 7. Метод наименьших квадратов	69
Лабораторная работа № 8. Графический метод-построение линий тренда	75
Лабораторная работа № 9. Метод экспоненциальной регрессии	81
4. МОДЕЛИ НАДЕЖНОСТИ ОБЪЕКТОВ ГАЗОНЕФТЕПРОВОДОВ	89
Лабораторная работа № 10. Определение вида функции распределения времени восстановления линейной части магистральных газопроводов	89
Лабораторная работа № 11. Построение модели надежности газоперекачивающих агрегатов	96
Лабораторная работа № 12. Построение модели отказов линейной части нефтепродуктопровода вследствие продольных разрушений, инициированных сквозными трещинами	100
Лабораторная работа № 13. Определение закона распределения времени безотказной работы насосных агрегатов НПС	105
Лабораторная работа № 14. Определение закона распределения времени безотказной работы магистральных насосов	109
5. КОРРЕЛЯЦИОННЫЙ АНАЛИЗ МОДЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ	116
Лабораторная работа № 15. Выбор оптимального метода компьютерного моделирования в Excel и построения модели надежности линейной части магистральных газопроводов на базе корреляционного анализа	118
Лабораторная работа № 16. Проверка на адекватность действительности функции распределения времени восстановления линейной части магистральных газопроводов на базе корреляционного анализа	119
Лабораторная работа № 17. Проверка на адекватность действительности построенной модели надежности газоперекачивающих агрегатов на базе корреляционного анализа	120
Лабораторная работа № 18. Проверка на адекватность действительности построенной модели отказов линейной части нефтепродуктопровода вследствие продольных разрушений, инициированных сквозными трещинами, на базе корреляционного анализа	121
Лабораторная работа № 19. Проверка на адекватность действительности закона распределения времени безотказной работы насосных агрегатов нефтеперекачивающей станции на базе корреляционного анализа	122

пределения и эмпирического распределения (для проверки гипотез о законах распределения вероятностей).

Каждый критерий согласия имеет свои особенности.

Основным преимуществом критерия согласия Пирсона является его гибкость, т. е. его можно применять для проверки допущения *о любом распределении*, даже не зная параметров распределения. Основным недостатком данного критерия согласия является нечувствительность к обнаружению адекватной модели, когда *число наблюдений невелико*.

Критерий согласия Колмогорова целесообразно применять при *небольшой* выборке информации.

Рассмотрим практическое использование этих критериев на конкретном примере.

Определить:

1. Достоверность закона распределения времени безотказной работы магистральных насосов магистрального нефтепровода $PT_0(t)$, полученной ранее в лабораторной работе № 14, с помощью критерия согласия Пирсона.
2. Достоверность закона распределения времени безотказной работы магистральных насосов магистрального нефтепровода $PT_0(t)$, полученной ранее в лабораторной работе № 14, с помощью критерия согласия Колмогорова.
3. Сравнить полученные оценки достоверности законов, вычисленные с помощью критериев согласия Пирсона и Колмогорова.
4. Сопоставить результаты сравнения двух критериев согласия с проверкой на адекватность действительности закона, полученной ранее на базе корреляционного анализа в лабораторной работе № 20.
5. Провести сравнительный анализ использования критериев согласия Колмогорова и Пирсона, а также метода корреляции для оценки соответствия полученного теоретического $PT_0(t)$ и статистического $PC_0(t)$ закона распределения времени безотказной работы магистральных насосов нефтепровода.

Исходные данные для выполнения настоящей лабораторной работы следует взять из лабораторных работ № 14 и 20.

Определить:

1. Достоверность закона распределения времени безотказной работы насосных агрегатов нефтеперекачивающей станции **PT0(t)**, полученного ранее в лабораторной работе № 13, с помощью критерия согласия Пирсона.
2. Достоверность закона распределения времени безотказной работы насосных агрегатов нефтеперекачивающей станции **PT0(t)**, полученного ранее в лабораторной работе № 13, с помощью критерия согласия Колмогорова.
3. Сравнить полученные оценки достоверности законов, вычисленные с помощью критериев согласия Пирсона и Колмогорова.
4. Сопоставить результаты сравнения двух критериев согласия с проверкой на адекватность действительности закона, полученной ранее в лабораторной работе № 19 на базе корреляционного анализа.
5. Провести сравнительный анализ использования критериев согласия Колмогорова и Пирсона, а также метода корреляции для оценки соответствия полученного теоретического **PT0(t)** и статистического **PC0(t)** закона распределения времени безотказной работы насосных агрегатов нефтеперекачивающей станции.

Исходные данные для выполнения настоящей лабораторной работы следует взять из лабораторных работ № 13 и 19.



Лабораторная работа № 29

Проверка достоверности закона распределения времени безотказной работы магистральных насосов с помощью критериев согласия

Постановка задачи

В теории и практике оценки надежности объектов трубопроводного транспорта нефти и газа широко применяются критерии согласия Пирсона (хи-квадрат или χ^2 -критерий) и Колмогорова для проверки соответствия между выбранной математической моделью теоретического рас-

Лабораторная работа № 20. Проверка на адекватность действительности закона распределения безотказной работы магистральных насосов на базе корреляционного анализа 123

6. ПРОВЕРКА ПОСТРОЕННЫХ МОДЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ НА АДЕКВАТНОСТЬ ДЕЙСТВИТЕЛЬНОСТИ 124

Лабораторная работа № 21. Проверка достоверности модели надежности линейной части магистральных газопроводов с помощью критерия согласия Пирсона 124

Лабораторная работа № 22. Проверка достоверности модели надежности газоперекачивающих агрегатов с помощью критерия согласия Пирсона 125

Лабораторная работа № 23. Проверка достоверности модели отказов линейной части нефтепродуктопровода вследствие продольных разрушений с помощью критерия согласия Пирсона 126

Лабораторная работа № 24. Проверка достоверности модели надежности линейной части магистральных газопроводов с помощью критерия согласия Колмогорова 127

Лабораторная работа № 25. Проверка достоверности модели надежности ГПА с помощью критерия согласия Колмогорова 128

Лабораторная работа № 26. Проверка достоверности модели отказов линейной части нефтепродуктопровода вследствие продольных разрушений с помощью критерия согласия Колмогорова 129

Лабораторная работа № 27. Проверка достоверности модели распределения времени восстановления ЛЧ МГ с помощью критериев согласия 130

Лабораторная работа № 28. Проверка достоверности закона распределения времени безотказной работы насосных агрегатов нефтеперекачивающей станции с помощью критериев согласия 131

Лабораторная работа № 29. Проверка достоверности закона распределения времени безотказной работы магистральных насосов с помощью критериев согласия 132

ВВЕДЕНИЕ

Надежность магистрального трубопровода планируется на этапе его проектирования. При этом стремятся решить две задачи – спроектировать магистральный трубопровод с заданными характеристиками и с заданным сроком службы. Однако выбор проектного решения затрудняется, когда нужно найти решение, удовлетворяющее одновременно требованиям к надежности и требованиям к эксплуатационным характеристикам. Как правило, к вопросам надежности подходят с позиций экономической целесообразности.

Повышение надежности всего магистрального газонефтепровода и его элементов требует определенных и больших затрат, но недостаточная надежность приводит, в свою очередь, к потерям средств труда, времени, ущербу для потребителя и поставщика, значительным затратам для проведения плановых и аварийных ремонтных работ в период эксплуатации.

При проектировании надежности необходимо использовать вероятностный анализ, который может обеспечить правильный выбор конструктивного решения, так как надежность, являющаяся вероятностным понятием, обычно полностью исключает интуицию.

Надежность магистрального трубопровода зависит от надежности его элементов. Мерой надежности элемента является интенсивность отказов. При их отсутствии элемент обладает стопроцентной надежностью.

Конструкция магистрального трубопровода и его отдельных элементов (объектов) определяет частоту внезапных отказов и их долговечность. Поэтому на стадии проектирования закладывается частота отказов, если со стороны заказчика не предъявляется конкретных количественных требований к надежности. Если такие требования заданы, то при проектировании необходимо выбрать такую конструкцию элементов магистрального трубопровода, чтобы интенсивность отказов не превышала бы требуемого уровня.

На этапе проектирования на основании требований к характеристикам системы в целом необходимо выработать требования к характеристикам отдельных элементов магистрального трубопровода, включая надежность.

Требования к надежности магистрального трубопровода зависят от таких факторов, как степень важности отдельных элементов системы



Лабораторная работа № 28

Проверка достоверности закона распределения времени безотказной работы насосных агрегатов нефтеперекачивающей станции с помощью критериев согласия

Постановка задачи

В теории и практике оценки надежности объектов трубопроводного транспорта нефти и газа широко применяются критерии согласия Пирсона (хи-квадрат или χ^2 -критерий) и Колмогорова для проверки соответствия между выбранной математической моделью теоретического распределения и эмпирического распределения (для проверки гипотез о законах распределения вероятностей).

Каждый критерий согласия имеет свои особенности.

Основным преимуществом критерия согласия Пирсона является его гибкость, т. е. его можно применять для проверки допущения *о любом распределении*, даже не зная параметров распределения. Основным недостатком данного критерия согласия является нечувствительность к обнаружению адекватной модели, когда *число наблюдений невелико*.

Критерий согласия Колмогорова целесообразно применять при *небольшой* выборке информации.

Рассмотрим практическое использование этих критериев на конкретном примере.

Лабораторная работа № 27

Проверка достоверности модели распределения времени восстановления ЛЧ МГ с помощью критериев согласия

Постановка задачи

В теории и практике оценки надежности объектов трубопроводного транспорта нефти и газа широко применяются критерии согласия Пирсона (хи-квадрат или χ^2 -критерий) и Колмогорова для проверки соответствия между выбранной математической моделью теоретического распределения и эмпирического распределения (для проверки гипотез о законах распределения вероятностей).

Каждый критерий согласия имеет свои особенности.

Основным преимуществом критерия согласия Пирсона является его гибкость, т. е. его можно применять для проверки допущения *о любом распределении*, даже не зная параметров распределения. Основным недостатком данного критерия согласия является нечувствительность к обнаружению адекватной модели, когда *число наблюдений невелико*.

Критерий согласия Колмогорова целесообразно применять при *небольшой* выборке информации.

Рассмотрим практическое использование этих критериев на конкретном примере.

Определить:

1. Достоверность модели распределения времени восстановления работы магистрального газопровода **РТВ(t)**, полученной ранее в лабораторной работе № 10, с помощью критерия согласия Пирсона.
2. Достоверность модели распределения времени восстановления работы магистрального газопровода **РТВ(t)**, полученной ранее в лабораторной работе № 10, с помощью критерия согласия Колмогорова.
3. Сравнить полученные оценки достоверности модели, построенной с помощью критериев согласия Пирсона и Колмогорова.
4. Сопоставить полученные результаты сравнения двух критериев согласия с проверкой на адекватность действительности построенной модели на базе корреляционного анализа, полученной в лабораторной работе № 16.
5. Провести сравнительный анализ использования критериев согласия Колмогорова и Пирсона, а также метода корреляции для оценки соответствия полученной теоретической **РТВ(t)** и статистической **РСВ(t)** функции распределения времени восстановления линейной части магистрального газопровода.

Исходные данные для выполнения настоящей лабораторной работы следует взять из лабораторных работ № 10 и 16.

для обеспечения ее функционирования, метода выполнения системой своих функций, сложности системы, изменения надежности ее элементов во времени и характера выполняемых функций.



1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

1.1. Основные характеристики конструкции линейной части магистральных газопроводов и трассы газопровода в целом

К линейной части магистрального трубопровода (МТ) относятся собственно трубопровод с линейной арматурой, переходами через естественные и искусственные преграды, линии технологической связи и электропередачи, вдольтрассовые и подъездные дороги, защитные сооружения и т. п. В дальнейшем под линейной частью МТ мы будем понимать только трубопровод (нитка из цельнотянутых сварных прямых и спиралешовных труб с антикоррозионным покрытием) и свайное основание для надземных систем.

Рассмотрим линейную часть МТ на примере магистрального газопровода. В качестве элементов технологической части магистрального газопровода следует рассматривать отдельные элементы конструкции:

- узлы пуска и приема очистных устройств;
- газопровод, проходящий по территории компрессорных станций (КС) и внутри ее зданий и сооружений;
- всасывающий коллектор обвязочного газопровода КС;
- нагнетательный коллектор обвязочного газопровода КС;
- газопровод, примыкающий к газораспределительной станции (ГРС) и к подземному хранилищу газа (ПХГ);
- подводные переходы.

К основным характеристикам конструкции линейной части магистральных газопроводов относятся следующие группы данных:

- конструктивная схема прокладки трубопровода;
- координаты, определяющие ориентацию продольной оси трубопровода на всем протяжении трассы;
- основные пространственные характеристики конструктивных элементов с указанием допускаемых отклонений от номинальных размеров, включая искажения формы изделий (номинальный наружный D_n и внутренний $D_{вн}$ диаметры труб, толщина стенки h , допускаемый нормативный разброс этих значений, допускаемое отклонение поперечного сечения трубы от круговой формы, геометрические характеристики формы сварных швов и т. п.);

соответствия выбранной теоретической $PT_0(t)$ и статистической $PCT_0(t)$ функций распределения вероятности времени безотказной работы ГПА на ГКС.

Исходные данные для выполнения настоящей лабораторной работы следует взять из лабораторных работ № 11, 17, 22.

Лабораторная работа № 26

Проверка достоверности модели отказов линейной части нефтепродуктопровода вследствие продольных разрушений с помощью критерия согласия Колмогорова

Постановка задачи

Критерии согласия Пирсона и Колмогорова широко применяются в теории и практике оценки надежности объектов трубопроводного транспорта нефти и газа для проверки достоверности гипотез о законах распределения вероятностей.

Критерий согласия Колмогорова целесообразно применять при *небольшой* выборке информации.

Определить:

1. Что полученное ранее в лабораторной работе № 12 теоретическое распределение вероятности возникновения продольных разрушений в зависимости от длины сквозных трещин $PT(L)$ не противоречит статистическому $PC(L)$. Для проверки соответствия между выбранной математической моделью теоретического распределения и эмпирического распределения произвести на основе критерия согласия Колмогорова.
2. Сопоставить полученную оценку достоверности построенной модели с результатом, полученным в лабораторной работе № 18, где оценка модели соответствию действительности была произведена с помощью корреляционного анализа.
3. Сопоставить полученную оценку достоверности построенной модели с результатом, полученным в лабораторной работе № 23, где оценка модели соответствию действительности была произведена с помощью критерия согласия Пирсона.
4. Провести сравнительный анализ использования критериев согласия Колмогорова и Пирсона, а также метода корреляции для оценки соответствия выбранной теоретической функции распределения вероятности возникновения продольных разрушений в зависимости от длины сквозных трещин $PT(L)$ и статистической функции $PCT_0(t)$.

Исходные данные для выполнения работ № 12, 18, 23.

оценка модели соответствию действительности была произведена с помощью корреляционного анализа.

3. Сопоставить полученную оценку достоверности построенной модели с результатом, полученным в лабораторной работе № 21, где оценка модели соответствию действительности была произведена с помощью критерия согласия Пирсона.
4. Провести сравнительный анализ использования критериев согласия Колмогорова и Пирсона, а также метода корреляции для оценки соответствия выбранных теоретических функций распределения времени безотказной работы магистрального газопровода $P_1T_0(t)$, $P_2T_0(t)$, $P_3T_0(t)$, $P_4T_0(t)$, $P_5T_0(t)$ и статистической функции $PCT_0(t)$. *Исходные данные для выполнения настоящей лабораторной работы следует взять из лабораторных работ № 7...9, 15, 21.*

Лабораторная работа № 25

Проверка достоверности модели надежности ГПА с помощью критерия согласия Колмогорова

Постановка задачи

Критерии согласия Пирсона и Колмогорова широко применяются в теории и практике оценки надежности объектов трубопроводного транспорта нефти и газа для проверки достоверности гипотез о законах распределения вероятностей.

Критерий согласия Колмогорова целесообразно применять при *небольшой* выборке информации.

Определить:

1. Что полученное ранее в лабораторной работе № 11 теоретическое распределение времени безотказной работы ГПА на ГКС $PT_0(t)$ не противоречит статистическому $PC_0(t)$. Для проверки соответствия между выбранной математической моделью теоретического распределения и эмпирического распределения произвести на основе критерия согласия Колмогорова.
2. Сопоставить полученную оценку достоверности построенной модели с результатом, полученным в лабораторной работе № 17, где оценка модели соответствию действительности была произведена с помощью корреляционного анализа.
3. Сопоставить полученную оценку достоверности построенной модели с результатом, полученным в лабораторной работе № 22, где оценка модели соответствию действительности была произведена с помощью критерия согласия Пирсона.
4. Провести сравнительный анализ использования критериев согласия Колмогорова и Пирсона, а также метода корреляции для оценки

- *физико-механические, включая прочностные, свойства применяемых материалов и аналогичные характеристики металлов в зоне сварных швов. Состав и объем необходимой информации должен быть составлен или скорректирован с учетом выбранных для реализации расчетных схем;*
- *данные о начальной и/или текущей дефектности материала труб, включая перечень возможных дефектов, данные о плотности и размещении дефектов в теле трубы.*

К основным характеристикам трассы в целом относятся следующие группы факторов:

- *Климатические условия вдоль трассы газопровода – годовые, сезонные и дневные прогнозные оценки перепадов температур воздуха и почвы, влажность, объем осадков (дождевые, снеговые, ледовые). В случае отсутствия достоверной и полной информации должны быть сделаны расчетные оценки показателей на весь прогнозируемый срок эксплуатации.*
- *Геоморфологические и гляциокриологические условия вдоль трассы: качественные и количественные характеристики рельефа в зоне прокладки трассы, предварительные оценки возможных подвижек грунта и их воздействий на трассу. Грунтовые условия, включая минеральный состав и физико-механические характеристики грунтов, в зависимости от проектных режимов эксплуатации трубопровода и климатических условий вдоль трассы и т. п. Основные характеристики должны быть определены как функции времени и пространственной координаты.*
- *Дополнительная информация о территории предполагаемой прокладки трассы трубопровода: полные топографические данные о населенных пунктах, энергетических, транспортных и т. п. магистралах, других технических объектах, которые могут стать объектом поражения при аварии газопровода. Исходная информация должна включать сведения о типе и масштабе возможных последствий при повреждении объектов вдоль трассы трубопровода.*

1.2. Нагрузки и воздействия

Трубопровод во время эксплуатации испытывает нагрузки и воздействия, которые, в общем случае, представляют собой пространственно-временные функции. Поэтому, учитывая продолжительность сроков эксплуатации трубопроводов и высокую изменчивость нагрузок и воздействий, исходная информация о нагрузках и воздействиях должна быть подготовлена с учетом фактора времени.

Различают стандартные и нестандартные условия работы трубопровода. В первом случае для расчета параметров проектируемого трубопровода реализуют базовую упрощенную процедуру исследования и расчета напряженно-деформированного состояния трубопровода. Для нестандартных условий работы должна быть применена расширенная процедура анализа нагрузок и воздействий на трубопровод и расчета напряженно-деформированного состояния.

К нестандартным относятся условия, при которых прокладка трассы трубопровода планируется по территориям со следующими характеристиками особенностями:

- *заболоченные и подтопленные территории;*
- *территории с подповерхностными пустотами различного происхождения (подрабатываемые территории в зонах шахтного строительства, территории с карстовыми пустотами и т. п.);*
- *зоны вечномерзлых грунтов;*
- *оползневые зоны;*
- *сейсмоопасные зоны.*

Перечень особых зон является открытым. По выбору проектировщика он может быть дополнен новыми позициями. Для каждого нестандартного условия должна быть реализована специализированная методика анализа нагрузок и воздействий на трубопровод.

Нагрузки и воздействия на трубопровод, согласно *РД 51–4.2.–003–97*, разделяют на две группы: *функциональные* и *природно-климатические*.

Перечень и уровень *функциональных нагрузок* обеспечивается и регулируется конструктивной схемой трубопровода и реализованными на практике режимами эксплуатации. К функциональным нагрузкам относятся: внутреннее давление перекачиваемого продукта, регулируемые температурные воздействия и др. Данные о типах и уровнях функциональных нагрузок должны быть получены из проектной документации.

Природно-климатические нагрузки обусловлены взаимодействием трубопровода с окружающей средой. Данные о типах и уровнях природно-климатических нагрузок могут быть получены на основе анализа принятых конструктивных решений, информации о планируемой трассе, включающей основные природно-климатические характеристики регионов и принятых физических, механических и математических моделей рассматриваемых явлений.

Содержание, форма и объем представления данных о природно-климатических нагрузках и воздействиях зависит от принятой к реализации расчетной модели.

Реальные совокупные нагрузки и воздействия на трубопровод представляют собой *сложную комбинацию двух рассмотренных типов*.

Критерии согласия Пирсона широко применяются в теории и практике оценки надежности объектов трубопроводного транспорта нефти и газа для проверки гипотез о законах распределения вероятностей.

Определить:

1. Что полученное ранее в лабораторной работе № 12 теоретическое распределение вероятности возникновения продольных разрушений в зависимости от длины сквозных трещин $PT(L)$ не противоречит статистическому $PC(L)$. Для проверки соответствия между выбранной математической моделью теоретического распределения и эмпирического распределения произвести на основе критерия согласия Пирсона.
2. Сопоставить полученный результат с результатом, полученным в лабораторной работе № 18, где оценка модели соответствию действительности была произведена с помощью корреляционного анализа.
3. Провести сравнительный анализ использования критерия согласия Пирсона и метода корреляции для оценки соответствия выбранной теоретической функции распределения вероятности возникновения продольных разрушений в зависимости от длины сквозных трещин $PT(L)$ и статистической функции $PCT_0(t)$.

Исходные данные для выполнения настоящей лабораторной работы следует взять из лабораторных работ № 12 и 18.

Лабораторная работа № 24

Проверка достоверности модели надежности линейной части магистральных газопроводов с помощью критерия согласия Колмогорова

Постановка задачи

Критерии согласия Пирсона и Колмогорова широко применяются в теории и практике оценки надежности объектов трубопроводного транспорта нефти и газа для проверки достоверности гипотез о законах распределения вероятностей.

Критерий согласия Колмогорова целесообразно применять при *небольшой* выборке информации.

Определить:

1. Модель, наиболее адекватную действительности среди теоретических функций распределения времени безотказной работы магистрального газопровода $P_1T_0(t)$, $P_2T_0(t)$, $P_3T_0(t)$, $P_4T_0(t)$ и $P_5T_0(t)$, полученных ранее в лабораторных работах № 7...9 (законы № 1...5). Выбор математической модели произвести на основе критерия согласия Колмогорова.
2. Сопоставить полученную оценку достоверности построенной модели с результатом, полученным в лабораторной работе № 15, где

Основным преимуществом критерия согласия Пирсона является его гибкость, т. е. его можно применять для проверки допущения *о любом распределении*, даже не зная параметров распределения. Основным недостатком данного критерия согласия является нечувствительность к обнаружению адекватной модели, когда *число наблюдений невелико*.

Критерии согласия Пирсона широко применяются в теории и практике оценки надежности объектов трубопроводного транспорта нефти и газа для проверки гипотез о законах распределения вероятностей.

Определить:

1. Что полученное ранее в лабораторной работе № 11 теоретическое распределение времени безотказной работы ГПА на ГКС $PT_0(t)$ не противоречит статистическому $PC_0(t)$. Для проверки соответствия между выбранной математической моделью теоретического распределения и эмпирического распределения произвести на основе критерия согласия Пирсона.
2. Сопоставить полученный результат с результатом, полученным в лабораторной работе № 17, где оценка модели соответствия действительности была произведена с помощью корреляционного анализа.
3. Провести сравнительный анализ использования критерия согласия Пирсона и метода корреляции для оценки соответствия выбранной теоретической $PT_0(t)$ и статистической $PCT_0(t)$ функций распределения времени безотказной работы ГПА на ГКС.

Исходные данные для выполнения настоящей лабораторной работы следует взять из лабораторных работ № 11 и 17.

Лабораторная работа № 23

Проверка достоверности модели отказов линейной части нефтепродуктопровода вследствие продольных разрушений с помощью критерия согласия Пирсона

Постановка задачи

Для проверки соответствия между выбранной математической моделью теоретического распределения и эмпирического распределения в инженерной практике чаще используются критерии согласия Пирсона (хи-квадрат) и Колмогорова.

Основным преимуществом критерия согласия Пирсона является его гибкость, т. е. его можно применять для проверки допущения *о любом распределении*, даже не зная параметров распределения. Основным недостатком данного критерия согласия является нечувствительность к обнаружению адекватной модели, когда *число наблюдений невелико*.

Оценка реального воздействия на трубопровод должна быть получена с учетом взаимного влияния и сочетаемости нагрузок и воздействий различного происхождения. Выявление возможных комбинаций и сочетаний нагрузок с учетом их развертывания во времени и пространстве – обязательный и неотъемлемый этап анализа нагрузок и воздействий.

При анализе нагрузок и воздействий на трубопровод, помимо расчетных нагрузок, регламентированных СНиП, необходимо учитывать дополнительные нагрузки и воздействия, появление которых вызвано реализацией нештатных режимов функционирования конструкции. Такие нагрузки и воздействия будем называть нештатными нагрузками и воздействиями. К числу нештатных нагрузок и воздействий отнесем следующие позиции:

- *редкие, а потому не учитываемые в регулярных расчетах, сочетания известных нагрузок и воздействий;*
- *аномально высокие уровни нагрузок, учитываемых регулярным расчетом;*
- *действие номинальных нагрузок на частично работоспособную конструкцию с характерными для данного типа конструкций повреждениями.*

Анализ нештатных режимов функционирования конструкции необходим для обеспечения уже на этапе проектирования ее устойчивости и живучести по отношению к критическим и катастрофическим отказам.

В настоящее время расчетные нагрузки и воздействия на конструкцию трубопровода регламентируются СНиП. В зависимости от выбранной конструктивной схемы и способа прокладки трубопровода учитываются следующие группы нагрузок и воздействий.

Для подземных трубопроводов, проложенных в траншее:

- *внутреннее давление перекачиваемого продукта;*
- *температурные нагрузки, вызванные несовпадением эксплуатационной температуры стенок трубопровода и температуры замыкания конструкции при монтаже;*
- *нагрузки, вызывающие искривление продольной оси трубопровода;*
- *весовые нагрузки от грунта засыпки.*

Для надземных трубопроводов, проложенных на свайном основании:

- *внутреннее давление перекачиваемого продукта;*
- *собственный вес конструкции;*
- *вес транспортируемого продукта с учетом различных технологических режимов эксплуатации трубопровода;*
- *дополнительные весовые нагрузки от размещенного на газопроводе оборудования и строительных конструкций;*

- нагрузки, вызванные обледенением и налипанием снега;
- температурные нагрузки, вызванные несовпадением эксплуатационной температуры стенок трубопровода и температуры замыкания конструкции при монтаже;
- ветровые нагрузки.

Для нестандартных условий вышеперечисленные перечни нагрузок могут быть дополнены рядом позиций:

- Для трубопроводов на опорах должно быть исследовано поведение трубопровода при выпучивании, просадке или разрушении одной из промежуточных опор. В результате таких повреждений происходит изменение кривизны продольной оси, а следовательно, возрастают изгибные напряжения; увеличение длины пролета приводит к понижению собственных частот упругих колебаний и возможности возникновения ветрового резонанса с последующим динамическим или усталостным разрушением; в случае просадки опоры при определенных режимах возможно возникновение ударного взаимодействия трубы с просевшей опорой, что может привести к ускоренному усталостному разрушению трубы в зоне контакта. К аналогичным последствиям может приводить сброс трубопровода с одной или нескольких опор.
- В случае подземных трубопроводов к нестандартным условиям следует отнести варианты прокладки трубопроводов в зоне пучинистых грунтов и на участках, подверженных морозобоинному растрескиванию. В этих условиях дополнительные нагрузки от грунта могут привести к разрыву или чрезмерному деформированию трубопровода. К нештатным режимам следует отнести ситуации, при которых происходит обводнение траншеи и размыв засыпки с частичной или полной потерей балластирующей способности. В этом случае возможен выброс трубопровода из траншеи на ослабленном участке с последующим разрушением или возникновением повреждений в зонах с местной потерей устойчивости.

1.3. Классификация отказов и предельных состояний

Классификацию состояний трубопровода построим на основе рекомендаций, представленных в терминологическом стандарте [3]. В соответствии с ними будем различать понятия исправного и работоспособного состояния объекта.

Для сложных объектов, в частности для трубопроводов, допускается более глубокая классификация неработоспособных состояний с выделением частично работоспособных состояний, при которых объект способен частично выполнять требуемые функции. Введем некоторые определения.

газопровода $P_1T_0(t)$, $P_2T_0(t)$, $P_3T_0(t)$, $P_4T_0(t)$ и $P_5T_0(t)$, полученных ранее в лабораторных работах № 7...9 (законы № 1...5). Выбор математической модели произвести на основе критерия согласия Пирсона.

2. Сопоставить полученный результат с результатом, полученным в лабораторной работе № 15, где оценка модели соответствию действительности была произведена с помощью корреляционного анализа.
3. Провести сравнительный анализ использования критерия согласия Пирсона и метода корреляции для оценки соответствия выбранных теоретических функций распределения времени безотказной работы магистрального газопровода $P_1T_0(t)$, $P_2T_0(t)$, $P_3T_0(t)$, $P_4T_0(t)$, $P_5T_0(t)$ и статистической функции $PCT_0(t)$.

Исходные данные для выполнения настоящей лабораторной работы следует взять из лабораторных работ № 7...9, 15.



Лабораторная работа № 22

Проверка достоверности модели надежности газоперекачивающих агрегатов с помощью критерия согласия Пирсона

Постановка задачи

Для проверки соответствия между выбранной математической моделью теоретического распределения и эмпирического распределения в инженерной практике чаще используются критерии согласия Пирсона (хи-квадрат) и Колмогорова.

6. ПРОВЕРКА ПОСТРОЕННЫХ МОДЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ НА АДЕКВАТНОСТЬ ДЕЙСТВИТЕЛЬНОСТИ



Лабораторная работа № 21

Проверка достоверности модели надежности линейной части магистральных газопроводов с помощью критерия согласия Пирсона

Постановка задачи

Для проверки соответствия между выбранной математической моделью теоретического распределения и эмпирического распределения в инженерной практике чаще используются критерии согласия Пирсона (хи-квадрат или χ^2 -критерий) и Колмогорова.

Основным преимуществом критерия согласия Пирсона является его гибкость, т. е. его можно применять для проверки допущения *о любом распределении*, даже не зная параметров распределения. Основным недостатком данного критерия согласия является нечувствительность к обнаружению адекватной модели, когда *число наблюдений невелико*.

Критерии согласия Пирсона широко применяются в теории и практике оценки надежности объектов трубопроводного транспорта нефти и газа для проверки гипотез о законах распределения вероятностей.

Определить:

1. Модель, наиболее адекватную действительности среди теоретических функций распределения времени безотказной работы магистрального

Надежность – это свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции.

Надежность – это комплексное свойство, состоящее в общем случае из безотказности, долговечности, ремонтпригодности и сохраняемости.

Безотказностью называют свойство объекта непрерывно сохранять работоспособное состояние в течение некоторого времени наработки.

Под **долговечностью** понимают способность объекта не достигать в течение достаточно длительного времени **предельного состояния**, т. е. такого, при котором дальнейшее использование объекта по назначению становится невозможным или нецелесообразным, несмотря на наличие установленной системы технического обслуживания и ремонта.

Повреждением называется событие, состоящее в нарушении исправного состояния при сохранении работоспособного состояния объекта.

Признак или совокупность признаков нарушения исправного состояния при сохранении работоспособного состояния объекта называется **критерием повреждения**.

Объект может перейти в предельное состояние, оставаясь работоспособным, если его дальнейшее применение станет недопустимым по требованиям безопасности, экономичности или эффективности.

Ремонтпригодность – это свойство объекта, заключающееся в приспособленности к поддержанию и восстановлению работоспособного состояния путем технического обслуживания и ремонта.

Безопасность – свойство объекта при изготовлении и эксплуатации и в случае нарушения работоспособного состояния не создавать угрозу для населения и/или для окружающей среды.

Под **живучестью** понимаем свойство объекта, состоящее в его способности противостоять развитию критических и существенных отказов из дефектов, повреждений и несущественных отказов при установленной системе технического обслуживания и ремонта. Примером служит сохранение несущей способности линейных частей магистральных газопроводов при возникновении в них усталостных трещин, размеры которых не превышают заданных значений.

Состояние объекта, при котором он соответствует всем требованиям документации, называют исправным.

Если объект не соответствует хотя бы одному из требований, то его состояние называют **неисправным**.

Состояние объекта, при котором значения всех параметров, характеризующих способность выполнять заданные функции, соответствуют требованиям документации, называют работоспособным.

Если значение хотя бы одного параметра, характеризующего способность объекта выполнять заданные функции, не соответствует указанным требованиям, то состояние называют **неработоспособным**.

В общем случае вводится промежуточное понятие **частично неработоспособное (частично работоспособное) состояние**. Примером частично неработоспособного состояния служит такое состояние линейной части трубопровода, при котором участок способен выполнять требуемые функции по перекачке газоконденсата с пониженными показателями, в частности, с пониженной производительностью (при более низком давлении, чем номинальное).

Из приведенных выше определений *исправности, неисправности, работоспособности* следует, что понятие *исправное состояние* шире понятия *работоспособное состояние* и включает его в качестве подмножества. В отличие от исправного объекта, который всегда находится в работоспособном состоянии, неисправный объект может находиться как в работоспособном, так и в неработоспособном состоянии.

Переход объекта в предельное состояние влечет за собой временное или окончательное прекращение эксплуатации объекта. При достижении предельного состояния объект должен быть снят с эксплуатации, направлен в средний или капитальный ремонт, списан, уничтожен или передан для применения не по назначению. Для ремонтируемых объектов выделяют два или более видов предельных состояний. В одних случаях требуется отправка объекта в средний или капитальный ремонт, в других случаях предельное состояние влечет за собой окончательное прекращение применения объекта по назначению.

Под **отказом** понимают любое событие, заключающееся в нарушении работоспособного состояния объекта.

Признак или совокупность признаков нарушения работоспособного состояния объекта называется **критерием отказа**.

Основное требование к трубопроводам как к транспортным системам повышенной ответственности, с точки зрения обеспечения безопасности, заключается в сохранении герметичности и конструкционной целостности в течение всего срока службы. Поэтому любое событие, связанное с нарушением герметичности конструкции трубопровода, должно быть классифицировано как отказ.

Отказ может быть **полным**, когда в результате отказа наступает полное неработоспособное состояние объекта, и **частичным**, когда наступает частично неработоспособное состояние. Совокупность признаков нарушения работоспособного состояния объекта устанавливают в нормативно-технической или проектно-конструкторской документации (далее для краткости – в документации). Необходимо отличать от-

Лабораторная работа № 20

Проверка на адекватность действительности закона распределения безотказной работы магистральных насосов на базе корреляционного анализа

Постановка задачи

Используя метод «Корреляция» (см. рис. 4.1), можно легко и быстро проверить степень достоверности *теоретической модели*, определяющей распределение времени безотказной работы магистральных насосов магистрального нефтепровода, которая была получена в лабораторной работе № 14.

Определить:

1. Коэффициент корреляции между статистическим $PC_0(t)$ и теоретическим $PT_0(t)$ законами распределения времени безотказной работы магистральных насосов.
2. Степень тесноты связи между статистическим $PC_0(t)$ и теоретическим $PT_0(t)$ законами распределения времени безотказной работы магистральных насосов по рассчитанным коэффициентам корреляции на основе шкалы Чеддока, приводимой в табл. 4.1.
3. Сделайте вывод о достоверности теоретической модели времени безотказной работы магистральных насосов магистрального нефтепровода.

Исходные данные для выполнения настоящей лабораторной работы следует взять из лабораторной работы № 14.



Лабораторная работа № 19

Проверка на адекватность действительности закона распределения времени безотказной работы насосных агрегатов нефтеперекачивающей станции на базе корреляционного анализа

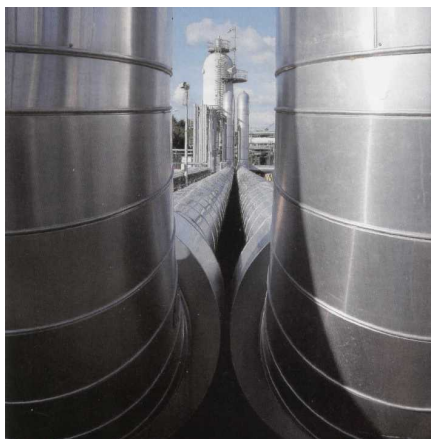
Постановка задачи

Используя метод «Корреляция» (см. рис. 4.1), можно легко и быстро проверить степень достоверности *теоретической модели*, определяющей распределение времени безотказной работы насосных агрегатов нефтеперекачивающей станции, которая была получена в лабораторной работе № 13.

Определить:

1. Коэффициент корреляции между статистическим $PC_0(t)$ и теоретическим $PT_0(t)$ законами распределения времени безотказной работы насосных агрегатов нефтеперекачивающей станции.
2. Степень тесноты связи между статистическим $PC_0(t)$ и теоретическим $PT_0(t)$ законами распределения времени безотказной работы насосных агрегатов нефтеперекачивающей станции по рассчитанным коэффициентам корреляции на основе шкалы Чеддока, приводимой в табл. 4.1.
3. Сделайте вывод о достоверности теоретической модели времени безотказной работы насосных агрегатов нефтеперекачивающей станции.

Исходные данные для выполнения настоящей лабораторной работы следует взять из лабораторной работы № 13.



казы от *повреждений*, т. е. от нарушений исправного состояния объекта при сохранении его работоспособного состояния.

Классификация отказов по последствиям необходима при нормировании надежности, в частности, для обоснования выбора номенклатуры и численных значений нормируемых показателей надежности.

Среди всех отказов выделяют особо опасные – *катастрофические* отказы, наступление которых создает угрозу для жизни и здоровья людей, а также для окружающей среды, или приводит к тяжелым экономическим потерям.

К критическим отказам относятся такие, возникновение которых приводит к невыполнению ответственного задания. Отнесение отказа к той или иной категории является предметом соглашения между заказчиком (потребителем) и разработчиком (изготовителем).

Наработка до отказа характеризует продолжительность эксплуатации объекта от ее начала до возникновения отказа.

Наработку между отказами отсчитывают от окончания восстановления его работоспособного состояния после отказа до возникновения следующего отказа.

Долговечность объекта характеризуют его ресурсом или сроком службы. Техническим *ресурсом* (или просто – ресурсом) называют суммарную наработку объекта от начала его эксплуатации или ее возобновления после ремонта до перехода объекта в предельное состояние. *Срок службы* определяют как календарную продолжительность эксплуатации объекта от ее начала или возобновления после ремонта до перехода объекта в предельное состояние.

1.4. Показатели надежности

Показателями надежности называют количественные характеристики одного или нескольких свойств, составляющих надежность объекта. В первом случае показатели называют единичными, во втором – комплексными. Показатели надежности относятся к числу важнейших понятий статистической теории надежности [1–3].

На стадии проектирования и конструирования показатели надежности трактуют как характеристики вероятностных или полувероятностных математических моделей создаваемых объектов. Соответствующие значения показателей называют *расчетными*. Аналогичные оценки по данным эксплуатации называют *эксплуатационными*. В нашей стране номенклатуру показателей надежности регламентирует стандарт [3]. Хотя с учетом специфики отрасли допускается использование показателей, не включенных в этот стандарт, эти показатели не должны противоречить понятиям, лежащим в основе стандарта.

В целях единообразия все показатели надежности, перечисленные в стандарте [3], определены как вероятностные характеристики.

Основной показатель безотказности – **вероятность безотказной работы**, т. е. вероятность того, что в пределах заданной наработки не возникнет ни одного отказа. Вероятность безотказной работы на отрезке $[0, t]$ определяют по формуле:

$$P(t) = P(\tau > t), \quad (1.1)$$

где τ – наработка на первый отказ;

t – суммарная наработка.

Вероятность безотказной работы $P(t)$ связана с функцией распределения $F(t)$ и плотностью распределения $f(t)$ наработки до отказа:

$$F(t) = 1 - P(t), f(t) = \frac{dF(t)}{dt} = -\frac{dP(t)}{dt}. \quad (1.2)$$

Наряду с понятием «вероятность безотказной работы» часто используют понятие «вероятность отказа», которое определяют следующим образом: это вероятность того, что объект откажет хотя бы один раз в течение заданной наработки, будучи работоспособным в начальный момент времени. Вероятность наступления хотя бы одного отказа на отрезке $[0, t]$ определяют по формуле:

$$Q(t) = 1 - P(t) = F(t). \quad (1.3)$$

Для высоконадежных объектов вероятность безотказной работы по отношению к критическим (тем более – катастрофическим) отказам должна быть весьма близка к единице. Вероятность наступления хотя бы одного критического отказа на заданном отрезке времени обычно называют **показателем риска** или просто риском.

Интенсивность отказов – это плотность вероятности возникновения отказа, определяемая при условии, что до рассматриваемого момента времени отказ не возник. Интенсивность отказов (λ) выражают через функции $P(t)$, $F(t)$ и $f(t)$ следующим образом:

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{1 - F(t)} = -\frac{1}{P(t)} \frac{dP(t)}{dt}. \quad (1.4)$$

Для высоконадежных систем $P(t) \approx 1$, так что интенсивность отказов приближенно равна плотности распределения $f(t)$ наработки до отказа.

Перечисленные показатели введены применительно к невосстанавливаемым объектам, а также к таким отказам восстанавливаемых объектов, возникновение которых по возможности должно быть исключено.

Лабораторная работа № 18

Проверка на адекватность действительности построенной модели отказов линейной части нефтепродуктопровода вследствие продольных разрушений, инициированных сквозными трещинами, на базе корреляционного анализа

Постановка задачи

Используя метод «Корреляция» (см. рис. 4.1), можно легко и быстро проверить степень достоверности *теоретической модели* возникновения продольных разрушений в зависимости от длины сквозных трещин в нефтепродуктопроводе, полученной в лабораторной работе № 12.

Определить:

1. Коэффициент корреляции между статистической **РС(L)** и теоретической **РТ(L)** моделями распределения вероятностей возникновения продольных разрушений в зависимости от длины сквозных трещин.
2. Степень тесноты связи между статистической **РС(L)** и теоретической **РТ(L)** моделями распределения вероятностей возникновения продольных разрушений в зависимости от длины сквозных трещин по рассчитанным коэффициентам корреляции на основе шкалы Чеддока, приводимой в табл. 4.1.
3. Сделайте вывод о достоверности теоретической модели возникновения продольных разрушений в зависимости от длины сквозных трещин в нефтепродуктопроводе.

Исходные данные для выполнения настоящей лабораторной работы следует взять из лабораторной работы № 12.



Лабораторная работа № 17

Проверка на адекватность действительности построенной модели надежности газоперекачивающих агрегатов на базе корреляционного анализа

Постановка задачи

Используя метод «Корреляция» (см. рис. 4.1), можно легко и быстро проверить степень достоверности *теоретической модели*, определяющей распределение времени безотказной работы газоперекачивающих агрегатов на ГКС «Истье», которая была получена в лабораторной работе № 11.

Определить:

1. Коэффициент корреляции между статистической $PC_0(t)$ и теоретической $PT_0(t)$ моделями распределения времени безотказной работы ГПА на ГКС.
2. Степень тесноты связи между статистической $PC_0(t)$ и теоретической моделями $PT_0(t)$ распределения времени безотказной работы ГПА на ГКС по рассчитанным коэффициентам корреляции на основе шкалы Чеддока, приводимой в табл. 4.1.
3. Сделайте вывод о достоверности теоретической модели безотказной работы ГПА на ГКС.

Исходные данные для выполнения настоящей лабораторной работы следует взять из лабораторной работы № 11.



Применительно к восстанавливаемым объектам, при эксплуатации которых допускаются многократно повторяющиеся отказы, вместо средней наработки до отказа и используют показатель – среднюю наработку на отказ. Очевидно, что это должны быть несущественные отказы, не приводящие к серьезным последствиям и не требующие значительных затрат на восстановление работоспособного состояния.

Эксплуатация восстанавливаемых объектов может быть описана следующим образом: в начальный момент времени объект начинает работать и продолжает работать до первого отказа; после отказа происходит восстановление работоспособности, и объект вновь работает до отказа и т. д. На оси времени t моменты отказов образуют поток отказов, а моменты восстановлений – поток восстановлений. На оси суммарной наработки (когда продолжительность восстановления не учитывают) моменты отказов образуют поток отказов. Полное и строгое математическое описание эксплуатации объекта по этой схеме построено на основе теории восстановления [1].

Средняя наработка на отказ определяется по формуле:

$$T = \frac{t}{M\{r(t)\}}, \quad (1.5)$$

где t – суммарная наработка;

$r(t)$ – число отказов, наступивших в течение этой наработки;

$M\{ \}$ – математическое ожидание случайной величины, стоящей в скобках.

В общем случае средняя наработка на отказ – функция t . Для стационарных потоков отказов средняя наработка на отказ от t не зависит.

Для восстанавливаемых объектов используют еще один показатель – **параметр потоков отказов**, равный отношению математического ожидания числа отказов за достаточно малую наработку объекта к значению этой наработки.

Большинство показателей долговечности аналогично показателям безотказности невозстанавливаемых объектов, если в определениях момент наступления первого отказа заменить на момент достижения предельного состояния. Например, **гамма-процентный ресурс** определяют как суммарную наработку, в течение которой в заданных режимах и условиях применения объект не достигает предельного состояния с вероятностью γ , выраженной в процентах. Аналогично вводят **гамма-процентный срок службы** как календарную продолжительность эксплуатации, в течение которой объект не достигает предельного состояния с вероятностью γ . Применительно к круп-

носерийным объектам и массовым комплектующим изделиям обычно используют понятие *среднего ресурса и среднего срока службы*. В терминах вероятностных моделей эти показатели равны математическим ожиданиям суммарной наработки и календарной продолжительности до достижения предельного состояния.

Необходимо различать показатели долговечности от внешне сходных с ним *назначенных сроков службы*. Цель установления назначенного срока службы и назначенного ресурса – обеспечить принудительное и заблаговременное прекращение применения объекта по назначению из требований безопасности или технико-экономических соображений. При достижении объектом назначенного ресурса (назначенного срока службы, назначенного срока хранения) в зависимости от назначения объекта, особенности его эксплуатации, технического состояния и других факторов объект может быть списан, направлен в средний или капитальный ремонт, передан для применения не по назначению и т. д. При определенных условиях после обследования может быть принято решение о продолжении эксплуатации. Назначенный срок службы, назначенный ресурс являются технико-эксплуатационными характеристиками. Однако при установлении их численных значений следует принимать во внимание прогнозируемый или достигнутый уровень надежности. В частности, если поставлено требование безопасности, то назначенный срок службы (ресурс) должен отвечать значениям вероятности безотказной работы по отношению к критическим отказам, весьма близким к единице.

Различают две группы *показателей ремонтпригодности*. Первая группа аналогична показателям безотказности типа вводимых формулами (1...5). К ним относится вероятность восстановления, т. е. вероятность того, что продолжительность восстановления работоспособного состояния объекта не превысит заданное значение. Квантили этой вероятности – продолжительность времени, в течение которого восстановление работоспособности будет осуществлено с вероятностью γ , выраженной в процентах, называют *гамма-процентным временем восстановления*. Аналогично вводят среднее время восстановления, интенсивность восстановления и параметр потока восстановления. Другая группа показателей ремонтпригодности характеризует трудовые затраты по поддержанию работоспособного состояния объекта. К ним относят среднюю трудоемкость восстановления, которую обычно измеряют в человеко-часах. Большинство показателей этого типа – численные характеристики трудоемкости технического обслуживания, ремонта, диагностирования и т. п., строго говоря, не относятся к показателям надежности.

Лабораторная работа № 16

Проверка на адекватность действительности функции распределения времени восстановления линейной части магистральных газопроводов на базе корреляционного анализа

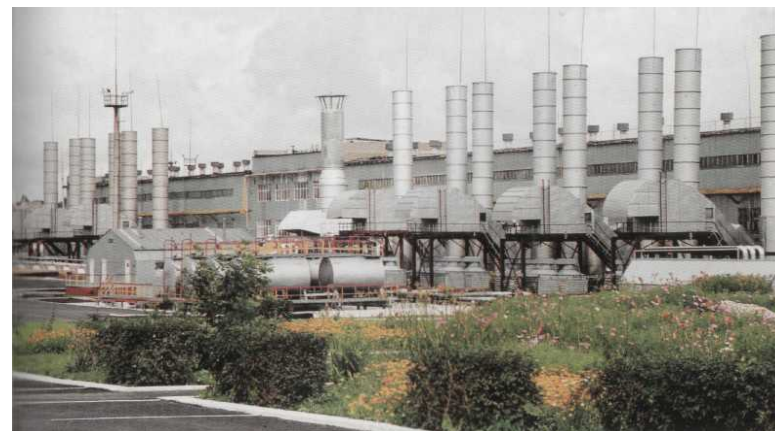
Постановка задачи

Используя метод «Корреляция» (см. рис. 4.1), можно легко и быстро проверить степень достоверности *теоретической модели*, определяющей функцию распределения времени восстановления линейной части магистрального газопровода, которая была получена в лабораторной работе № 10.

Определить:

1. Коэффициент корреляции между статистической **РСВ(t)** и теоретической **РТВ(t)** функциями распределения времени восстановления линейной части магистрального газопровода.
2. Степень тесноты связи между статистической **РСВ(t)** и теоретической **РТВ(t)** функциями распределения времени восстановления линейной части магистрального газопровода по рассчитанным коэффициентам корреляции на основе шкалы Чеддока, приводимой в табл. 4.1.
3. Сделайте вывод о достоверности теоретической модели распределения времени восстановления линейной части магистрального газопровода.

Исходные данные для выполнения настоящей лабораторной работы следует взять из лабораторной работы № 10.



Лабораторная работа № 15

Выбор оптимального метода компьютерного моделирования в Excel и построения модели надежности линейной части магистральных газопроводов на базе корреляционного анализа

Постановка задачи

Используя метод «Корреляция» (см. рис. 4.1), можно легко и быстро проверить построенные теоретические экспоненциальные модели надежности $P_1T_0(t)$, $P_2T_0(t)$, $P_3T_0(t)$, $P_4T_0(t)$ и $P_5T_0(t)$ линейной части магистрального газопровода, полученные ранее в лабораторных работах № 7...9, на адекватность действительности (соответствие действительности). Можно также определить наиболее точный метод Excel оценки надежности линейной части магистрального газопровода для конкретного исследуемого статистического набора данных (на базе анализа вариационного ряда).

Определить:

1. Наиболее точную теоретическую модель надежности линейной части магистрального газопровода среди полученных разными способами в лабораторных работах № 7...9 экспоненциальных моделей – экспоненциальную без коэффициента и экспоненциальную с коэффициентом, для чего определить:
 - коэффициенты корреляции между $PCT_0(t)$ и $P_1T_0(t)$, $P_2T_0(t)$, $P_3T_0(t)$, $P_4T_0(t)$, $P_5T_0(t)$ с помощью соответствующей стандартной функции Excel;
 - самую большую тесноту связи по рассчитанным коэффициентам корреляции на основе шкалы Чеддока, приводимой в табл. 4.1;
 - провести анализ моделей и выбрать из них наиболее адекватную действительности на основе анализа значений коэффициентов корреляции.
2. Провести анализ методов Excel, с помощью которых были получены пять теоретических функций распределения времени безотказной работы газопровода $P_1T_0(t)$, $P_2T_0(t)$, $P_3T_0(t)$, $P_4T_0(t)$ и $P_5T_0(t)$ ранее в лабораторных работах № 7...9 (законы № 1...5). На основе анализа значений коэффициентов корреляции определить лучший метод, с помощью которого была построена более точная модель.

Исходные данные для выполнения настоящей лабораторной работы следует взять из лабораторных работ № 7...9.

1.5. Применение моделей и методов теории надежности при проектировании линейной части магистральных газопроводов

Расчет линейных частей трубопроводов до сих пор проводят, в том числе и в промышленно развитых странах, на основе традиционных методов строительной механики с использованием концепции коэффициентов запаса. При этом не может быть в полной мере учтено разнообразие условий эксплуатации трубопровода, сочетание различных факторов, статистический разброс механических свойств материала, параметров формы, начальная дефектность трубопровода. В ряде случаев, как например, при анализе взаимодействия трубопровода с промерзающим грунтом в условиях морозного пучения, вследствие недостатка информации о действительных условиях эксплуатации и свойствах грунта, информация о них будет изначально носить статистический характер. Указанные обстоятельства обуславливают повышение удельного веса вероятностных моделей при расчете трубопроводов.

Оценка надежности всей газопроводной системы подразумевает выделение однородных групп элементов системы (компрессорные станции, линейные части магистральных газопроводов и т. д.) с последующим анализом отказов подсистем. Здесь применяется методология системной теории надежности, которая применительно к магистральным газопроводам подразумевает несколько уровней разукрупнения системы. Будем рассматривать уровень, для которого объектом исследования является линейная часть магистрального газопровода. На этом уровне выделяются следующие подсистемы:

- 1) группа **A** – основной металл (трубы) со сварными соединениями (сварные швы) и конструктивными особенностями типа ветвлений, отводов, тройников и т. п.;
- 2) группа **B** – элементы конструктивной оснастки, включающей средства электрохимзащиты, прокладки (свайное основание, способ грунтовой засыпки и т. п.), антикоррозионные покрытия и т. п.

Надежность всей системы в целом (на данном уровне разукрупнения) зависит от надежности составляющих ее компонент (выделенных подсистем). Между отказами групп **A** и **B** существует очевидная статистическая зависимость, которая предполагает применение для оценки показателей безотказности методов условных функций надежности [2]. Такой приближенный подход определяется отсутствием полной информации о распределениях условных вероятностей отказов в группе **A** при отказе в группе **B**.

С другой стороны, при рассмотрении конструктивной схемы конкретной газопроводной системы необходимо провести структурный ана-

лиз, при котором газопровод рассматривается как протяженная механическая система, состоящая из однородных по способу прокладки, грунтово-геологическим, климатическим и эксплуатационным условиям участков. Выделение однородных участков осуществляется в соответствии с принципом равной надежности. Для выделенной группы участков характерны отказы, имеющие одинаковую природу (причина отказа описывается одним и тем же критерием наступления предельного состояния).

Третий момент классификации предусматривает изучение физико-механической природы возможных отказов выделенных участков по группам оборудования газопровода *A* и *B*. При этом обращается внимание на причину отказа, степень критичности (несущественный, существенный, критический), возможности восстановления работоспособности конструктивных элементов после отказа. Последнее предполагает выделение резервируемых участков, а следовательно, применение для прогнозирования показателей безотказности методов теории надежности систем с резервированием [1].

Последовательные этапы разукрупнения системы и отдельные элементы конструктивной расчетной схемы показаны на рис. 1.1.

Надежность линейной части магистральных газопроводов длиной *L* за период эксплуатации *T* с учетом разбиения на *N* групп однородных участков может быть оценена по формуле:

$$R(L, T) = \prod_{i=1}^N R_i(\Delta L_i, T), \quad (1.6)$$

где ΔL – суммарная протяженность *i*-й однородной группы.

Здесь учтено предположение о независимости отказов на каждом из выделенных участков. Надежности групп участков $R_i(\Delta L_i, T)$ определяются в соответствии с принятой номенклатурой возможных отказов (вообще говоря, специфических для каждого из участков группы). С точки зрения подсистем *A* и *B* надежность $R_i(\Delta L_i, T)$ определяется соотношением

$$R_i(\Delta L_i, T) = P\left\{v_i^A(x, \tau) \in \Omega_i^A(\Delta L_i, T) \mid v_i^B(x, \tau) \in \Omega_i^B(\Delta L_i, T)\right\}, \quad (1.7)$$

где векторы качества v_i^A и v_i^B представляют совокупности независимых управляющих параметров *i*-й группы участков, соответственно, по конструктивным подсистемам *A* и *B*; $\Omega_i^A(\Delta L_i, T)$ и $\Omega_i^B(\Delta L_i, T)$ представляют собой допустимые области в пространстве качества векторов v_i^A и v_i^B , соответственно.

Формула (1.7) выражает тот факт, что вероятность отказа системы рассматриваемого уровня определяется вероятностью отказа основного металла или сварных соединений при условии возникновения события отказа группы *B* (например, выход из строя свайного основания может привести

Таким образом, по значению коэффициента корреляции можно определить тесноту и направление связи между статистическими и теоретическими моделями надежности объектов систем газонефтепроводов, построенных на основании разных гипотез и разными методами Excel, т. е. проверить соответствие построенных теоретических моделей статистическим моделям.

Таблица 5.1

Зависимость тесноты и направления связи между статистическими и теоретическими моделями надежности объектов систем газонефтепроводов с коэффициентом корреляции

Теснота связи	Значение коэффициента корреляции при наличии	
	прямой связи	обратной связи
Слабая	0,1–0,3	(–0,1)–(–0,3)
Умеренная	0,3–0,5	(–0,3)–(–0,5)
Заметная	0,5–0,7	(–0,5)–(–0,7)
Высокая	0,7–0,9	(–0,7)–(–0,9)
Весьма высокая	0,9–0,99	(–0,9)–(–0,99)

Комплекс методов статистической обработки данных, представленный в виде пунктов меню «Анализ данных» в Excel, позволяет проводить анализ статистических данных. Каждый метод реализован в виде отдельного режима работы. Доступ к методу «Корреляция» осуществляется с помощью цепочки команд «Сервис – Анализ данных – Корреляция» (см. рис. 5.1).

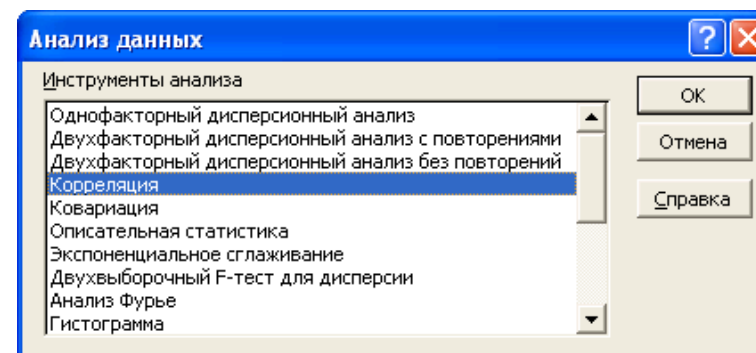


Рис. 5.1. Пункты меню «Анализ данных» в Excel

5. КОРРЕЛЯЦИОННЫЙ АНАЛИЗ МОДЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ



В исследованиях надежности технических и технологических систем одной из важных задач является анализ *стохастической (вероятностной) зависимости* между изучаемыми переменными. Для оценки тесноты и направления связи между изучаемыми переменными используются показатели корреляции. *Линейный коэффициент корреляции* характеризует (измеряет) степень тесноты линейной зависимости между двумя коррелируемыми признаками.

Линейная вероятностная зависимость случайных величин заключается в том, что при возрастании одной случайной величины другая имеет тенденцию возрастать или убывать по линейному закону. Если две исследуемые случайные величины X и Y связаны точной *линейной функциональной* зависимостью, то коэффициент корреляции равен ± 1 , т. е. $R_{XY} = \pm 1$. Знак «минус» означает, что при возрастании одной случайной величины другая имеет тенденцию убывать.

В общем случае, когда случайные величины X и Y связаны *произвольной вероятностной зависимостью*, линейный коэффициент корреляции R принимает значение в пределах от 1 до -1 ($-R < R_{XY} < 1$). Тогда качественная оценка тесноты связи случайных величин может быть определена по шкале Чеддока, приводимой в табл. 5.1, в зависимости от значения коэффициента корреляции R .

к критической просадке участка надземного газопровода, неустановившимся колебаниям, контактному ударному взаимодействию с просевшей опорой с последующим разрывом оболочки трубы или ее разгерметизацией). Для вычисления вероятностей (1.7) в условиях неполной информации, согласно [2], применимы методы условных функций надежности. При этом главную задачу составляет определение вероятности безотказной работы группы A – основного металла и сварных соединений трубопровода, отказы которой могут привести к утечкам с катастрофическими последствиями.

На рис. 1.1 представлена общая схема, иллюстрирующая последовательность прогнозирования работоспособного состояния отдельного участка линейной части магистрального газопровода с учетом возможного наличия в нем геометрических несовершенств и дефектов, а также с учетом возникновения вторичных дефектов.

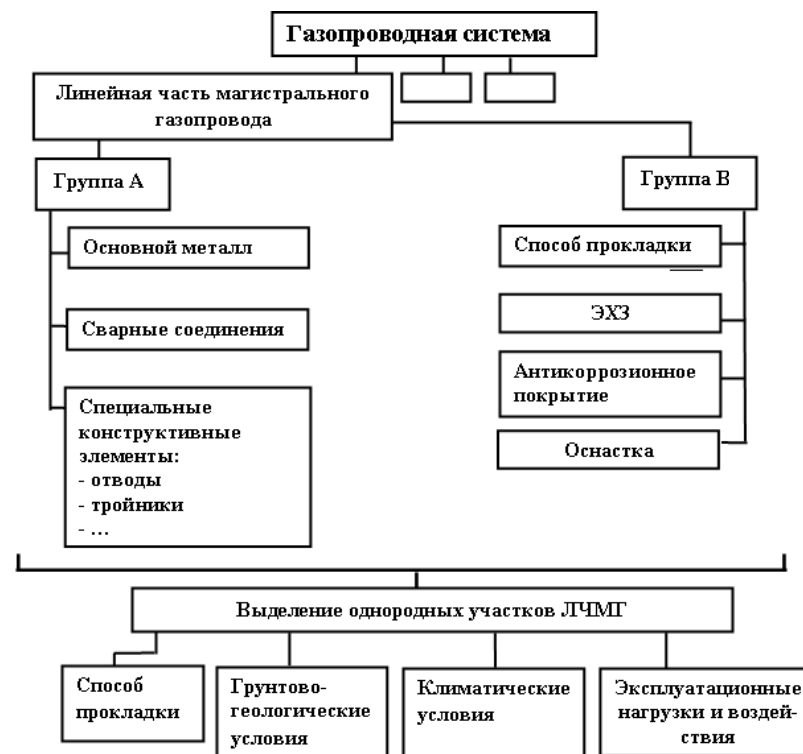


Рис. 1.1. Последовательность прогнозирования работоспособного состояния отдельного участка линейной части магистрального газопровода

Управление в горизонтальных слоях схемы (основной металл – дефект – вторичный дефект) осуществляется средствами расчетно-экспериментальных методов оценки напряженно-деформированного состояния оболочки с геометрическими несовершенствами в структуре, концентраторами напряжений, трещинами и т. п.

Последовательность прогнозирования показателей надежности участка ЛЧМГ в соответствии с предложенной схемой представляется следующей:

1. На уровне методологического обеспечения необходимы:
 - классификатор возможных (наблюдаемых в аналогах) дефектов и геометрических несовершенств;
 - наличие статистической информации о типе и уровне нагрузок и воздействий в районе эксплуатации будущего объекта;
 - выбор, разработка и применение расчетных методов оценки напряженно-деформированного состояния конструктивных элементов ЛЧМГ с дефектами и геометрическими несовершенствами;
 - накопленная диагностическая информация об аналогичных дефектах.
2. Основной металл и сварные соединения:
 - 2.1. Определяется напряженно-деформированное состояние.
 - 2.2. Проверяются условия прочности и упругой устойчивости для оценки выполнения критериев ненаступления предельного состояния по основному конструктивному элементу без учета геометрических несовершенств и дефектов.
 - 2.3. В случае наступления предельного состояния информация об этом факте поступает в блок оценки показателей надежности.
 - 2.4. В случае ненаступления предельного состояния исследуются геометрические несовершенства.
3. Для выделенных по данным диагностической информации типов дефектов (для конкретного исследуемого участка трубопровода) последовательно по каждому из дефектов (несовершенств) проводится следующий анализ:
 - 3.1. Определяется напряженно-деформированное состояние в области концентратора (несовершенства) с учетом НДС основного металла (сварного шва).
 - 3.2. Исследуется выполнение условий прочности и устойчивости для области концентратора (несовершенства).
 - 3.3. Исследуется вопрос о наступлении предельного состояния для участка ЛЧМГ при нарушении критериев п. 3.2.
 - 3.4. В случае наступления предельного состояния информация об этом факте поступает в блок оценки показателей надежности.



Вариант № 17	
Статистический ряд 3.2	28; 30; 37; 39; 64; 76; 83; 91; 96; 99; 102; 109; 125; 131; 151; 155; 161; 164; 166; 176; 221; 224; 245; 254; 262; 270; 289; 309; 337; 365; 372; 397; 399; 401; 424; 440; 550; 594; 617; 660; 736; 787; 827; 864; 869; 871; 884; 922; 927; 928; 962; 970; 973; 992; 1076; 1085; 1102; 1108; 1124; 1168; 1182; 1188; 1202; 1210; 1400; 1408; 1413; 1515 1605; 1647; 1672; 1900; 1917; 1958; 2230; 2285; 2357; 2519; 2564; 2578; 2596; 2653; 2669; 2818; 3042; 3285; 3292; 3620; 3953; 4343; 4510; 4536; 4624; 4646; 4679; 4701
Вариант № 18	
Статистический ряд 3.2	29; 31; 38; 40; 65; 77; 84; 92; 97; 100; 103; 110; 126; 132; 152; 156; 162; 165; 167; 177; 222; 225; 246; 255; 263; 271; 290; 310; 338; 366; 373; 398; 400; 402; 425; 441; 551; 595; 618; 661; 737; 788; 828; 865; 870; 872; 885; 923; 928; 929; 963; 971; 974; 993; 1077; 1086; 1103; 1109; 1125; 1169; 1183; 1189; 1203; 1211; 1401; 1409; 1414; 1516 1606; 1648; 1673; 1901; 1918; 1959; 2231; 2286; 2358; 2520; 2565; 2579; 2597; 2654; 2670; 2819; 3043; 3286; 3293; 3621; 3954; 4344; 4511; 4537; 4625; 4647; 4680; 4702
Вариант № 19	
Статистический ряд 3.2	30; 32; 39; 41; 66; 78; 85; 93; 98; 101; 104; 111; 127; 133; 153; 157; 163; 166; 168; 178; 223; 226; 247; 256; 264; 272; 291; 311; 339; 367; 374; 399; 401; 403; 426; 442; 552; 596; 619; 662; 738; 789; 829; 866; 871; 873; 886; 924; 929; 930; 964; 972; 975; 994; 1078; 1087; 1104; 1110; 1126; 1170; 1184; 1190; 1204; 1212; 1402; 1410; 1415; 1517 1607; 1649; 1674; 1902; 1919; 1960; 2232; 2287; 2359; 2521; 2566; 2580; 2598; 2655; 2671; 2820; 3044; 3287; 3294; 3622; 3955; 4345; 4512; 4538; 4626; 4648; 4681; 4703
Вариант № 20	
Статистический ряд 3.2	31; 33; 40; 42; 67; 79; 86; 94; 99; 102; 105; 112; 128; 134; 154; 158; 164; 167; 169; 179; 224; 227; 248; 257; 265; 273; 292; 312; 340; 368; 375; 400; 402; 404; 427; 443; 553; 597; 620; 663; 739; 790; 830; 867; 872; 874; 887; 925; 930; 931; 965; 973; 976; 995; 1079; 1088; 1105; 1111; 1127; 1171; 1185; 1191; 1205; 1213; 1403; 1411; 1416; 1518 1608; 1650; 1675; 1903; 1920; 1961; 2233; 2288; 2360; 2522; 2567; 2581; 2599; 2656; 2672; 2821; 3045; 3288; 3295; 3623; 3956; 4346; 4513; 4539; 4627; 4649; 4682; 4704

- 3.5. В случае ненаступления предельного состояния осуществляется исследование дефектов с точки зрения механики разрушения.
- 3.6. Исследуется выполнение условий трещиностойкости (для трещиноподобных дефектов).
- 3.7. Исследуется вопрос о наступлении предельного состояния для участка ЛЧМГ при нарушении критериев трещиностойкости п. 3.6.
- 3.8. В случае наступления предельного состояния информация об этом факте поступает в блок оценки показателей надежности.
- 3.9. В случае ненаступления предельного состояния осуществляется исследование возможности образования вторичных дефектов.
- 3.10. При наличии вторичных дефектов на момент исследования (из диагностической информации) переходим к их исследованию.
- 3.11. При отсутствии диагностической информации о наличии вторичных дефектов исследуется возможность их появления при выполнении критериев образования вторичных дефектов.
- 3.12. В случае возникновения вторичных дефектов при исследовании по п. 3.11 переходим к их исследованию.
- 3.13. В случае невыполнения условий образования вторичных дефектов переходим к исследованию уже имеющихся в наличии.
4. Исследование вторичных дефектов подразумевает, что сформированы критерии наступления предельного состояния для участка ЛЧМГ в случае нарушений критериев трещиностойкости для вторичных дефектов.
 - 4.1. Исследуется напряженно-деформированное состояние НДС для зоны вторичных дефектов.
 - 4.2. Исследуется выполнение критериев трещиностойкости для вторичных трещиноподобных дефектов (или иных критериев надежности и безопасности при вторичных дефектах иной природы – питтинговая коррозия, например).
 - 4.3. Исследуется вопрос о наступлении предельного состояния для участка ЛЧМГ при нарушении критериев трещиностойкости п. 4.2.
 - 4.4. При любом исходе информация о результатах поступает в блок оценки вероятностных показателей надежности и безопасности.
 - 4.5. Исследование по представленным пп. 4.2...4.4 продолжается для всех типов дефектов.
5. Выполняется оценка показателей надежности и безопасности.
6. В случае удовлетворения полученной оценки назначаемым значениям (по требованиям заказчика и т. п.) технический проект направляется в конструкторскую проработку. В противном случае необходимы дополнительные технические решения на уровне создания исходного проекта и повторение процедур оценки по пп. 4.1...4.5.

В комментарии к схеме отметим, что она не подразумевает жесткого выполнения указанной последовательности. Возможны ситуации, когда исследование надежности может ограничиться только отдельными пунктами. С другой стороны, для возможных сложных повреждений часто необходимо решение всей перечисленной последовательности задач: от исследования прочности и устойчивости основного конструктивного элемента до оценки трещиностойкости задира, например, в области вмятины. Комплексность подхода не означает, что взаимовлиянием повреждений и дефектов можно пренебречь. Этот вопрос должен специально решаться на соответствующих этапах определения напряженно-деформированного состояния (при выборе расчетной схемы). При этом необходимо оговаривать и обосновывать предположения о невязимости НДС отдельных дефектов. Принципиальная схема прогнозирования надежности трубопроводов с дефектами дана на рис. 1.2.



Рис. 1.2. Схема прогнозирования надежности и безопасности трубопроводов с дефектами

Вариант № 13	
Статистический ряд 3.2	24; 26; 33; 35; 60; 72; 79; 87; 92; 95; 98; 105; 121; 127; 147; 151; 157; 160; 162; 172; 217; 220; 241; 250; 258; 266; 285; 305; 333; 361; 368; 393; 395; 397; 420; 436; 546; 590; 613; 656; 732; 782; 822; 860; 865; 867; 880; 918; 923; 924; 958; 966; 969; 988; 1072; 1081; 1098; 1104; 1120; 1164; 1178; 1184; 1198; 1206; 1396; 1404; 1409; 1511 1601; 1643; 1668; 1896; 1913; 1954; 2226; 2281; 2353; 2515; 2560; 2574; 2592; 2649; 2665; 2814; 3038; 3281; 3288; 3616; 3949; 4339; 4506; 4532; 4620; 4642; 4675; 4697
Вариант № 14	
Статистический ряд 3.2	25; 27; 34; 36; 61; 73; 80; 88; 93; 96; 99; 106; 122; 128; 148; 152; 158; 161; 163; 173; 218; 221; 242; 251; 259; 267; 286; 306; 334; 362; 369; 394; 396; 398; 421; 437; 547; 591; 614; 657; 733; 783; 823; 861; 866; 868; 881; 919; 924; 925; 959; 967; 970; 989; 1073; 1082; 1099; 1105; 1121; 1165; 1179; 1185; 1199; 1207; 1397; 1405; 1410; 1512 1602; 1644; 1669; 1897; 1914; 1955; 2227; 2282; 2354; 2516; 2561; 2575; 2593; 2650; 2666; 2815; 3039; 3282; 3289; 3617; 3950; 4340; 4507; 4533; 4621; 4643; 4676; 4698
Вариант № 15	
Статистический ряд 3.2	26; 28; 35; 37; 62; 74; 81; 89; 94; 97; 100; 107; 123; 129; 149; 153; 159; 162; 164; 174; 219; 222; 243; 252; 260; 268; 287; 307; 335; 363; 370; 395; 397; 399; 422; 438; 548; 592; 615; 658; 734; 785; 825; 862; 867; 869; 882; 920; 925; 926; 960; 968; 971; 990; 1074; 1083; 1100; 1106; 1122; 1166; 1180; 1186; 1200; 1208; 1398; 1406; 1411; 1513 1603; 1645; 1670; 1898; 1915; 1956; 2228; 2283; 2355; 2517; 2562; 2576; 2594; 2651; 2667; 2816; 3040; 3283; 3290; 3618; 3951; 4341; 4508; 4534; 4622; 4644; 4677; 4699
Вариант № 16	
Статистический ряд 3.2	27; 29; 36; 38; 63; 75; 82; 90; 95; 98; 101; 108; 124; 130; 150; 154; 160; 163; 165; 175; 220; 223; 244; 253; 261; 269; 288; 308; 336; 364; 371; 396; 398; 400; 423; 439; 549; 593; 616; 659; 735; 786; 826; 863; 868; 870; 883; 921; 926; 927; 961; 969; 972; 991; 1075; 1084; 1101; 1107; 1123; 1167; 1181; 1187; 1201; 1209; 1399; 1407; 1412; 1514 1604; 1646; 1671; 1899; 1916; 1957; 2229; 2284; 2356; 2518; 2563; 2577; 2595; 2652; 2668; 2817; 3041; 3284; 3291; 3619; 3952; 4342; 4509; 4535; 4623; 4645; 4678; 4700

Продолжение табл. 4.5

Вариант № 9	
Статистический ряд 3.2	20; 22; 29; 31; 56; 68; 75; 83; 88; 91; 94; 101; 117; 123; 143; 147; 153; 156; 158; 168; 213; 216; 237; 246; 254; 262; 281; 301; 329; 357; 364; 389; 391; 393; 416; 432; 542; 586; 609; 652; 728; 778; 818; 856; 861; 863; 876; 914; 919; 920; 954; 962; 965; 984; 1068; 1077; 1094; 1100; 1116; 1160; 1174; 1180; 1194; 1202; 1392; 1400; 1405; 1507 1597; 1639; 1664; 1892; 1909; 1950; 2222; 2277; 2349; 2511; 2556; 2570; 2588; 2645; 2661; 2810; 3034; 3277; 3284; 3612; 3945; 4335; 4502; 4528; 4616; 4638; 4671; 4693
Вариант № 10	
Статистический ряд 3.2	21; 23; 30; 32; 57; 69; 76; 84; 89; 92; 95; 102; 118; 124; 144; 148; 154; 157; 159; 169; 214; 217; 238; 247; 255; 263; 282; 302; 330; 358; 365; 390; 392; 394; 417; 433; 543; 587; 610; 653; 729; 779; 819; 857; 862; 864; 877; 915; 920; 921; 955; 963; 966; 985; 1069; 1078; 1095; 1101; 1117; 1161; 1175; 1181; 1195; 1203; 1393; 1401; 1406; 1508 1598; 1640; 1665; 1893; 1910; 1951; 2223; 2278; 2350; 2512; 2557; 2571; 2589; 2646; 2662; 2811; 3035; 3278; 3285; 3613; 3946; 4336; 4503; 4529; 4617; 4639; 4672; 4694
Вариант № 11	
Статистический ряд 3.2	22; 24; 31; 33; 58; 70; 77; 85; 90; 93; 96; 103; 119; 125; 145; 149; 155; 158; 160; 170; 215; 218; 239; 248; 256; 264; 283; 303; 331; 359; 366; 391; 393; 395; 418; 434; 544; 588; 611; 654; 730; 780; 820; 858; 863; 865; 878; 916; 921; 922; 956; 964; 967; 986; 1070; 1079; 1096; 1102; 1118; 1162; 1176; 1182; 1196; 1204; 1394; 1402; 1407; 1509 1599; 1641; 1666; 1894; 1911; 1952; 2224; 2279; 2351; 2513; 2558; 2572; 2590; 2647; 2663; 2812; 3036; 3279; 3286; 3614; 3947; 4337; 4504; 4530; 4618; 4640; 4673; 4695
Вариант № 12	
Статистический ряд 3.2	23; 25; 32; 34; 59; 71; 78; 86; 91; 94; 97; 104; 120; 126; 146; 150; 156; 159; 161; 171; 216; 219; 240; 249; 257; 265; 284; 304; 332; 360; 367; 392; 394; 396; 419; 435; 545; 589; 612; 655; 731; 781; 821; 859; 864; 866; 879; 917; 922; 923; 957; 965; 968; 987; 1071; 1080; 1097; 1103; 1119; 1163; 1177; 1183; 1197; 1205; 1395; 1403; 1408; 1510 1600; 1642; 1667; 1895; 1912; 1953; 2225; 2280; 2352; 2514; 2559; 2573; 2591; 2648; 2664; 2813; 3037; 3280; 3287; 3615; 3948; 4338; 4505; 4531; 4619; 4641; 4674; 4696

Предложенная методология распространяема практически на любые виды дефектов. Специфика конкретных задач будет заключаться исключительно в определении количественных закономерностей предельного состояния и вычисления по соответствующей физической модели вида и параметров функции распределения $F(t)$.

1.6. Критичность отказов и предельных состояний

Классификация отказов по степени критичности должна быть построена на анализе последствий предполагаемого отказа. Отказы ЛЧМГ, последствия которых могут создать угрозу жизни и здоровью людей, либо привести к опасным для человека изменениям в окружающей среде, будем классифицировать как критические и (или) катастрофические отказы. Содержание критериев для деления отказов по степени критичности зависит от целого ряда факторов. В их число могут входить параметры, характеризующие размещение различных объектов вдоль трассы, плотность населения, попадающего в предполагаемую зону поражения, конкретные особенности конструктивной схемы трубопровода, учитывающие возможности по диагностированию аварийной ситуации и локализации ее развития, параметры, характеризующие территории, по которым проложена трасса трубопровода, с точки зрения вида и уровня возможного ущерба для окружающей среды.

В зависимости от типа территорий, по которым проложен трубопровод, отказ, вызванный локальной негерметичностью конструкции типа свища, в условиях малообитаемых пустынных территорий может быть классифицирован как некритический. Напротив, аналогичный отказ на трубопроводе, проходящем через густонаселенные территории и при условиях, допускающих скопления газа до взрывоопасных концентраций, должен быть классифицирован как критический или даже катастрофический отказ.

Состояние объекта, при котором его дальнейшая эксплуатация недопустима или нецелесообразна, либо восстановление его работоспособности невозможно или нецелесообразно, называется предельным для данного объекта. Для сложных объектов может быть введено несколько типов предельных состояний.

Для каждого типа предельного состояния должен быть установлен признак или совокупность признаков, называемых критерием предельного состояния.

Для потенциально опасных сооружений и конструкций, к которым принадлежат газо- и нефтепроводы, к категории предельных могут быть отнесены состояния, реализация которых не приводит к необходимости безоговорочного прекращения функционирования по назначению и снятию объекта с эксплуатации. Для таких состояний характерно сохранение

работоспособности конструкции, а следовательно, отсутствие признаков отказа в рамках регламентируемой в [3] терминологии. Выделение данной группы состояний связано с тем, что дальнейшая эксплуатация объекта сопряжена с существенным повышением риска возникновения критических и (или) катастрофических отказов. К таким состояниям могут быть отнесены предельные состояния, сформулированные в традиционном для строительной механики и механики разрушения смысле.

Введем в рассмотрение следующие группы критериев предельных состояний. Перечень составлен на основе анализа условий работы трубопроводов и выделения базовых обобщающих признаков предельных состояний, согласно *РД 51–4.2.–003–97*:

- *избыточные пластические деформации;*
- *местная потеря устойчивости;*
- *общая потеря устойчивости;*
- *усталостное разрушение (малоцикловое и многоцикловое);*
- *хрупкое разрушение;*
- *вязкое разрушение;*
- *коррозионное растрескивание.*

События, связанные с реализацией избыточных пластических деформаций (или превышением заданного уровня напряжений), местной и общей потерей устойчивости следует трактовать как повреждения. К этой же группе должны быть отнесены события, связанные с реализацией усталостных явлений, развитием хрупких и вязких разрушений и коррозионного растрескивания, если они не привели к нарушению герметичности конструкции, а рассматриваются в процессе развития. В противном случае эти события должны быть признаны отказами.

Классификация предельных состояний должна быть проведена отдельно по типам конструктивных элементов:

- *основной металл;*
- *продольные (заводские) сварные стыковые соединения;*
- *отводы;*
- *тройниковые соединения;*
- *переходники (и др. элементы по выбору проектировщика).*

Форма представления критериев предельных состояний определяется типом связанной с данным критерием прочностной, динамической или статической задачи, выбранной для реализации механико-математической модели конструкции, действующих на трубопровод нагрузок и воздействий.

Ниже рассмотрены формализации некоторых основных критериев предельных состояний (символы φ_i , расположенные слева от записи,

Вариант № 5	
Статистический ряд 3.2	16; 18; 25; 27; 52; 64; 71; 79; 84; 87; 90; 97; 113; 119; 139; 143; 149; 152; 154; 164; 209; 212; 233; 242; 250; 258; 277; 297; 325; 353; 360; 385; 387; 389; 412; 428; 538; 582; 605; 648; 724; 774; 814; 852; 857; 859; 872; 910; 915; 916; 950; 958; 961; 980; 1064; 1073; 1090; 1096; 1112; 1156; 1170; 1176; 1190; 1198; 1388; 1396; 1401; 1503 1593; 1635; 1660; 1888; 1905; 1946; 2218; 2273; 2345; 2507; 2552; 2566; 2584; 2641; 2657; 2806; 3030; 3273; 3280; 3608; 3941; 4331; 4498; 4524; 4612; 4634; 4667; 4689
Вариант № 6	
Статистический ряд 3.2	17; 19; 26; 28; 53; 65; 72; 80; 85; 88; 91; 98; 114; 120; 140; 144; 150; 153; 155; 165; 210; 213; 234; 243; 251; 259; 278; 298; 326; 354; 361; 386; 388; 390; 413; 429; 539; 583; 606; 649; 725; 775; 815; 853; 858; 860; 873; 911; 916; 917; 951; 959; 962; 981; 1065; 1074; 1091; 1097; 1113; 1157; 1171; 1177; 1191; 1199; 1389; 1397; 1402; 1504 1594; 1636; 1661; 1889; 1906; 1947; 2219; 2274; 2346; 2508; 2553; 2567; 2585; 2642; 2658; 2807; 3031; 3274; 3281; 3609; 3942; 4332; 4499; 4525; 4613; 4635; 4668; 4690
Вариант № 7	
Статистический ряд 3.2	18; 20; 27; 29; 54; 66; 73; 81; 86; 89; 92; 99; 115; 121; 141; 145; 151; 154; 156; 166; 211; 214; 235; 244; 252; 260; 279; 299; 327; 355; 362; 387; 389; 391; 414; 430; 540; 584; 607; 650; 726; 776; 816; 854; 859; 861; 874; 912; 917; 918; 952; 960; 963; 982; 1066; 1075; 1092; 1098; 1114; 1158; 1172; 1178; 1192; 1200; 1390; 1398; 1403; 1505 1595; 1637; 1662; 1890; 1907; 1948; 2220; 2275; 2347; 2509; 2554; 2568; 2586; 2643; 2659; 2808; 3032; 3275; 3282; 3610; 3943; 4333; 4500; 4526; 4614; 4636; 4669; 4691
Вариант № 8	
Статистический ряд 3.2	19; 21; 28; 30; 55; 67; 74; 82; 87; 90; 93; 100; 116; 122; 142; 146; 152; 155; 157; 167; 212; 215; 236; 245; 253; 261; 280; 300; 328; 356; 363; 388; 390; 392; 415; 431; 541; 585; 608; 651; 727; 777; 817; 855; 860; 862; 875; 913; 918; 919; 953; 961; 964; 983; 1067; 1076; 1093; 1099; 1115; 1159; 1173; 1179; 1193; 1201; 1391; 1399; 1404; 1506 1596; 1638; 1663; 1891; 1908; 1949; 2221; 2276; 2348; 2510; 2555; 2569; 2587; 2644; 2660; 2809; 3033; 3276; 3283; 3611; 3944; 4334; 4501; 4527; 4615; 4637; 4670; 4692

Варианты заданий приводятся в табл. 4.5 в виде соответствующих статистических рядов 4.2.

Таблица 4.5

Варианты заданий

Вариант № 1	
Статистический ряд 3.2	12; 14; 21; 23; 48; 60; 67; 75; 80; 83; 86; 93; 109; 115; 135; 139; 145; 148; 150; 160; 205; 208; 229; 238; 246; 254; 273; 292; 321; 349; 356; 381; 383; 385; 408; 424; 534; 578; 601; 644; 720; 770; 810; 848; 853; 855; 868; 906; 911; 912; 946; 954; 957; 976; 1060; 1069; 1086; 1092; 1108; 1152; 1166; 1172; 1186; 1194; 1384; 1392; 1397; 1499; 1589; 1631; 1656; 1884; 1901; 1942; 2214; 2269; 2341; 2503; 2548; 2562; 2580; 2637; 2653; 2802; 3026; 3269; 3276; 3604; 3937; 4327; 4494; 4520; 4608; 4630; 4663; 4685
Вариант № 2	
Статистический ряд 3.2	13; 15; 22; 24; 49; 61; 68; 76; 81; 84; 87; 94; 110; 116; 136; 140; 146; 149; 151; 161; 206; 209; 230; 239; 247; 255; 274; 293; 322; 350; 357; 382; 384; 386; 409; 425; 535; 579; 602; 645; 721; 771; 811; 849; 854; 856; 869; 907; 912; 913; 947; 955; 958; 977; 1061; 1070; 1087; 1093; 1109; 1153; 1167; 1173; 1187; 1195; 1385; 1393; 1398; 1500; 1590; 1632; 1657; 1885; 1902; 1943; 2215; 2270; 2342; 2504; 2549; 2563; 2581; 2638; 2654; 2803; 3027; 3270; 3277; 3605; 3938; 4328; 4495; 4521; 4609; 4631; 4664; 4686
Вариант № 3	
Статистический ряд 3.2	14; 16; 23; 25; 50; 62; 69; 77; 82; 85; 88; 95; 111; 117; 137; 141; 147; 150; 152; 162; 207; 210; 231; 240; 248; 256; 275; 295; 323; 351; 358; 383; 385; 387; 410; 426; 536; 580; 603; 646; 722; 772; 812; 850; 855; 857; 870; 908; 913; 914; 948; 956; 959; 978; 1062; 1071; 1088; 1094; 1110; 1154; 1168; 1174; 1188; 1196; 1386; 1394; 1399; 1501; 1591; 1633; 1658; 1886; 1903; 1944; 2216; 2271; 2343; 2505; 2550; 2564; 2582; 2639; 2655; 2804; 3028; 3271; 3278; 3606; 3939; 4329; 4496; 4522; 4610; 4632; 4665; 4687
Вариант № 4	
Статистический ряд 3.2	15; 17; 24; 26; 51; 63; 70; 78; 83; 86; 89; 96; 112; 118; 138; 142; 148; 151; 153; 163; 208; 211; 232; 241; 249; 257; 276; 296; 324; 352; 359; 384; 386; 388; 411; 427; 537; 581; 604; 647; 723; 773; 813; 851; 856; 858; 871; 909; 914; 915; 949; 957; 960; 979; 1063; 1072; 1089; 1095; 1111; 1155; 1169; 1175; 1189; 1197; 1387; 1395; 1400; 1502; 1592; 1634; 1659; 1887; 1904; 1945; 2217; 2272; 2344; 2506; 2551; 2565; 2583; 2640; 2656; 2805; 3029; 3272; 3279; 3607; 3940; 4330; 4497; 4523; 4611; 4633; 4666; 4688

представляют собой формальное имя критерия, в дальнейшем используемое для ссылок на данный критерий).

Критерий допускаемых напряжений:

$$\psi_1: |\sigma_{эi}| \leq [\sigma], \quad (1.8)$$

где $\sigma_{эi}$ – эффективное напряжение в стенке трубы, вычисленное по заданному критерию прочности;

$[\sigma]$ – максимально допускаемое напряжение, заданное в форме, согласованной с выбранным критерием прочности.

Критерий больших пластических деформаций:

$$\psi_2: |\varepsilon_{эi}| \leq [\varepsilon_{pl}], \quad (1.9)$$

где $\varepsilon_{эi}$ – эффективная деформация в стенке трубы;

$[\varepsilon_{pl}]$ – допускаемое предельное значение деформации.

Усталостный критерий для бездефектного материала:

$$\psi_3: N \leq N_*, \quad (1.10)$$

где N – число циклов или блоков квазициклического нагружения,

N_* – предельное число циклов по испытаниям материала на усталость.

Усталостный критерий для дефектного материала:

$$\psi_4: N(\lambda_k) \leq N_{*k}, \quad (1.11)$$

где $N(\lambda_k)$ – число циклов или блоков квазициклического нагружения с учетом дефекта структуры k -го типа,

N_{*k} – предельное число циклов по испытаниям материала с дефектом k -го типа на усталость;

(λ_k) – вектор характеристических управляющих параметров дефекта k -го типа.

Критерий трещиностойкости для трещиноподобных дефектов и трещин (герметичность):

$$\psi_5: N_c(c_k) \leq N_{*ck}, \quad (1.12)$$

где $N_c(c_k)$ – число циклов или блоков квазициклического нагружения до сквозного прорастания дефекта k -го типа,

N_{*ck} – допустимое число циклов;

CR – вектор характеристических управляющих параметров трещины или трещиноподобного дефекта k -го типа. Допускается альтернативная формулировка критерия ψ_5 вида:

$$\psi_5: c_k \leq 0,8\delta, \quad (1.13)$$

где c_k – глубина трещины,

δ – толщина стенки трубы.

Критерий трещиностойкости для трещиноподобных дефектов и трещин (устойчивость):

$$\psi_{5: \max} K_I(c_k) \leq K_{Ick}, \quad (1.14)$$

где $\max K_I(c_k)$ – максимальный коэффициент интенсивности напряжений на фронте трещины нормального отрыва,
 K_{Ick} – критический КИН для трещин нормального отрыва в данном материале.

Можно сформулировать более общий критерий для трещины других или совместных моделей.

Перечень вышеприведенных критериев является открытым для расширения при учете новых типов предельных состояний.

Практическая реализация критериев предельных состояний основана на разработке и применении соответствующих расчетных моделей. Общие требования к выбору и построению расчетных схем и оценки параметров напряженно-деформированного состояния будут рассмотрены ниже.

Если критический отказ ЛЧМГ является зависимым отказом, то необходимо в расчетной методике рассмотреть дерево (деревья) отказов с учетом критериев предельных состояний промежуточных отказов.

1.7. Требования к построению расчетных схем для оценки напряженно-деформированного состояния участка газопровода

Требования к построению расчетных схем, механико-математических моделей и методам решения поставленной задачи определяются задаваемыми проектом: геометрией трассы, способом прокладки, режимами эксплуатации, региональными условиями взаимодействия с окружающей средой, а также внесенными в проектное задание необходимыми для оценивания критериями отказов и предельных состояний. Расчетные схемы должны соответствовать классификации участков трассы по принципу однородности условий возникновения отказов (предельных состояний) одного типа. Конкретный выбор расчетной схемы подчиняется нормам СНиП для магистральных трубопроводов и соответствующей нормативной и методологической литературе.

1.8. Формирование расчетных участков

Линейная часть магистрального газопровода представляет собой протяженную пространственную конструкцию, работающую в течение заданного срока t . Неоднородность нагрузок и воздействий на различных участках газопровода является причиной различий в уровне надежности и долговечности элементов газопровода.

Вариант № 20	
Статистический ряд 3.1	32; 33; 38; 42; 67; 79; 99; 103; 107; 128; 136; 141; 153; 164; 169; 175; 180; 188; 192; 195; 209; 212; 214; 219; 227; 257; 265; 308; 311; 332; 335; 368; 374; 375; 411; 419; 430; 493; 502; 557; 594; 597; 608; 620; 739; 750; 860; 886; 973; 978; 1191; 1272; 1298; 1403; 1415; 1481; 1608; 2233; 2340; 2567; 3119

Лабораторная работа № 14

Определение закона распределения времени безотказной работы магистральных насосов

Постановка задачи

В результате наблюдения за работой магистральных насосов магистрального нефтепровода в 1986–1987 гг. было получено 96 значений статистических данных о наработках между отказами и сформированы вариационные ряды полных наработок между отказами. Вариационный ряд представляют собой ранжированную выборку, т. е. выборку, члены которой расположены в порядке возрастания их численных значений.

Наработки между отказами магистральных насосов нефтепроводов в часах приводятся в виде вариационного ряда 4.2.

Определить:

- Теоретическую функцию распределения времени безотказной работы магистральных насосов магистрального нефтепровода $PT_0(t)$, предварительно проведя обработку исходных статистических данных. Для выдвижения гипотезы о функции распределения времени безотказной работы магистральных насосов используйте графический метод (см. лаб. раб. № 6). Для определения $PT_0(t)$ используйте любой метод построения модели надежности в Excel (см. лаб. раб. № 7...9).
- Постройте графики статистической $PC_0(t)$ и теоретической $PT_0(t)$ функций распределения времени безотказной работы магистральных насосов магистрального нефтепровода на одном чертеже того же листа Excel, где находятся расчеты и таблица с расчетными данными.
- Проанализируйте после сопоставления полученные результаты.



Продолжение табл. 4.4

Вариант № 13	
Статистический ряд 3.1	25; 26; 31; 35; 60; 72; 92; 96; 100; 121; 129; 134; 146; 157; 162; 168; 173; 181; 185; 189; 202; 205; 207; 212; 220; 250; 258; 301; 304; 325; 328; 361; 367; 368; 404; 412; 423; 486; 495; 550; 587; 590; 601; 613; 732; 743; 853; 879; 966; 971; 1184; 1265; 1291; 1396; 1408; 1474; 1601; 2226; 2333; 2560; 3112
Вариант № 14	
Статистический ряд 3.1	26; 27; 32; 36; 61; 73; 93; 97; 101; 122; 130; 135; 147; 158; 163; 169; 174; 182; 186; 190; 203; 206; 208; 213; 221; 251; 259; 302; 305; 326; 329; 362; 368; 369; 405; 413; 424; 487; 496; 551; 588; 591; 602; 614; 733; 744; 854; 880; 967; 972; 1185; 1266; 1292; 1397; 1409; 1475; 1602; 2227; 2334; 2561; 3113
Вариант № 15	
Статистический ряд 3.1	27; 28; 33; 37; 62; 74; 94; 98; 102; 123; 131; 136; 148; 159; 164; 170; 175; 183; 187; 191; 204; 207; 209; 214; 222; 252; 260; 303; 306; 327; 330; 363; 369; 370; 406; 414; 425; 488; 497; 552; 589; 592; 603; 615; 734; 745; 855; 881; 968; 973; 1186; 1267; 1293; 1398; 1410; 1476; 1603; 2228; 2335; 2562; 3114
Вариант № 16	
Статистический ряд 3.1	28; 29; 34; 38; 63; 75; 95; 99; 103; 124; 132; 137; 149; 160; 165; 171; 176; 184; 188; 192; 205; 208; 210; 215; 223; 253; 261; 304; 307; 328; 331; 364; 370; 371; 407; 415; 426; 489; 498; 553; 590; 593; 604; 616; 735; 746; 856; 882; 969; 974; 1187; 1268; 1294; 1399; 1411; 1477; 1604; 2229; 2336; 2563; 3115
Вариант № 17	
Статистический ряд 3.1	29; 30; 35; 39; 64; 76; 96; 100; 104; 125; 133; 138; 150; 161; 166; 172; 177; 185; 189; 193; 206; 209; 211; 216; 224; 254; 262; 305; 308; 329; 332; 365; 371; 372; 408; 416; 427; 490; 499; 554; 591; 594; 605; 617; 736; 747; 857; 883; 970; 975; 1188; 1269; 1295; 1400; 1412; 1478; 1605; 2230; 2337; 2564; 3116
Вариант № 18	
Статистический ряд 3.1	30; 31; 36; 40; 65; 77; 97; 101; 105; 126; 134; 139; 151; 162; 167; 173; 178; 186; 190; 194; 207; 210; 212; 217; 225; 255; 263; 306; 309; 330; 333; 366; 372; 373; 409; 417; 428; 491; 500; 555; 592; 595; 606; 618; 737; 748; 858; 884; 971; 976; 1189; 1270; 1296; 1401; 1413; 1479; 1606; 2231; 2338; 2565; 3117
Вариант № 19	
Статистический ряд 3.1	31; 32; 37; 41; 66; 78; 98; 102; 106; 127; 135; 140; 152; 163; 168; 174; 179; 187; 191; 195; 208; 211; 213; 218; 226; 256; 264; 307; 310; 331; 334; 367; 373; 374; 410; 418; 429; 492; 501; 556; 593; 596; 607; 619; 738; 749; 859; 885; 972; 977; 1190; 1271; 1297; 1402; 1414; 1480; 1607; 2232; 2339; 2566; 3118

Разобьем газопровод на расчетные участки. Цель разбиения состоит в выделении участков с однородными условиями эксплуатации. Однородность участка должна быть обеспечена в течение всего временно-го интервала, на котором прогнозируются соответствующие показатели надежности и долговечности.

Трасса ЛЧМГ разбивается на участки с однородными условиями по способу прокладки и конструктивным особенностям газопровода, грунтово-геологическим условиям, нагрузкам и воздействиям. Обязательным условием обеспечения однородности в пределах выделенного участка является наличие единой конструктивной схемы газопровода, постоянство геометрических характеристик и физико-механических свойств труб.

При первичном разбиении ЛЧМГ на участки по вышеперечисленным признакам рекомендуется руководствоваться делением на категории, принятом в СНиП.

Дальнейшее разбиение производится после анализа нагрузок и воздействий, свойств конструкции в целом и отдельных ее частей в пределах выделенного участка.

Будем различать два уровня разбиений конструкции на расчетные участки. Первый – соответствует разбиению конструкции на элементы в соответствии с выбранными при оценке напряженно-деформированного состояния расчетными схемами.

Цель разбиений второго уровня состоит в выделении участков с однородными характеристиками по выбранной группе параметров. Перечень параметров, учитываемых при разбиении, зависит от характеристик конструкции, вида предполагаемых расчетов, типов возможных отказов и предельных состояний, реализуемых на выделенном расчетном участке. При этом вначале формируют перечень типов расчетных участков, объединенных заданными общими признаками.

Учитывая общий характер нагрузок, действующих на надземный газопровод, выделим следующие возможные группы расчетных участков. В качестве примера взят надземный газопровод.

Примем в качестве первой расчетной области элемент оболочки мерой L_0 с наибольшим уровнем контактных напряжений в зоне прилегания к опоре. В первом приближении аппроксимируем область L_0 цилиндрической панелью, радиусом R , равным радиусу срединной поверхности оболочки. Размеры области в продольном $2l_x$ и поперечном $2l_y$ направлениях определяются масштабом неоднородности напряженного состояния в оболочке газопровода в зоне опирания на опору.

Учитывая распределение и характерный масштаб неоднородности изгибных напряжений по длине пролета надземного трубопровода, в качестве второго типа расчетного участка примем участок газопровода, заклю-

ченный между опорами. При этом полагаем, что во всех сечениях расчетного участка действуют напряжения максимальной в пределах участка интенсивности. Для учета неоднородности напряжений в продольном направлении участок трубопровода между опорами необходимо разбить на более короткие элементы, с меньшим уровнем напряжений.

В качестве расчетного участка третьего типа примем элемент оболочки, содержащий сварные швы. Необходимость выделения сварных швов обусловлена различием физико-механических свойств и уровня дефектности основного металла и материала в области шва. В качестве меры расчетной области примем длину сварного шва.

При оценке надежности под длиной расчетного участка понимается общая протяженность перечисленных эталонных расчетных участков отдельно по каждому из трех типов. При этом уровни напряжений и параметры начальной дефектности принимаем равными соответствующим максимальным значениям, определенным на всей совокупности расчетных участков.

При невозможности обеспечить однородность по всем требуемым параметрам ЛЧМГ разбивают на блоки, в которых обеспечивается однородность по ограниченному числу заранее выбранных параметров. По отношению к остальным параметрам поступают следующим образом. Производят оценку напряженно-деформированного состояния конструкции в пределах выделенного участка с учетом действительных нагрузок, выбирают наиболее неблагоприятное сочетание нагрузок и принимают в качестве расчетного. Все точки в пределах расчетного участка считают равнонагруженными и приписывают им уровень напряжений, максимальный для данного участка.

1.9. Формирование пространства состояний расчетного участка

При формировании пространства состояний трубопровод рассматривается как целостная система, объединяющая непосредственно ЛЧМГ и совокупность нагрузок и воздействий, включая непредусмотренные нормативными документами.

Сформируем набор параметров s_l ($l=1, \dots, r$), которые с достаточной полнотой характеризуют свойства системы в пределах выделенного участка. Среди параметров s_l могут быть как детерминистические и случайные величины, так и детерминистические и случайные функции, зависящие от времени.

Для случайных величин, входящих в число параметров s_l , должны быть заданы соответствующие плотности распределения вероятности.

Для стационарных случайных функций, входящих в число параметров s_l , должны быть заданы корреляционные функции.

Вариант № 6	
Статистический ряд 3.1	18; 19; 25; 28; 53; 65; 85; 89; 93; 114; 122; 127; 139; 150; 155; 161; 166; 174; 178; 182; 195; 198; 200; 205; 213; 243; 251; 294; 297; 318; 321; 354; 360; 361; 397; 405; 416; 479; 488; 543; 580; 583; 594; 606; 725; 736; 846; 872; 959; 964; 1177; 1258; 1284; 1389; 1401; 1467; 1594; 2219; 2326; 2553; 3105
Вариант № 7	
Статистический ряд 3.1	19; 20; 26; 29; 54; 66; 86; 90; 94; 115; 123; 128; 140; 151; 156; 162; 167; 175; 179; 183; 196; 199; 201; 206; 214; 244; 252; 295; 298; 319; 322; 355; 361; 362; 398; 406; 417; 480; 489; 544; 581; 584; 595; 607; 726; 737; 847; 873; 960; 965; 1178; 1259; 1285; 1390; 1402; 1468; 1595; 2220; 2327; 2554; 3106
Вариант № 8	
Статистический ряд 3.1	20; 21; 27; 30; 55; 67; 87; 91; 95; 116; 124; 129; 141; 152; 157; 163; 168; 176; 180; 184; 197; 200; 202; 207; 215; 245; 253; 296; 299; 320; 323; 356; 362; 363; 399; 407; 418; 481; 490; 545; 582; 585; 596; 608; 727; 738; 848; 874; 961; 966; 1179; 1260; 1286; 1391; 1403; 1469; 1596; 2221; 2328; 2555; 3107
Вариант № 9	
Статистический ряд 3.1	21; 22; 28; 31; 56; 68; 88; 92; 96; 117; 125; 130; 142; 153; 158; 164; 169; 177; 181; 185; 198; 201; 203; 208; 216; 246; 254; 297; 300; 321; 324; 357; 363; 364; 400; 408; 419; 482; 491; 546; 583; 586; 597; 609; 728; 739; 849; 875; 962; 967; 1180; 1261; 1287; 1392; 1404; 1470; 1597; 2222; 2329; 2556; 3108
Вариант № 10	
Статистический ряд 3.1	22; 23; 29; 32; 57; 69; 89; 93; 97; 118; 126; 131; 143; 154; 159; 165; 170; 178; 182; 186; 199; 202; 204; 209; 217; 247; 255; 298; 301; 322; 325; 358; 364; 365; 401; 409; 420; 483; 492; 547; 584; 587; 598; 610; 729; 740; 850; 876; 963; 968; 1181; 1262; 1288; 1393; 1405; 1471; 1598; 2223; 2330; 2557; 3109
Вариант № 11	
Статистический ряд 3.1	23; 24; 30; 33; 58; 70; 90; 94; 98; 119; 127; 132; 144; 155; 160; 166; 171; 179; 183; 187; 200; 203; 205; 210; 218; 248; 256; 299; 302; 323; 326; 359; 365; 366; 402; 410; 421; 484; 493; 548; 585; 588; 599; 611; 730; 741; 851; 877; 964; 969; 1182; 1263; 1289; 1394; 1406; 1472; 1599; 2224; 2331; 2558; 3110
Вариант № 12	
Статистический ряд 3.1	24; 25; 31; 34; 59; 71; 91; 95; 99; 120; 128; 133; 145; 156; 161; 167; 172; 180; 184; 188; 201; 204; 206; 211; 219; 249; 257; 300; 303; 324; 327; 360; 366; 367; 403; 411; 422; 485; 494; 549; 586; 589; 600; 612; 731; 742; 852; 878; 965; 970; 1183; 1264; 1290; 1395; 1407; 1473; 1600; 2225; 2332; 2559; 3111

- Постройте графики статистической $PC_0(t)$ и теоретической $PT_0(t)$ функций распределения времени безотказной работы насосных агрегатов нефтеперекачивающей станции на одном чертеже того же листа Excel, где находятся расчеты и таблица с расчетными данными.
- Проанализируйте после сопоставления полученные результаты.
Варианты заданий приводятся в табл. 4.4 в виде соответствующих статистических рядов 4.1.

Таблица 4.4

Варианты заданий

Вариант № 1	
Статистический ряд 3.1	13; 14; 21; 23; 48; 60; 80; 84; 88; 109; 117; 122; 134; 145; 150; 156; 161; 169; 173; 177; 190; 193; 195; 201; 208; 238; 246; 289; 292; 313; 316; 349; 355; 356; 392; 400; 411; 474; 483; 538; 575; 578; 589; 601; 720; 731; 842; 867; 954; 968; 1172; 1253; 1279; 1384; 1396; 1462; 1589; 2214; 2321; 2548; 3100
Вариант № 2	
Статистический ряд 3.1	14; 15; 22; 24; 49; 61; 81; 85; 89; 110; 118; 123; 135; 146; 151; 157; 162; 170; 174; 178; 191; 194; 196; 201; 209; 239; 247; 290; 293; 314; 317; 350; 356; 357; 393; 401; 412; 475; 484; 539; 576; 579; 590; 602; 721; 732; 843; 868; 955; 960; 1173; 1254; 1280; 1385; 1397; 1463; 1590; 2215; 2322; 2549; 3101
Вариант № 3	
Статистический ряд 3.1	15; 16; 23; 25; 50; 62; 82; 86; 90; 111; 119; 124; 136; 147; 152; 158; 163; 171; 175; 179; 192; 195; 197; 202; 210; 240; 248; 291; 294; 315; 318; 351; 357; 358; 394; 402; 413; 476; 485; 540; 577; 580; 591; 603; 722; 733; 843; 869; 956; 961; 1174; 1255; 1281; 1386; 1398; 1464; 1591; 2216; 2323; 2550; 3102
Вариант № 4	
Статистический ряд 3.1	16; 17; 23; 26; 51; 63; 83; 87; 91; 112; 120; 125; 137; 148; 153; 159; 164; 172; 176; 180; 193; 196; 198; 203; 211; 241; 249; 292; 295; 316; 319; 352; 358; 359; 395; 403; 414; 477; 486; 541; 578; 581; 592; 604; 723; 734; 844; 870; 957; 962; 1175; 1256; 1282; 1387; 1399; 1465; 1592; 2217; 2324; 2551; 3103
Вариант № 5	
Статистический ряд 3.1	17; 18; 24; 27; 52; 64; 84; 88; 92; 113; 121; 126; 138; 149; 154; 160; 165; 173; 177; 181; 194; 197; 199; 204; 212; 242; 250; 293; 296; 317; 320; 353; 359; 360; 396; 404; 415; 478; 487; 542; 579; 582; 593; 605; 724; 735; 845; 871; 958; 963; 1176; 1257; 1283; 1388; 1400; 1466; 1593; 2218; 2325; 2552; 3104

Форма представления исходной информации о нестационарных функциях, входящих в число параметров s_j , зависит от вида функции и должна быть в каждом конкретном случае определена дополнительно.

Идентифицирующим признаком отдельного состояния или класса состояния будем считать совокупность конкретных значений параметров s_j .

В настоящем документе ограничимся случаем конечного числа возможных состояний. Переход к конечному числу возможных состояний осуществим путем замены параметров s_j , имеющих непрерывное распределение дискретной аппроксимацией. Пространство состояний, искусственно ограниченное конечным числом элементов, должно обладать свойством полноты.

Среди параметров s_j могут быть зависимые параметры. В этом случае разобьем все параметры на группы по признаку взаимного влияния. К элементам первой группы отнесем независимые параметры. Во вторую группу поместим параметры, зависящие от одного или нескольких параметров из первой группы. В третью – параметры, зависящие от элементов первой и второй, или только второй группы. Перегруппировка параметров заканчивается после исчерпания списка параметров. Внутри каждой группы считаем параметры независимыми. Наличием обратной связи между параметрами пренебрегаем.

В пределах группы множество возможных значений произвольного зависимого параметра s_j представим в виде объединения M_j независимых подгрупп, каждая из которых содержит K_j элементов. Параметр M_j равен числу возможных комбинаций параметров, влияющих на величину параметра s_j .

В результате любое из возможных состояний трубопровода представимо в виде последовательного соединения элементов, принадлежащих различным группам, по одному из каждого вертикального слоя, соответствующего множеству возможных значений параметра s_j .

В дальнейшем общее число классов Φ_j возможных состояний обозначается \tilde{N}_j .

1.10. Перечень и структура нормируемых показателей надежности

Выбор показателей надежности (по отношению к отдельным группам отказов на одном участке ЛЧМГ):

1. Некритические отказы:

- $P(t)$ – вероятность безотказной работы ЛЧМГ за эксплуатационный период $[0, t]$;
- T_c – средний срок службы.

2. **Критические отказы:**

- $P(t)$ – вероятность безотказной работы ЛЧМГ за эксплуатационный период $[0, t]$ с учетом старения материала;
- T_{1c} – средний срок службы до первого критического отказа.

3. **Катастрофические отказы:**

- $P(t_\gamma)$ – вероятность безотказной работы ЛЧМГ за период $[0, t_\gamma]$;
- t_γ – γ -процентный ресурс до первого отказа.

Показатели безопасности должны включать вероятностные характеристики события, состоящего в нанесении максимального ущерба обслуживающему персоналу, населению или окружающей среде в районе трассы в случае аварии трубопровода. Вероятность последней определяется по отношению ко всем типам возможных критических отказов и носит название технического риска.

Вероятность $P_s(t)$ безопасной работы трубопровода за время t трактуется как вероятность безотказной работы по отношению к катастрофическим отказам.

Конструкционный технический риск $H(t) = 1 - P_s(t)$ – это альтернативный показатель по отношению к вероятности безопасной работы (используют либо первый, либо второй показатели).

Вероятность $P(t, Q, t_*, r)$ ущерба величины Q в момент t при условии аварии трубопровода в момент t_* , на удалении r от объекта.

1.11. Методы расчета показателей надежности

Рекомендуемая последовательность прогнозирования показателей надежности:

- Выделение участков с однородными условиями эксплуатации.
- Перечень возможных типов отказов и предельных состояний, их вызывающих.
- Формализация критериев наступления предельного состояния.
- Выбор показателей надежности по отношению к данному типу предельного состояния на данном участке с учетом критичности отказа и характера последствий.
- Выбор метода расчетного прогнозирования по отношению к данному показателю надежности.
- Оценка исходной информации, подготовка информационной базы расчета показателей надежности (статистические данные по объектам-аналогам).
- Получение расчетной оценки показателя надежности.



Лабораторная работа № 13

Определение закона распределения времени безотказной работы насосных агрегатов НПС

Постановка задачи

За период наблюдения 1986–1987 гг. за работой насосных агрегатов нефтеперекачивающей станции были собраны статистические данные о наработках между отказами и сформированы вариационные ряды полных наработок между отказами. Вариационный ряд представляют собой ранжированную выборку, т. е. выборку, члены которой расположены в порядке возрастания их численных значений. Полные наработки между отказами, входящие в выборку и, соответственно, в вариационный ряд, получают суммированием суточных наработок за период от окончания восстановления до ближайшего отказа объекта.

Наработки между отказами насосных агрегатов нефтеперекачивающей станции в часах приводятся в виде вариационного ряда 4.1.

Определить:

- Теоретическую функцию распределения времени безотказной работы насосных агрегатов нефтеперекачивающей станции $P_{T_0}(t)$, предварительно проведя обработку исходных статистических данных. Для выдвижения гипотезы о функции распределения времени безотказной работы насосных агрегатов используйте графический метод (см. лаб. раб. № 5). Для определения $P_{T_0}(t)$ используйте любой метод построения модели надежности в Excel (см. лаб. раб. № 7...9).

Окончание табл. 4.3

1	2	3
2	0,4–0,7	20
3	0,7–1,0	16
4	1,0–1,3	13
5	1,3–1,7	6
Вариант № 15		
1	0–0,4	29
2	0,4–0,7	21
3	0,7–1,0	17
4	1,0–1,3	14
5	1,3–1,7	7
Вариант № 16		
1	0–0,5	26
2	0,5–0,8	19
3	0,8–1,1	15
4	1,1–1,4	12
5	1,4–1,6	5
Вариант № 17		
1	0–0,5	27
2	0,5–0,8	18
3	0,8–1,1	15
4	1,1–1,4	12
5	1,4–1,6	5
Вариант № 18		
1	0–0,5	27
2	0,5–0,8	19
3	0,8–1,1	14
4	1,1–1,4	12
5	1,4–1,6	5
Вариант № 19		
1	0–0,5	27
2	0,5–0,8	19
3	0,8–1,1	15
4	1,1–1,4	11
5	1,4–1,6	5
Вариант № 20		
1	0–0,5	27
2	0,5–0,8	19
3	0,8–1,1	15
4	1,1–1,4	12
5	1,4–1,6	4

- Получение расчетной оценки показателя надежности всего участка по отношению к группе отказов всех типов предельных состояний и ко всем группам отказов в целом.
- Интегральная оценка показателей надежности всей трассы трубопровода.
- По отношению к критическим и катастрофическим отказам (авариям) оценка показателей безопасности: интегрального технического риска, индивидуального профессионального и общего регионального риска, суммарного экономического, социального и экологического ущерба.
- Выбор показателей ремонтпригодности.
- Оценка показателей ремонтпригодности с учетом оцененных показателей долговечности по отношению к различным типам отказов и к каждому участку ЛЧМГ.
- Разработка программы обеспечения надежности (ПОН) на весь период эксплуатации.
- Разработка программы обеспечения безопасности (ПОБ) на весь период эксплуатации.
- Расчет материально-технического обеспечения трассы на весь период эксплуатации.

Для постепенных критических отказов, вызванных прорастанием усталостных и коррозионных трещин, локальными разгерметизациями, образованием локальных пластических зон и вторичных дефектов, взаимодействием трубопровода с промерзающим пучинистым грунтом применяются формулы вычисления показателей надежности на основе теории выбросов случайного процесса за пределы допускаемой области в предположении пуассоновского потока событий.

Формулы для расчета показателей надежности имеют вид:

$$P_i(t) = \exp[-\Delta L_i t \sum_{j=1}^{\tilde{N}_j} \mu_{ij} H_{ij}(\Phi_j)], \quad (1.15)$$

- где ΔL_i – длина i -го участка ЛЧМГ;
 t – временной параметр продолжительности эксплуатации;
 μ_{ij} – интенсивность возникновения предельных состояний класса Φ_j на i -м участке ЛЧМГ;
 H_{ij} – вероятность отказа, соответствующего нарушению предельного состояния класса Φ_j ;
 \tilde{N}_j – число классов Φ_j . Парциальный риск H_{ij} соответствует вероятности того, что среди множества возможных состояний i -го

участка на практике будет реализовано состояние, принадлежащее классу Φ_j .

Для трубопровода, длиной $L = \sum_{i=1}^{N_i} \Delta L_i$, риск вычисляем по формуле:

$$H(t) = 1 - \exp[-t \sum_{i=1}^{N_i} \Delta L_i \sum_{j=1}^{\tilde{N}_j} \mu_{ij} H_{ij}(\Phi_j)]. \quad (1.16)$$

Оценка гамма-процентного ресурса t_γ и средней наработки до первого отказа T_1 производим по следующим формулам:

$$\exp[-t_\gamma \sum_{i=1}^{N_i} \Delta L_i \sum_{j=1}^{\tilde{N}_j} \mu_{ij} H_{ij}(\Phi_j)] = \frac{100}{\gamma}, \quad (1.17)$$

$$T_1 = \int_0^{\infty} \exp[-t \sum_{i=1}^{N_i} \Delta L_i \sum_{j=1}^{\tilde{N}_j} \mu_{ij} H_{ij}(\Phi_j)] dt. \quad (1.18)$$

Вычисление математических ожиданий μ_{ij} связано с вероятностью числа отказов j -го класса Φ_j на i -м участке $Q_{ij}(t)$ и начальным математическим ожиданием исходных событий (источников возникновения критических отказов μ_{ij}^0) следующим соотношением:

$$\mu_{ij} = \mu_{ij}^0 Q_{ij}(t). \quad (1.19)$$

Вероятность числа отказов Q_{ij} вычисляется индивидуально для каждого отдельного класса Φ_j и на i -м участке и определяется функцией распределения вероятности по отношению к формализованному критерию предельного состояния типа Φ_j . Для определения вероятностей Q_{ij} требуется знание функции распределения или плотности распределения вероятности. Если таковых формализованных соотношений нет, то применимы приближенные методы статистического моделирования (Монте-Карло), для реализации которых достаточно статистической информации о потоке исходных событий. При наличии плотности распределения исходных событий и сравнительно сложных (например, полуэмпирических или эмпирических) зависимостей предельных поверхностей, ограничивающих область допустимых состояний, могут быть рекомендованы приближенные вычислительные процедуры методов FORM-SORM.

Вычисление парциальных вероятностей $H_{ij}(\Phi_j)$ основано на применении метода условных функций надежности, согласно которому при недостатке исходной полной статистической информации о реализации событий, описывающих изменение управляющего параметра как непрерывной функции, производится замена непрерывного интервала значений параметра совокупностью кусочно-непрерывных интервалов,

1	2	3
5	1,3–1,7	5
Вариант № 8		
1	0–0,4	27
2	0,4–0,7	18
3	0,7–1,0	15
4	1,0–1,3	12
5	1,3–1,7	5
Вариант № 9		
1	0–0,4	27
2	0,4–0,7	19
3	0,7–1,0	14
4	1,0–1,3	12
5	1,3–1,7	5
Вариант № 10		
1	0–0,4	27
2	0,4–0,7	19
3	0,7–1,0	15
4	1,0–1,3	11
5	1,3–1,7	5
Вариант № 11		
1	0–0,4	27
2	0,4–0,7	19
3	0,7–1,0	15
4	1,0–1,3	12
5	1,3–1,7	4
Вариант № 12		
1	0–0,5	27
2	0,5–0,8	19
3	0,8–1,1	15
4	1,1–1,4	12
5	1,4–1,8	5
Вариант № 13		
1	0–0,3	27
2	0,3–0,6	19
3	0,6–0,9	15
4	0,9–1,3	12
5	1,2–1,6	5
Вариант № 14		
1	0–0,4	28

Продолжение табл. 4.3

1	2	3
2	0,4–0,7	19
3	0,7–1,0	15
4	1,0–1,3	12
5	1,3–1,7	5
Вариант № 2		
1	0–0,4	28
2	0,4–0,7	19
3	0,7–1,0	15
4	1,0–1,3	12
5	1,3–1,7	5
Вариант № 3		
1	0–0,4	27
2	0,4–0,7	20
3	0,7–1,0	15
4	1,0–1,3	12
5	1,3–1,7	5
Вариант № 4		
1	0–0,4	27
2	0,4–0,7	19
3	0,7–1,0	16
4	1,0–1,3	12
5	1,3–1,7	5
Вариант № 5		
1	0–0,4	27
2	0,4–0,7	19
3	0,7–1,0	15
4	1,0–1,3	13
5	1,3–1,7	5
Вариант № 6		
1	0–0,4	27
2	0,4–0,7	19
3	0,7–1,0	15
4	1,0–1,3	12
5	1,3–1,7	6
Вариант № 7		
1	0–0,4	26
2	0,4–0,7	19
3	0,7–1,0	15
4	1,0–1,3	12

для каждого из которых значение вероятности реализации события, состоящего в том, что параметр принимает значения из этого интервала, считается известным и постоянным. Вариант разбиения при этом должен удовлетворять требованию полноты пространства состояний

$$\sum_j H_{ij}(v) = 1. \quad (1.20)$$

Последнее условие эквивалентно требованию равенства единице суммы парциальных вероятностей реализации возможных событий.

Ввиду сложности и новизны проблемы данная методика имеет общеметодологический характер.

Для наиболее трудных случаев – прокладка в промерзающих пучинистых грунтах, для надземных газопроводов при действии ветровой нагрузки и просадке опор и т. д. – дан подробный материал в особых разделах.

2. ВЫДВИЖЕНИЕ ГИПОТЕЗЫ О ВИДЕ ЗАКОНА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СЛУЧАЙНОЙ ВЕЛИЧИНЫ



Результаты материалов статистических наблюдений оформляют в виде статистических рядов распределения – вариационных рядов. Они характеризует состояние исследуемого объекта. Построение рядов распределения является составной частью сводной обработки статистической информации.

Ряды распределения вероятности удобно анализировать с помощью графического изображения, что позволяет выдвигать гипотезу о форме (законе) распределения.

Для построения моделей надежности объектов трубопроводного транспорта нефти и газа наиболее часто в качестве законов распределения случайных непрерывных величин используется экспоненциальный закон

$$P(t) = Ce^{-\lambda t} \quad (2.1)$$

и закон Вейбулла:

$$P(t) = e^{-\lambda t^k}, \quad (2.2)$$

где $P(t)$ – вероятность безотказной работы;
 C – коэффициент, равный значению $P(t)$ при $t=0$;
 λ – интенсивность отказов;
 k – коэффициент формы.

- Выдвинув гипотезу о теоретическом законе Вейбулла распределения вероятности безотказной работы нефтепродуктопроводов в интервал группировки по длинам сквозных трещин нефтепродуктопроводов $PT_0(L)$, определите $PT(L)$ – теоретическое распределение вероятности возникновения продольных разрушений в зависимости от длины сквозных трещин, имеющее следующий вид:

$$PT(L) = 1 - PT_0(L) = 1 - e^{-\alpha L^k} \quad (4.2)$$

- Используя известные методы компьютерного моделирования в Excel, определите коэффициенты α и k в законе Вейбулла, определяемом по формуле (4.2).
- На основе полученных значений α и k подсчитайте значения теоретической вероятности отказа в интервале группировки по длинам сквозных трещин нефтепродуктопроводов $PT(L)$ и запишите их в 5-ю колонку табл. 4.3 для последующего анализа полученной модели вероятности отказа.
- Постройте два графика по данным, полученным ранее для $PC(L)$ и $PT(L)$, на одном чертеже того же листа Excel, где находятся расчёты и таблица с расчётными данными.
- Проанализируйте после сопоставления полученные результаты. *Варианты заданий приводятся в табл. 4.3.*



Таблица 4.3

Варианты заданий

№ п/п	Интервал группировки по длинам сквозных трещин нефтепродуктопроводов L, м	Эмпирическая частота отказов в интервале, n, шт.
1	2	3
Вариант № 1		
1	0–0,4	27

Лабораторная работа № 12

Построение модели отказов линейной части нефтепродуктопровода вследствие продольных разрушений, инициированных сквозными трещинами

Постановка задачи

При эксплуатации магистральных *нефтепродуктопроводов* отказ линейной части может происходить по причине продольных разрушений основного металла трубопровода (тела трубопровода). Продольные разрушения основного металла трубопровода, заводского сварного шва и околошовной зоны происходят вследствие многочисленных факторов, основными из которых являются воздействия внутреннего давления и наличие заводских, строительных дефектов нефтепродуктопровода.

Вид отказа эксплуатируемого материала нефтепродуктопровода зависит от *геометрических характеристик* строительных и других *дефектов*.

Отказ вследствие продольного разрушения нефтепродукта провода носит случайный характер. Одним из существенных факторов, влияющих на возникновение продольных разрушений нефтепродуктопроводов, является возникновение *сквозных трещин линейных размеров*.

Если определить аналитическую зависимость между длиной (линейным размером) сквозной трещины и возникновением разрыва нефтепродуктопровода, то получим статистическую модель вероятности отказов вследствие возникновения продольных разрушений по причине сквозных линейных трещин. Статистическая модель строится на основе совокупности продольных разрушений (на базе статистики).

В дальнейшем эту модель можно использовать для *прогноза* и предотвращения аварий, что, в свою очередь, позволит предотвратить возникновение экологического ущерба для окружающей среды.

Для построения теоретической *модели возникновения продольных разрушений в зависимости от длины сквозных трещин* в нефтепродуктопроводе используйте статистические данные, приводимые в табл. 4.3.

В табл. 4.3 используются следующие обозначения:

- L – интервал группировки по длинам сквозных трещин нефтепродуктопроводов (m);
- n_i – количество продольных разрушений нефтепродуктопроводов (эмпирическая частота).

Определить:

- Статистическую вероятность отказа $PC(L)$ в интервале группировки по длинам сквозных трещин нефтепродуктопроводов и записать её значение в 4-ю колонку табл. 4.3.

Качественный вид данных законов представлен на рис. 2.1.

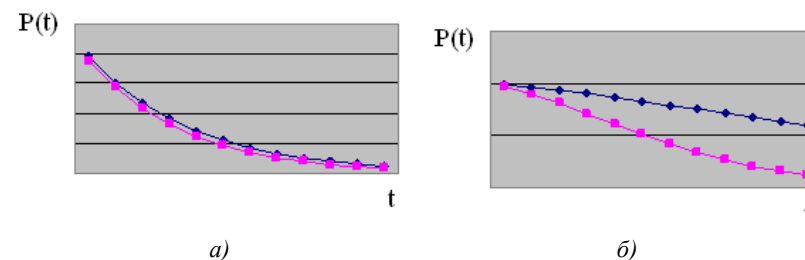


Рис. 2.1. Вид законов распределения случайных непрерывных величин: а – экспоненциальный закон; б – закон Вейбулла

Изображение рядов распределения вероятности в Excel осуществляется с помощью графических методов, входящих в состав специализированного пакета «Мастер диаграмм», что позволяют проводить анализ статистических данных.

Главное меню специализированного графического пакета «Мастер диаграмм» приводится на рис. 2.2.

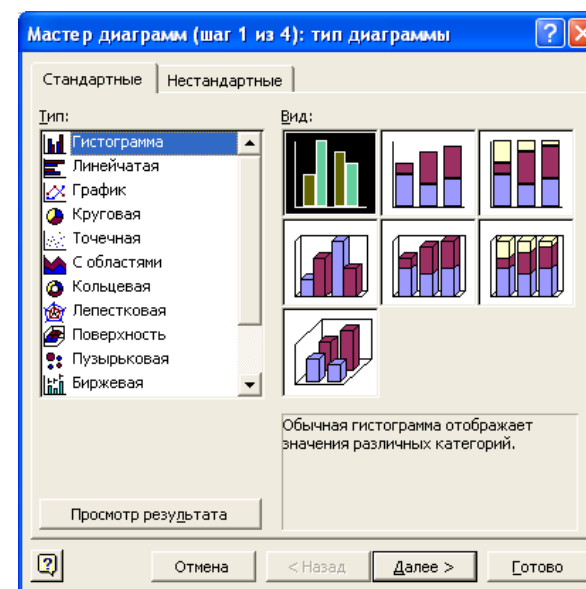


Рис. 2.2. Главное меню графического пакета Excel «Мастер диаграмм»

Графический метод анализа статистических данных позволяет представлять вариационные ряды в виде графиков и выдвигать гипотезу о виде закона распределения вероятности случайной величины для целей построения модели надежности исследуемого объекта.

Лабораторная работа № 1

Выдвижение гипотезы о законе распределения времени безотказной работы линейной части магистрального газопровода

Постановка задачи

В результате наблюдения в течение первых четырех лет за магистральным газопроводом *Мирное–Изобильное* с момента его запуска в эксплуатацию были накоплены и обработаны статистические данные по отказам, которые приводятся в первом варианте табл. 2.1.

Продолжительность периода наблюдения была обусловлена постоянством режима работы по давлению и температуре в начале газопровода. Особенностью этого периода наблюдения является абсолютная уверенность в отсутствии коррозии металла труб на только что законченном строительстве газопровода и, естественно, отсутствие разрушений коррозионного характера.

Информация об отказах на линейной части в начальный период работы дает возможность установить изменение интенсивности отказов в приработочный (пусковой) период эксплуатации газопровода и в начальный момент нормального периода работы. В этом плане первые четыре года эксплуатации магистрального газопровода являются уникальными.

Для определения вида функции распределения времени безотказной работы магистрального газопровода в качестве случайной величины принято число отказов газопровода в календарном интервале времени.

Результаты обработки отказов на линейной части газопровода, связанных с разрушением или появлением свища, подлежащих устранению с остановкой работы газопровода, приведены в табл. 2.1.

Определить:

1. Статистическую вероятность отказа $PC(t)$ в интервале времени и записать её значение в 4-ю колонку табл. 2.1.
2. Статистическую вероятность безотказной работы линейной части газопровода $PC_0(t)$ и записать её значение в 5-ю колонку табл. 2.1.
3. По данным 5-й колонки табл. 2.1, воспользовавшись любым графическим методом, построить кривые функции распределения времени безотказной работы газопровода.

Окончание табл. 4.2

1	2	3
Вариант № 14		
1	0–694	17
2	694–1388	14
3	1388–2082	17
4	2082–2776	16
5	2776–3479	13
Вариант № 15		
1	0–694	18
2	694–1388	15
3	1388–2082	18
4	2082–2776	17
5	2776–3479	14
Вариант № 16		
1	0–694	19
2	694–1388	16
3	1388–2082	19
4	2082–2776	18
5	2776–3479	15
Вариант № 17		
1	0–694	20
2	694–1388	17
3	1388–2082	20
4	2082–2776	19
5	2776–3479	16
Вариант № 18		
1	0–694	21
2	694–1388	18
3	1388–2082	21
4	2082–2776	20
5	2776–3479	17
Вариант № 19		
1	0–694	22
2	694–1388	19
3	1388–2082	22
4	2082–2776	21
5	2776–3479	18
Вариант № 20		
1	0–694	23
2	694–1388	20
3	1388–2082	23
4	2082–2776	22
5	2776–3479	19

Продолжение табл. 4.2

1	2	3
2	694–1388	7
3	1388–2082	10
4	2082–2776	9
5	2776–3479	6
Вариант № 8		
1	0–694	11
2	694–1388	8
3	1388–2082	11
4	2082–2776	10
5	2776–3479	7
Вариант № 9		
1	0–694	12
2	694–1388	9
3	1388–2082	12
4	2082–2776	11
5	2776–3479	8
Вариант № 10		
1	0–694	13
2	694–1388	10
3	1388–2082	13
4	2082–2776	12
5	2776–3479	9
Вариант № 11		
1	0–694	14
2	694–1388	11
3	1388–2082	14
4	2082–2776	13
5	2776–3479	10
Вариант № 12		
1	0–694	15
2	694–1388	12
3	1388–2082	15
4	2082–2776	14
5	2776–3479	11
Вариант № 13		
1	0–694	16
2	694–1388	13
3	1388–2082	16
4	2082–2776	15
5	2776–3479	12

4. По характеру кривой выдвинуть гипотезу о законе распределения времени безотказной работы газопровода.

Таблица 2.1

Варианты заданий для лабораторной работы № 1

№ п/п	Интервал работы газопровода, сутки	Эмпирическая частота отказов в интервале, шт.
1	2	3
Вариант № 1		
1	0–100	8
2	100–200	6
3	200–300	6
4	300–400	4
5	400–500	3
6	500–600	4
7	600–1100	2
8	1100–1600	3
Вариант № 2		
1	0–100	10
2	100–200	8
3	200–300	8
4	300–400	6
5	400–500	5
6	500–600	6
7	600–1100	4
8	1100–1600	5
Вариант № 3		
1	0–100	11
2	100–200	9
3	200–300	9
4	300–400	7
5	400–500	6
6	500–600	7
7	600–1100	5
8	1100–1600	6
Вариант № 4		
1	0–100	12
2	100–200	10
3	200–300	10
4	300–400	8
5	400–500	7
6	500–600	8

Продолжение табл. 2.1

1	2	3
7	600–1100	6
8	1100–1600	7
Вариант № 5		
1	0–100	13
2	100–200	11
3	200–300	11
4	300–400	9
5	400–500	8
6	500–600	9
7	600–1100	7
8	1100–1600	8
Вариант № 6		
1	0–100	14
2	100–200	12
3	200–300	12
4	300–400	10
5	400–500	9
6	500–600	10
7	600–1100	8
8	1100–1600	9
Вариант № 7		
1	0–100	15
2	100–200	13
3	200–300	13
4	300–400	11
5	400–500	10
6	500–600	11
7	600–1100	9
8	1100–1600	10
Вариант № 8		
1	0–100	16
2	100–200	14
3	200–300	14
4	300–400	12
5	400–500	11
6	500–600	12
7	600–1100	10
8	1100–1600	11

Таблица 4.2

<i>Варианты заданий</i>		
№ п/п	Временной интервал работы ГПА, сутки	Эмпирическая частота отказов в интервале, шт.
1	2	3
Вариант № 1		
1	0–694	4
2	694–1388	1
3	1388–2082	4
4	2082–2776	3
5	2776–3479	1
Вариант № 2		
1	0–694	5
2	694–1388	2
3	1388–2082	5
4	2082–2776	4
5	2776–3479	2
Вариант № 3		
1	0–694	6
2	694–1388	3
3	1388–2082	6
4	2082–2776	5
5	2776–3479	3
Вариант № 4		
1	0–694	7
2	694–1388	4
3	1388–2082	7
4	2082–2776	6
5	2776–3479	4
Вариант № 5		
1	0–694	8
2	694–1388	5
3	1388–2082	8
4	2082–2776	7
5	2776–3479	5
Вариант № 6		
1	0–694	9
2	694–1388	6
3	1388–2082	9
4	2082–2776	8
5	2776–3479	5
Вариант № 7		
1	0–694	10

Лабораторная работа № 11

Построение модели надежности газоперекачивающих агрегатов

Постановка задачи

Для исследования надежности участка *Алгасово–Истье–Воскресенск* магистрального газопровода *Средняя Азия – Центр* были собраны статистические данные наработки на отказ ГКС «Истье».

Обработанные статистические данные по отказам были получены на основе журнала аварийных остановок газокompрессорной станции (ГКС) «Истье» за период наблюдения, равный 9,5 годам, и представлены в первом варианте табл. 4.2.

Для определения функции распределения времени безотказной работы газоперекачивающих агрегатов (ГПА) на ГКС «Истье» в качестве случайной величины принято число отказов ГПА в интервале времени, заданном в сутках.

Определить:

1. Статистическую вероятность отказа ГПА на ГКС $PC(t)$ в интервале времени и записать её значение в 4-ю колонку табл. 4.2.
2. Статистическую вероятность безотказной работы ГПА на ГКС $PC_0(t)$ и записать её значение в 5-ю колонку табл. 4.2.
3. Определить $PT_0(t)$ – теоретическое распределение времени безотказной работы ГПА, выдвинув гипотезу о законе распределения времени безотказной работы *Вейбулла* с параметрами α и k , имеющем следующий вид:

$$PT_0(t) = e^{-\alpha t^k} \quad (4.1)$$

Для определения α и k в законе Вейбулла используйте известные методы компьютерного моделирования в Excel.

4. На основе полученных значений α и k подсчитайте значения теоретической вероятности $PT_0(t)$ и запишите их в 6-ю колонку табл. 4.2 для последующего анализа полученной модели вероятности безотказной работы ГПА.
5. Постройте два графика по данным, полученным ранее для $PC_0(t)$ и $PT_0(t)$, на одном чертеже того же листа Excel, где находятся расчёты и таблица с расчётными данными. Проанализируйте после сопоставления полученные результаты.

Варианты заданий приводятся в табл. 4.2.

Продолжение табл. 2.1

1	2	3
Вариант № 9		
1	0–100	17
2	100–200	15
3	200–300	15
4	300–400	13
5	400–500	12
6	500–600	13
7	600–1100	11
8	1100–1600	12
Вариант № 10		
1	0–100	18
2	100–200	16
3	200–300	16
4	300–400	14
5	400–500	13
6	500–600	14
7	600–1100	12
8	1100–1600	13
Вариант № 11		
1	0–200	16
2	200–400	12
3	400–600	12
4	600–800	8
5	800–1000	6
6	1000–1200	8
7	1200–2200	4
8	2200–3200	6
Вариант № 12		
1	0–200	17
2	200–400	13
3	400–600	13
4	600–800	9
5	800–1000	7
6	1000–1200	9
7	1200–2200	5
8	2200–3200	7
Вариант № 13		
1	0–200	18
2	200–400	14
3	400–600	14

Продолжение табл. 2.1

1	2	3
4	600–800	10
5	800–1000	8
6	1000–1200	10
7	1200–2200	6
8	2200–3200	8
Вариант № 14		
1	0–200	19
2	200–400	15
3	400–600	15
4	600–800	11
5	800–1000	9
6	1000–1200	11
7	1200–2200	7
8	2200–3200	9
Вариант № 15		
1	0–200	20
2	200–400	16
3	400–600	16
4	600–800	12
5	800–1000	10
6	1000–1200	12
7	1200–2200	8
8	2200–3200	10
Вариант № 16		
1	0–200	21
2	200–400	17
3	400–600	17
4	600–800	13
5	800–1000	11
6	1000–1200	13
7	1200–2200	9
8	2200–3200	11
Вариант № 17		
1	0–200	22
2	200–400	18
3	400–600	18
4	600–800	14
5	800–1000	12
6	1000–1200	14
7	1200–2200	10
8	2200–3200	12

Окончание табл. 4.1

1	2	3
7	75–90	19
8	90–105	21
9	105–120	21
Вариант № 19		
1	0–15	19
2	15–30	25
3	30–45	28
4	45–60	20
5	40–50	24
6	60–75	19
7	75–90	20
8	90–105	22
9	105–120	22
Вариант № 20		
1	0–15	20
2	15–30	26
3	30–45	29
4	45–60	21
5	40–50	25
6	60–75	20
7	75–90	21
8	90–105	23
9	105–120	23



Продолжение табл. 4.1

1	2	3
6	60–75	12
7	75–90	13
8	90–105	15
9	105–120	15
Вариант № 15		
1	0–15	13
2	15–30	19
3	30–45	22
4	45–60	14
5	40–50	18
6	60–75	13
7	75–90	14
8	90–105	16
9	105–120	16
Вариант № 16		
1	0–15	15
2	15–30	21
3	30–45	24
4	45–60	16
5	40–50	20
6	60–75	15
7	75–90	16
8	90–105	18
9	105–120	18
Вариант № 17		
1	0–15	17
2	15–30	23
3	30–45	26
4	45–60	18
5	40–50	22
6	60–75	17
7	75–90	18
8	90–105	20
9	105–120	20
Вариант № 18		
1	0–15	18
2	15–30	24
3	30–45	27
4	45–60	19
5	40–50	23
6	60–75	18

Окончание табл. 2.1

1	2	3
Вариант № 18		
1	0–200	23
2	200–400	19
3	400–600	19
4	600–800	15
5	800–1000	13
6	1000–1200	15
7	1200–2200	11
8	2200–3200	13
Вариант № 19		
1	0–200	24
2	200–400	20
3	400–600	20
4	600–800	16
5	800–1000	14
6	1000–1200	16
7	1200–2200	12
8	2200–3200	14
Вариант № 20		
1	0–200	25
2	200–400	21
3	400–600	21
4	600–800	17
5	800–1000	15
6	1000–1200	17
7	1200–2200	13
8	2200–3200	15

Лабораторная работа № 2**Выдвижение гипотезы о функции
распределения времени восстановления
линейной части магистральных газопроводов****Постановка задачи**

Магистральные трубопроводы предназначены для долговременной эксплуатации, в процессе которой предусматривается восстановление отдельных отказавших участков трубопровода. Поэтому магистральные трубопроводы относятся к восстанавливаемым инженерным сооружениям.

Время восстановления носит случайный характер, т. к. процесс восстановления зависит от многих факторов (характера и вида разрушения, диаметра трубопровода, способа аварийного ремонта, оснащенности, состава и квалификации аварийно-восстановительных бригад, расположения задвижек и т. п.). Интервал времени от момента отказа до момента восстановления трубопровода является случайной величиной.

Для определения вида функции распределения времени восстановления в качестве случайной величины принято число случаев ликвидации отказов на линейной части газопровода в принятом интервале времени восстановления.

В результате наблюдения в течение первых четырех лет за магистральным газопроводом *Мирное-Изобильное* с момента его запуска в эксплуатацию были накоплены и обработаны статистические данные по ликвидации отказов, которые приводятся в первом варианте табл. 2.2.

Определить:

1. Проведя предварительные вычисления и воспользовавшись любым графическим методом, построить кривые статистической функции времени восстановления работы газопровода.
2. По характеру кривой выдвинуть гипотезу о законе времени восстановления работы газопровода.



Таблица 2.2

Варианты заданий для лабораторной работы № 2

№ п/п	Время восстановления, час	Эмпирическая частота ликвидации отказов в интервале, шт.
1	2	3
Вариант № 1		
1	0–5	1
2	5–10	7
3	10–15	10
4	15–20	2
5	20–25	6

Продолжение табл. 4.1

1	2	3
5	40–50	14
6	50–60	9
7	60–70	10
8	70–80	12
9	80–90	12
Вариант № 11		
1	0–10	10
2	10–20	16
3	20–30	19
4	30–40	11
5	40–50	15
6	50–60	10
7	60–70	11
8	70–80	13
9	80–90	13
Вариант № 12		
1	0–10	11
2	10–20	17
3	20–30	20
4	30–40	12
5	40–50	16
6	50–60	11
7	60–70	12
8	70–80	14
9	80–90	14
Вариант № 13		
1	0–15	11
2	15–30	17
3	30–45	20
4	45–60	12
5	40–50	16
6	60–75	11
7	75–90	12
8	90–105	14
9	105–120	14
Вариант № 14		
1	0–15	12
2	15–30	18
3	30–45	21
4	45–60	13
5	40–50	17

Продолжение табл. 4.1

1	2	3
4	30–40	6
5	40–50	10
6	50–60	5
7	60–70	6
8	70–80	8
9	80–90	8
Вариант № 7		
1	0–10	6
2	10–20	12
3	20–30	15
4	30–40	7
5	40–50	11
6	50–60	6
7	60–70	7
8	70–80	9
9	80–90	9
Вариант № 8		
1	0–10	7
2	10–20	13
3	20–30	16
4	30–40	8
5	40–50	12
6	50–60	7
7	60–70	8
8	70–80	10
9	80–90	10
Вариант № 9		
1	0–10	8
2	10–20	14
3	20–30	17
4	30–40	9
5	40–50	13
6	50–60	8
7	60–70	9
8	70–80	11
9	80–90	11
Вариант № 10		
1	0–10	9
2	10–20	15
3	20–30	18
4	30–40	10

Продолжение табл. 2.2

1	2	3
6	25–30	1
7	30–35	2
8	35–40	4
9	40–45	4
Вариант № 2		
1	0–5	2
2	5–10	8
3	10–15	11
4	15–20	3
5	20–25	7
6	25–30	2
7	30–35	3
8	35–40	5
9	40–45	5
Вариант № 3		
1	0–5	3
2	5–10	9
3	10–15	12
4	15–20	4
5	20–25	8
6	25–30	3
7	30–35	4
8	35–40	6
9	40–45	6
Вариант № 4		
1	0–5	4
2	5–10	10
3	10–15	13
4	15–20	5
5	20–25	9
6	25–30	4
7	30–35	5
8	35–40	7
9	40–45	7
Вариант № 5		
1	0–5	5
2	5–10	11
3	10–15	14
4	15–20	6
5	20–25	10

Продолжение табл. 2.2

1	2	3
6	25–30	5
7	30–35	6
8	35–40	8
9	40–45	8
Вариант № 6		
1	0–10	5
2	10–20	11
3	20–30	14
4	30–40	6
5	40–50	10
6	50–60	5
7	60–70	6
8	70–80	8
9	80–90	8
Вариант № 7		
1	0–10	6
2	10–20	12
3	20–30	15
4	30–40	7
5	40–50	11
6	50–60	6
7	60–70	7
8	70–80	9
9	80–90	9
Вариант № 8		
1	0–10	7
2	10–20	13
3	20–30	16
4	30–40	8
5	40–50	12
6	50–60	7
7	60–70	8
8	70–80	10
9	80–90	10
Вариант № 9		
1	0–10	8
2	10–20	14
3	20–30	17
4	30–40	9
5	40–50	13

Продолжение табл. 4.1

1	2	3
3	10–15	11
4	15–20	3
5	20–25	7
6	25–30	2
7	30–35	3
8	35–40	5
9	40–45	5
Вариант № 3		
1	0–5	3
2	5–10	9
3	10–15	12
4	15–20	4
5	20–25	8
6	25–30	3
7	30–35	4
8	35–40	6
9	40–45	6
Вариант № 4		
1	0–5	4
2	5–10	10
3	10–15	13
4	15–20	5
5	20–25	9
6	25–30	4
7	30–35	5
8	35–40	7
9	40–45	7
Вариант № 5		
1	0–5	5
2	5–10	11
3	10–15	14
4	15–20	6
5	20–25	10
6	25–30	5
7	30–35	6
8	35–40	8
9	40–45	8
Вариант № 6		
1	0–10	5
2	10–20	11
3	20–30	14

Мирное–Изобильное с момента его запуска в эксплуатацию, когда были накоплены и обработаны статистические данные по ликвидации отказов, которые приводятся в первом варианте табл. 4.1.

Время восстановления является случайной величиной и представляет собой интервал времени от момента отказа до момента восстановления трубопровода.

Для определения вида функции распределения времени восстановления в качестве случайной величины принято число случаев ликвидации отказов на линейной части газопровода в принятом интервале времени восстановления.

Определить:

- Теоретическую функцию распределения времени восстановления работы магистрального газопровода $РТВ(t)$. Для выдвижения гипотезы о функции распределения времени восстановления ЛЧ МГ используйте графический метод (см. лаб. раб. № 2). Для определения $РТВ(t)$ используйте любой метод построения модели надежности в Excel (см. лаб. раб. № 7...9).
- Постройте графики статистической $РСВ(t)$ и теоретической $РТВ(t)$ функций распределения времени восстановления на одном чертеже того же листа Excel, где находятся расчеты и таблица с расчетными данными.
- Проанализируйте после сопоставления полученные результаты.
Варианты заданий приводятся в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Варианты заданий

№ п/п	Время восстановления, час	Эмпирическая частота ликвидации отказов в интервале, шт.
1	2	3
Вариант № 1		
1	0–5	1
2	5–10	7
3	10–15	10
4	15–20	2
5	20–25	6
6	25–30	1
7	30–35	2
8	35–40	4
9	40–45	4
Вариант № 2		
1	0–5	2
2	5–10	8

Продолжение табл. 2.2

1	2	3
6	50–60	8
7	60–70	9
8	70–80	11
9	80–90	11
Вариант № 10		
1	0–10	9
2	10–20	15
3	20–30	18
4	30–40	10
5	40–50	14
6	50–60	9
7	60–70	10
8	70–80	12
9	80–90	12
Вариант № 11		
1	0–10	10
2	10–20	16
3	20–30	19
4	30–40	11
5	40–50	15
6	50–60	10
7	60–70	11
8	70–80	13
9	80–90	13
Вариант № 12		
1	0–10	11
2	10–20	17
3	20–30	20
4	30–40	12
5	40–50	16
6	50–60	11
7	60–70	12
8	70–80	14
9	80–90	14
Вариант № 13		
1	0–15	11
2	15–30	17
3	30–45	20
4	45–60	12
5	40–50	16

Продолжение табл. 2.2

1	2	3
6	60–75	11
7	75–90	12
8	90–105	14
9	105–120	14
Вариант № 14		
1	0–15	12
2	15–30	18
3	30–45	21
4	45–60	13
5	40–50	17
6	60–75	12
7	75–90	13
8	90–105	15
9	105–120	15
Вариант № 15		
1	0–15	13
2	15–30	19
3	30–45	22
4	45–60	14
5	40–50	18
6	60–75	13
7	75–90	14
8	90–105	16
9	105–120	16
Вариант № 16		
1	0–15	14
2	15–30	20
3	30–45	23
4	45–60	15
5	40–50	19
6	60–75	14
7	75–90	15
8	90–105	17
9	105–120	17
Вариант № 17		
1	0–15	15
2	15–30	21
3	30–45	24
4	45–60	16
5	40–50	20
6	60–75	15
7	75–90	16
8	90–105	18
9	105–120	18

4. МОДЕЛИ НАДЕЖНОСТИ ОБЪЕКТОВ ГАЗОНЕФТЕПРОВОДОВ



Лабораторная работа № 10

**Определение вида функции распределения времени
восстановления линейной части магистральных газопроводов**

Постановка задачи

Магистральные трубопроводы являются ремонтируемыми объектами длительного использования. Эти объекты характеризуются тем, что на них после возникновения отказа выполняются ремонтные работы, по окончании которых они снова включаются в работу. Поэтому магистральные трубопроводы относятся к восстанавливаемым инженерным сооружениям.

Оценка надежности ремонтируемых объектов может быть определена за счет следующих вычислений:

- *характеристик потока отказов;*
- *условных распределений наработок между отказами.*

Вычисление характеристик потока отказов на примере магистрального газопровода в Excel разными методами приводятся в лабораторных работах № 7...9.

В настоящей лабораторной работе рассмотрим построение модели восстановления работы трубопровода на примере результатов наблюдения в течение первых четырех лет за магистральным газопроводом



Окончание табл. 2.2

1	2	3
Вариант № 18		
1	0–15	16
2	15–30	22
3	30–45	25
4	45–60	17
5	40–50	21
6	60–75	16
7	75–90	17
8	90–105	19
9	105–120	19
Вариант № 19		
1	0–15	17
2	15–30	23
3	30–45	26
4	45–60	18
5	40–50	22
6	60–75	17
7	75–90	18
8	90–105	20
9	105–120	20
Вариант № 20		
1	0–15	18
2	15–30	24
3	30–45	27
4	45–60	19
5	40–50	23
6	60–75	18
7	75–90	19
8	90–105	21
9	105–120	21



Лабораторная работа № 3

Выдвижение гипотезы

о модели надежности газоперекачивающего агрегата

Постановка задачи

Имеются статистические данные о наработках между отказами, полученные на основе журнала аварийных остановок ГКС «Истье», за период наблюдения, равный 9,5 годам.

Обработанные данные по отказам сведены в табл. 2.3.

Для определения функции времени безотказной работы газоперекачивающих агрегатов на ГКС «Истье» в качестве случайной величины принято число отказов ГПА в интервале времени, заданном в сутках.

Определить:

1. Статистическую вероятность отказа ГПА на ГКС $PC(t)$ в интервале времени и записать её значение в 4-ю колонку табл. 2.3.
2. Статистическую вероятность безотказной работы ГПА на ГКС $PC_0(t)$ и записать её значение в 5-ю колонку табл. 2.3.
3. По данным 5-й колонки табл. 2.3, воспользовавшись любым графическим методом, построить кривые функции распределения времени безотказной работы ГПА.
4. По характеру кривой выдвинуть гипотезу о законе распределения времени безотказной работы ГПА.

Таблица 2.3

Варианты заданий для лабораторной работы № 3

№ п/п	Временной интервал работы ГПА, сутки	Эмпирическая частота отказов в интервале, шт.
1	2	3
Вариант № 1		
1	0–694	4
2	694–1388	1
3	1388–2082	4
4	2082–2776	3
5	2776–3479	1
Вариант № 2		
1	0–694	5
2	694–1388	2
3	1388–2082	5
4	2082–2776	4
5	2776–3479	2
Вариант № 3		
1	0–694	6

Окончание табл. 3.3

1	2	3	4	5	6	7	8
4	600–800	13	–	–	–	–	–
5	800–1000	11	–	–	–	–	–
6	1000–1200	13	–	–	–	–	–
7	1200–2200	9	–	–	–	–	–
8	2200–3200	11	–	–	–	–	–
Вариант № 17							
1	0–200	22	–	–	–	–	–
2	200–400	18	–	–	–	–	–
3	400–600	18	См.	лаб.	раб.	№ 1	№ 2
4	600–800	14	–	–	–	–	–
5	800–1000	12	–	–	–	–	–
6	1000–1200	14	–	–	–	–	–
7	1200–2200	10	–	–	–	–	–
8	2200–3200	12	–	–	–	–	–
Вариант № 18							
1	0–200	23	–	–	–	–	–
2	200–400	19	–	–	–	–	–
3	400–600	19	См.	лаб.	раб.	№ 1	№ 2
4	600–800	15	–	–	–	–	–
5	800–1000	13	–	–	–	–	–
6	1000–1200	15	–	–	–	–	–
7	1200–2200	11	–	–	–	–	–
8	2200–3200	13	–	–	–	–	–
Вариант № 19							
1	0–200	24	–	–	–	–	–
2	200–400	20	–	–	–	–	–
3	400–600	20	См.	лаб.	раб.	№ 1	№ 2
4	600–800	16	–	–	–	–	–
5	800–1000	14	–	–	–	–	–
6	1000–1200	16	–	–	–	–	–
7	1200–2200	12	–	–	–	–	–
8	2200–3200	14	–	–	–	–	–
Вариант № 20							
1	0–200	25	–	–	–	–	–
2	200–400	21	–	–	–	–	–
3	400–600	21	См.	лаб.	раб.	№ 1	№ 2
4	600–800	17	–	–	–	–	–
5	800–1000	15	–	–	–	–	–
6	1000–1200	17	–	–	–	–	–
7	1200–2200	13	–	–	–	–	–
8	2200–3200	15	–	–	–	–	–

Продолжение табл. 3.3

1	2	3	4	5	6	7	8
8	2200–3200	6	–	–	–	–	–
Вариант № 12							
1	0–200	17	–	–	–	–	–
2	200–400	13	–	–	–	–	–
3	400–600	13	См.	лаб.	раб.	№ 1	№ 2
4	600–800	9	–	–	–	–	–
5	800–1000	7	–	–	–	–	–
6	1000–1200	9	–	–	–	–	–
7	1200–2200	5	–	–	–	–	–
8	2200–3200	7	–	–	–	–	–
Вариант № 13							
1	0–200	18	–	–	–	–	–
2	200–400	14	–	–	–	–	–
3	400–600	14	См.	лаб.	раб.	№ 1	№ 2
4	600–800	10	–	–	–	–	–
5	800–1000	8	–	–	–	–	–
6	1000–1200	10	–	–	–	–	–
7	1200–2200	6	–	–	–	–	–
8	2200–3200	8	–	–	–	–	–
Вариант № 14							
1	0–200	19	–	–	–	–	–
2	200–400	15	–	–	–	–	–
3	400–600	15	См.	лаб.	раб.	№ 1	№ 2
4	600–800	11	–	–	–	–	–
5	800–1000	9	–	–	–	–	–
6	1000–1200	11	–	–	–	–	–
7	1200–2200	7	–	–	–	–	–
8	2200–3200	9	–	–	–	–	–
Вариант № 15							
1	0–200	20	–	–	–	–	–
2	200–400	16	–	–	–	–	–
3	400–600	16	См.	лаб.	раб.	№ 1	№ 2
4	600–800	12	–	–	–	–	–
5	800–1000	10	–	–	–	–	–
6	1000–1200	12	–	–	–	–	–
7	1200–2200	8	–	–	–	–	–
8	2200–3200	10	–	–	–	–	–
Вариант № 16							
1	0–200	21	–	–	–	–	–
2	200–400	17	–	–	–	–	–
3	400–600	17	См.	лаб.	раб.	№ 1	№ 2

Продолжение табл. 2.3

1	2	3
2	694–1388	3
3	1388–2082	6
4	2082–2776	5
5	2776–3479	3
Вариант № 4		
1	0–694	7
2	694–1388	4
3	1388–2082	7
4	2082–2776	6
5	2776–3479	4
Вариант № 5		
1	0–694	8
2	694–1388	5
3	1388–2082	8
4	2082–2776	7
5	2776–3479	5
Вариант № 6		
1	0–694	9
2	694–1388	6
3	1388–2082	9
4	2082–2776	8
5	2776–3479	5
Вариант № 7		
1	0–694	10
2	694–1388	7
3	1388–2082	10
4	2082–2776	9
5	2776–3479	6
Вариант № 8		
1	0–694	11
2	694–1388	8
3	1388–2082	11
4	2082–2776	10
5	2776–3479	7
Вариант № 9		
1	0–694	12
2	694–1388	9
3	1388–2082	12
4	2082–2776	11
5	2776–3479	8

Продолжение табл. 2.3

1	2	3
Вариант № 10		
1	0–694	13
2	694–1388	10
3	1388–2082	13
4	2082–2776	12
5	2776–3479	9
Вариант № 11		
1	0–694	14
2	694–1388	11
3	1388–2082	14
4	2082–2776	13
5	2776–3479	10
Вариант № 12		
1	0–694	15
2	694–1388	12
3	1388–2082	15
4	2082–2776	14
5	2776–3479	11
Вариант № 13		
1	0–694	16
2	694–1388	13
3	1388–2082	16
4	2082–2776	15
5	2776–3479	12
Вариант № 14		
1	0–694	17
2	694–1388	14
3	1388–2082	17
4	2082–2776	16
5	2776–3479	13
Вариант № 15		
1	0–694	18
2	694–1388	15
3	1388–2082	18
4	2082–2776	17
5	2776–3479	14
Вариант № 16		
1	0–694	19
2	694–1388	16

Продолжение табл. 3.3

1	2	3	4	5	6	7	8
3	200–300	13	См.	лаб.	раб.	№ 1	№ 2
4	300–400	11	–	–	–	–	–
5	400–500	10	–	–	–	–	–
6	500–600	11	–	–	–	–	–
7	600–1100	9	–	–	–	–	–
8	1100–1600	10	–	–	–	–	–
Вариант № 8							
1	0–100	16	–	–	–	–	–
2	100–200	14	–	–	–	–	–
3	200–300	14	См.	лаб.	раб.	№ 1	№ 2
4	300–400	12	–	–	–	–	–
5	400–500	11	–	–	–	–	–
6	500–600	12	–	–	–	–	–
7	600–1100	10	–	–	–	–	–
8	1100–1600	11	–	–	–	–	–
Вариант № 9							
1	0–100	17	–	–	–	–	–
2	100–200	15	–	–	–	–	–
3	200–300	15	См.	лаб.	раб.	№ 1	№ 2
4	300–400	13	–	–	–	–	–
5	400–500	12	–	–	–	–	–
6	500–600	13	–	–	–	–	–
7	600–1100	11	–	–	–	–	–
8	1100–1600	12	–	–	–	–	–
Вариант № 10							
1	0–100	18	–	–	–	–	–
2	100–200	16	–	–	–	–	–
3	200–300	16	См.	лаб.	раб.	№ 1	№ 2
4	300–400	14	–	–	–	–	–
5	400–500	13	–	–	–	–	–
6	500–600	14	–	–	–	–	–
7	600–1100	12	–	–	–	–	–
8	1100–1600	13	–	–	–	–	–
Вариант № 11							
1	0–200	16	–	–	–	–	–
2	200–400	12	–	–	–	–	–
3	400–600	12	См.	лаб.	раб.	№ 1	№ 2
4	600–800	8	–	–	–	–	–
5	800–1000	6	–	–	–	–	–
6	1000–1200	8	–	–	–	–	–
7	1200–2200	4	–	–	–	–	–

Продолжение табл. 3.3

1	2	3	4	5	6	7	8
7	600–1100	4	–	–	–	–	–
8	1100–1600	5	–	–	–	–	–
Вариант № 3							
1	0–100	11	–	–	–	–	–
2	100–200	9	–	–	–	–	–
3	200–300	9	См.	лаб.	раб.	№ 1	№ 2
4	300–400	7	–	–	–	–	–
5	400–500	6	–	–	–	–	–
6	500–600	7	–	–	–	–	–
7	600–1100	5	–	–	–	–	–
8	1100–1600	6	–	–	–	–	–
Вариант № 4							
1	0–100	12	–	–	–	–	–
2	100–200	10	–	–	–	–	–
3	200–300	10	См.	лаб.	раб.	№ 1	№ 2
4	300–400	8	–	–	–	–	–
5	400–500	7	–	–	–	–	–
6	500–600	8	–	–	–	–	–
7	600–1100	6	–	–	–	–	–
8	1100–1600	7	–	–	–	–	–
Вариант № 5							
1	0–100	13	–	–	–	–	–
2	100–200	11	–	–	–	–	–
3	200–300	11	См.	лаб.	раб.	№ 1	№ 2
4	300–400	9	–	–	–	–	–
5	400–500	8	–	–	–	–	–
6	500–600	9	–	–	–	–	–
7	600–1100	7	–	–	–	–	–
8	1100–1600	8	–	–	–	–	–
Вариант № 6							
1	0–100	14	–	–	–	–	–
2	100–200	12	–	–	–	–	–
3	200–300	12	См.	лаб.	раб.	№ 1	№ 2
4	300–400	10	–	–	–	–	–
5	400–500	9	–	–	–	–	–
6	500–600	10	–	–	–	–	–
7	600–1100	8	–	–	–	–	–
8	1100–1600	9	–	–	–	–	–
Вариант № 7							
1	0–100	15	–	–	–	–	–
2	100–200	13	–	–	–	–	–

Окончание табл. 2.3

1	2	3
3	1388–2082	19
4	2082–2776	18
5	2776–3479	15
Вариант № 17		
1	0–694	20
2	694–1388	17
3	1388–2082	20
4	2082–2776	19
5	2776–3479	16
Вариант № 18		
1	0–694	21
2	694–1388	18
3	1388–2082	21
4	2082–2776	20
5	2776–3479	17
Вариант № 19		
1	0–694	22
2	694–1388	19
3	1388–2082	22
4	2082–2776	21
5	2776–3479	18
Вариант № 20		
1	0–694	23
2	694–1388	20
3	1388–2082	23
4	2082–2776	22
5	2776–3479	19



Лабораторная работа № 4

Выдвижение гипотезы о законе распределения отказов линейной части нефтепродуктопровода вследствие продольных разрушений

Постановка задачи

Одним из существенных факторов, влияющих на возникновение продольных разрушений нефтепродуктопроводов, является возникновение сквозных трещин линейных размеров.

Если определить аналитическую зависимость между длиной (линейным размером) сквозной трещины и возникновением разрыва нефтепродуктопровода, то получим статистическую модель отказов вследствие возникновения продольных разрушений по причине сквозных линейных трещин. Статистическая модель строится на основе совокупности продольных разрушений (на базе статистики).

Результаты обработки статистических данных возникновения продольных разрушений в зависимости от длины сквозных трещин в нефтепродуктопроводе приведены в табл. 2.4, в которой используются следующие обозначения:

- L – интервал группировки по длинам сквозных трещин нефтепродуктопроводов [м];
- n_i – количество продольных разрушений нефтепродуктопроводов (эмпирическая частота).

Определить:

1. Статистическую вероятность отказа $PC(L)$ в интервале группировки по длинам сквозных трещин нефтепродуктопроводов и записать её значение в 4-ю колонку табл. 2.4.
2. По данным 4-й колонки табл. 2.4, воспользовавшись любым графическим методом, построить кривые функции распределения отказа $PC(L)$ в интервале группировки по длинам сквозных трещин нефтепродуктопроводов.
3. По характеру кривой выдвинуть гипотезу о законе распределения отказа в интервале группировки по длинам сквозных трещин нефтепродуктопроводов.

Таблица 2.4

Варианты заданий для лабораторной работы № 4

№ п/п	Интервал группировки по длинам сквозных трещин нефтепродуктопроводов, L, м	Эмпирическая частота отказов в интервале, n_i , шт.
1	2	3
Вариант № 1		
1	0–0,4	27

Для определения параметра λ_5 и коэффициента C_3 опять воспользуйтесь уравнением экспоненциальной регрессии, реализуемой в Excel функцией рабочего листа ЛГРФПРИБЛ.

5. Получите второй массив статистики размерностью 5 на 2 для соответствующего распределения вероятности и сделайте вывод об адекватности действительности принятой модели действительности на базе анализа коэффициента детерминации.
6. На основе полученных значений λ_5 и C_3 подсчитайте значение теоретической вероятности безотказной работы газопровода $P_5T_0(t)$ и запишите их в 10-ю колонку табл. 3.3 для последующего анализа полученных моделей вероятностей.
7. Построить три графика на одном чертеже Excel: статистическое распределение вероятностей безотказной работы газопровода $PC_0(t)$, теоретические распределения вероятностей безотказной работы $P_4T_0(t)$, полученное по экспоненциальному распределению без коэффициента (по закону 4) и $P_5T_0(t)$ – с коэффициентом (по закону 5).

Варианты заданий приводятся в табл. 3.3.

Таблица 3.3

Варианты заданий для лабораторной работы № 9

№ п/п	Интервал работы газопровода, сутки	Эмпирическая частота отказов в интервале, шт.	$PC(t)$	$PC_0(t)$	$P_1T_0(t)$ (закон 1)	$P_2T_0(t)$ (закон 2)	$P_3T_0(t)$ (закон 3)
1	2	3	4	5	6	7	8
Вариант № 1							
1	0–100	9	–	–	–	–	–
2	100–200	7	–	–	–	–	–
3	200–300	7	См.	лаб.	раб.	№ 1	№ 2
4	300–400	5	–	–	–	–	–
5	400–500	4	–	–	–	–	–
6	500–600	5	–	–	–	–	–
7	600–1100	3	–	–	–	–	–
8	1100–1600	4	–	–	–	–	–
Вариант № 2							
1	0–100	10	–	–	–	–	–
2	100–200	8	–	–	–	–	–
3	200–300	8	См.	лаб.	раб.	№ 1	№ 2
4	300–400	6	–	–	–	–	–
5	400–500	5	–	–	–	–	–
6	500–600	6	–	–	–	–	–

В табл. 3.3 используются следующие обозначения:

- $PC(t)$ – статистическое распределение вероятностей отказа в интервале времени;
- $PC_0(t)$ – статистическое распределение вероятностей безотказной работы;
- $P_1T_0(t)$ – теоретическое распределение вероятностей безотказной работы, полученное *методом наименьших квадратов (закон № 1 – экспоненциальное распределение без коэффициента)*;
- $P_2T_0(t)$ – теоретическое распределение вероятностей безотказной работы, полученное *методом наименьших квадратов (закон 2 – экспоненциальное распределение с коэффициентом)*;
- $P_3T_0(t)$ – теоретическое распределение вероятностей безотказной работы, полученное *методом построения линий тренда (закон 3)*.

Для определения вида функции распределения времени безотказной работы магистрального газопровода в качестве случайной величины принято число отказов газопровода в календарном интервале времени.

Определить:

1. Интенсивность потока отказов, выдвинув гипотезу об *экспоненциальном законе* распределения времени безотказной работы газопровода, имеющем следующий вид (закон 4 – экспоненциальное распределение без коэффициента):

$$P_4T_0(t) = e^{-\lambda_4 t} \tag{3.4}$$

Для определения параметра λ_4 воспользуйтесь уравнением *экспоненциальной регрессии*, реализуемой в Excel функцией рабочего листа ЛГРФПРИБЛ.

2. Получите массив статистики размерностью 5 на 2 для данного распределения вероятности и сделайте вывод об адекватности действительности принятой модели действительности на базе анализа коэффициента детерминации. Для получения массива статистических данных не забудьте одновременно нажать три клавиши *Ctrl+Shift+Enter*.
3. На основе полученного значения λ_4 подсчитайте значение теоретической вероятности безотказной работы магистрального газопровода $P_4T_0(t)$ и запишите в 9-ю колонку табл. 3.3 для последующего анализа полученных моделей вероятностей.
4. Интенсивность потока отказов λ_5 и коэффициент C_3 , выдвинув гипотезу об *экспоненциальном законе* распределения с коэффициентом времени безотказной работы магистрального газопровода, имеющем следующий вид (закон № 5 – экспоненциальное распределение с коэффициентом):

$$P_5T_0(t) = C_3 e^{-\lambda_5 t} \tag{3.5}$$

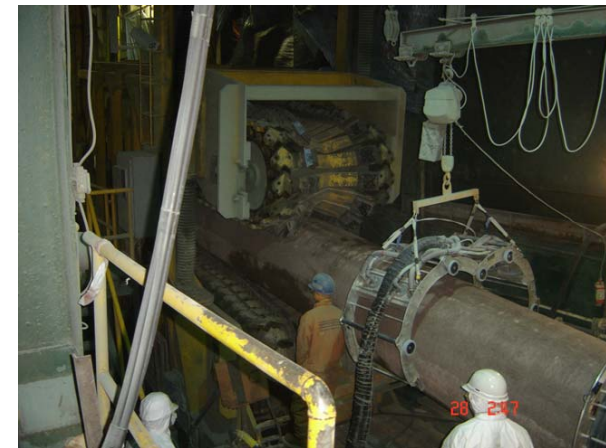
1	2	3
2	0,4–0,7	19
3	0,7–1,0	15
4	1,0–1,3	12
5	1,3–1,7	5
Вариант № 2		
1	0–0,4	28
2	0,4–0,7	19
3	0,7–1,0	15
4	1,0–1,3	12
5	1,3–1,7	5
Вариант № 3		
1	0–0,4	27
2	0,4–0,7	20
3	0,7–1,0	15
4	1,0–1,3	12
5	1,3–1,7	5
Вариант № 4		
1	0–0,4	27
2	0,4–0,7	19
3	0,7–1,0	16
4	1,0–1,3	12
5	1,3–1,7	5
Вариант № 5		
1	0–0,4	27
2	0,4–0,7	19
3	0,7–1,0	15
4	1,0–1,3	13
5	1,3–1,7	5
Вариант № 6		
1	0–0,4	27
2	0,4–0,7	19
3	0,7–1,0	15
4	1,0–1,3	12
5	1,3–1,7	6
Вариант № 7		
1	0–0,4	26
2	0,4–0,7	19
3	0,7–1,0	15
4	1,0–1,3	12
5	1,3–1,7	5

Продолжение табл. 2.4

1	2	3
Вариант № 8		
1	0–0,4	27
2	0,4–0,7	18
3	0,7–1,0	15
4	1,0–1,3	12
5	1,3–1,7	5
Вариант № 9		
1	0–0,4	27
2	0,4–0,7	19
3	0,7–1,0	14
4	1,0–1,3	12
5	1,3–1,7	5
Вариант № 10		
1	0–0,4	27
2	0,4–0,7	19
3	0,7–1,0	15
4	1,0–1,3	11
5	1,3–1,7	5
Вариант № 11		
1	0–0,4	27
2	0,4–0,7	19
3	0,7–1,0	15
4	1,0–1,3	12
5	1,3–1,7	4
Вариант № 12		
1	0–0,5	27
2	0,5–0,8	19
3	0,8–1,1	15
4	1,1–1,4	12
5	1,4–1,8	5
Вариант № 13		
1	0–0,3	27
2	0,3–0,6	19
3	0,6–0,9	15
4	0,9–1,3	12
5	1,2–1,6	5
Вариант № 14		
1	0–0,4	28
2	0,4–0,7	20

Окончание табл. 3.2

1	2	3	4	5	6	7
5	800–1000	14	–	–	–	–
6	1000–1200	16	–	–	–	–
7	1200–2200	12	–	–	–	–
8	2200–3200	14	–	–	–	–
Вариант № 20						
1	0–200	25	–	–	–	–
2	200–400	21	–	–	–	–
3	400–600	21	См.	лаб.	раб.	№ 1
4	600–800	17	–	–	–	–
5	800–1000	15	–	–	–	–
6	1000–1200	17	–	–	–	–
7	1200–2200	13	–	–	–	–
8	2200–3200	15	–	–	–	–



Лабораторная работа № 9

Метод экспоненциальной регрессии

Постановка задачи

Для оценки надёжности линейной части магистрального газопровода произведена статистическая обработка данных. Результаты обработки отказов на магистральном газопроводе, связанных с разрушением или появлением свища и подлежащих устранению с остановкой работы газопровода, приведены в табл. 3.3.

В колонках 4...8 табл. 3.3 записываются данные, полученные в результате выполнения лаб. раб. № 5 и № 6.

Продолжение табл. 3.2

1	2	3	4	5	6	7
Вариант № 15						
1	0–200	20	–	–	–	–
2	200–400	16	–	–	–	–
3	400–600	16	См.	лаб.	раб.	№ 1
4	600–800	12	–	–	–	–
5	800–1000	10	–	–	–	–
6	1000–1200	12	–	–	–	–
7	1200–2200	8	–	–	–	–
8	2200–3200	10	–	–	–	–
Вариант № 16						
1	0–200	21	–	–	–	–
2	200–400	17	–	–	–	–
3	400–600	17	См.	лаб.	раб.	№ 1
4	600–800	13	–	–	–	–
5	800–1000	11	–	–	–	–
6	1000–1200	13	–	–	–	–
7	1200–2200	9	–	–	–	–
8	2200–3200	11	–	–	–	–
Вариант № 17						
1	0–200	22	–	–	–	–
2	200–400	18	–	–	–	–
3	400–600	18	См.	лаб.	раб.	№ 1
4	600–800	14	–	–	–	–
5	800–1000	12	–	–	–	–
6	1000–1200	14	–	–	–	–
7	1200–2200	10	–	–	–	–
8	2200–3200	12	–	–	–	–
Вариант № 18						
1	0–200	23	–	–	–	–
2	200–400	19	–	–	–	–
3	400–600	19	См.	лаб.	раб.	№ 1
4	600–800	15	–	–	–	–
5	800–1000	13	–	–	–	–
6	1000–1200	15	–	–	–	–
7	1200–2200	11	–	–	–	–
8	2200–3200	13	–	–	–	–
Вариант № 19						
1	0–200	24	–	–	–	–
2	200–400	20	–	–	–	–
3	400–600	20	См.	лаб.	раб.	№ 1
4	600–800	16	–	–	–	–

Окончание табл. 2.4

1	2	3
3	0,7–1,0	16
4	1,0–1,3	13
5	1,3–1,7	6
Вариант № 15		
1	0–0,4	29
2	0,4–0,7	21
3	0,7–1,0	17
4	1,0–1,3	14
5	1,3–1,7	7
Вариант № 16		
1	0–0,5	26
2	0,5–0,8	19
3	0,8–1,1	15
4	1,1–1,4	12
5	1,4–1,6	5
Вариант № 17		
1	0–0,5	27
2	0,5–0,8	18
3	0,8–1,1	15
4	1,1–1,4	12
5	1,4–1,6	5
Вариант № 18		
1	0–0,5	27
2	0,5–0,8	19
3	0,8–1,1	14
4	1,1–1,4	12
5	1,4–1,6	5
Вариант № 19		
1	0–0,5	27
2	0,5–0,8	19
3	0,8–1,1	15
4	1,1–1,4	11
5	1,4–1,6	5
Вариант № 20		
1	0–0,5	27
2	0,5–0,8	19
3	0,8–1,1	15
4	1,1–1,4	12
5	1,4–1,6	4



Лабораторная работа № 5

Выдвижение гипотезы о законе распределения времени безотказной работы насосных агрегатов НПС

Постановка задачи

Имеются статистические данные о наработках между отказами насосных агрегатов нефтеперекачивающей станции за 1986–1987 гг. в часах, которые приводятся в виде ряда 1.1.

Определить:

- Провести обработку исходных статистических данных и построить вариационный ряд, сгруппировав его с одинаковой шириной интервала t .
- На основе полученного вариационного ряда, воспользовавшись любым графическим методом, построить кривые эмпирической функции распределения времени безотказной работы насосных агрегатов нефтеперекачивающей станции.
- По характеру кривой выдвинуть гипотезу о законе распределения времени безотказной работы насосных агрегатов нефтеперекачивающей станции.

Варианты заданий приводятся в табл. 2.5 в виде соответствующих статистических рядов 1.1.

Таблица 2.5

Варианты заданий для лабораторной работы № 5

Вариант № 1	
Статистический ряд 1.1	13; 14; 21; 23; 48; 60; 80; 84; 88; 109; 117; 122; 134; 145; 150; 156; 161; 169; 173; 177; 190; 193; 195; 201; 208; 238; 246; 289; 292; 313; 316; 349; 355; 356; 392; 400; 411; 474; 483; 538; 575; 578; 589; 601; 720; 731; 842; 867; 954; 968; 1172; 1253; 1279; 1384; 1396; 1462; 1589; 2214; 2321; 2548; 3100

Продолжение табл. 3.2

1	2	3	4	5	6	7
5	400–500	13	–	–	–	–
6	500–600	14	–	–	–	–
7	600–1100	12	–	–	–	–
8	1100–1600	13	–	–	–	–
Вариант № 11						
1	0–200	16	–	–	–	–
2	200–400	12	–	–	–	–
3	400–600	12	См.	лаб.	раб.	№ 1
4	600–800	8	–	–	–	–
5	800–1000	6	–	–	–	–
6	1000–1200	8	–	–	–	–
7	1200–2200	4	–	–	–	–
8	2200–3200	6	–	–	–	–
Вариант № 12						
1	0–200	17	–	–	–	–
2	200–400	13	–	–	–	–
3	400–600	13	См.	лаб.	раб.	№ 1
4	600–800	9	–	–	–	–
5	800–1000	7	–	–	–	–
6	1000–1200	9	–	–	–	–
7	1200–2200	5	–	–	–	–
8	2200–3200	7	–	–	–	–
Вариант № 13						
1	0–200	18	–	–	–	–
2	200–400	14	–	–	–	–
3	400–600	14	См.	лаб.	раб.	№ 1
4	600–800	10	–	–	–	–
5	800–1000	8	–	–	–	–
6	1000–1200	10	–	–	–	–
7	1200–2200	6	–	–	–	–
8	2200–3200	8	–	–	–	–
Вариант № 14						
1	0–200	19	–	–	–	–
2	200–400	15	–	–	–	–
3	400–600	15	См.	лаб.	раб.	№ 1
4	600–800	11	–	–	–	–
5	800–1000	9	–	–	–	–
6	1000–1200	11	–	–	–	–
7	1200–2200	7	–	–	–	–
8	2200–3200	9	–	–	–	–

Продолжение табл. 3.2

1	2	3	4	5	6	7
Вариант № 6						
1	0–100	14	–	–	–	–
2	100–200	12	–	–	–	–
3	200–300	12	См.	лаб.	раб.	№ 1
4	300–400	10	–	–	–	–
5	400–500	9	–	–	–	–
6	500–600	10	–	–	–	–
7	600–1100	8	–	–	–	–
8	1100–1600	9	–	–	–	–
Вариант № 7						
1	0–100	15	–	–	–	–
2	100–200	13	–	–	–	–
3	200–300	13	См.	лаб.	раб.	№ 1
4	300–400	11	–	–	–	–
5	400–500	10	–	–	–	–
6	500–600	11	–	–	–	–
7	600–1100	9	–	–	–	–
8	1100–1600	10	–	–	–	–
Вариант № 8						
1	0–100	16	–	–	–	–
2	100–200	14	–	–	–	–
3	200–300	14	См.	лаб.	раб.	№ 1
4	300–400	12	–	–	–	–
5	400–500	11	–	–	–	–
6	500–600	12	–	–	–	–
7	600–1100	10	–	–	–	–
8	1100–1600	11	–	–	–	–
Вариант № 9						
1	0–100	17	–	–	–	–
2	100–200	15	–	–	–	–
3	200–300	15	См.	лаб.	раб.	№ 1
4	300–400	13	–	–	–	–
5	400–500	12	–	–	–	–
6	500–600	13	–	–	–	–
7	600–1100	11	–	–	–	–
8	1100–1600	12	–	–	–	–
Вариант № 10						
1	0–100	18	–	–	–	–
2	100–200	16	–	–	–	–
3	200–300	16	См.	лаб.	раб.	№ 1
4	300–400	14	–	–	–	–

Продолжение табл. 2.5

Вариант № 2	
Статистический ряд 1.1	14; 15; 22; 24; 49; 61; 81; 85; 89; 110; 118; 123; 135; 146; 151; 157; 162; 170; 174; 178; 191; 194; 196; 201; 209; 239; 247; 290; 293; 314; 317; 350; 356; 357; 393; 401; 412; 475; 484; 539; 576; 579; 590; 602; 721; 732; 843; 868; 955; 960; 1173; 1254; 1280; 1385; 1397; 1463; 1590; 2215; 2322; 2549; 3101
Вариант № 3	
Статистический ряд 1.1	15; 16; 23; 25; 50; 62; 82; 86; 90; 111; 119; 124; 136; 147; 152; 158; 163; 171; 175; 179; 192; 195; 197; 202; 210; 240; 248; 291; 294; 315; 318; 351; 357; 358; 394; 402; 413; 476; 485; 540; 577; 580; 591; 603; 722; 733; 843; 869; 956; 961; 1174; 1255; 1281; 1386; 1398; 1464; 1591; 2216; 2323; 2550; 3102
Вариант № 4	
Статистический ряд 1.1	16; 17; 23; 26; 51; 63; 83; 87; 91; 112; 120; 125; 137; 148; 153; 159; 164; 172; 176; 180; 193; 196; 198; 203; 211; 241; 249; 292; 295; 316; 319; 352; 358; 359; 395; 403; 414; 477; 486; 541; 578; 581; 592; 604; 723; 734; 844; 870; 957; 962; 1175; 1256; 1282; 1387; 1399; 1465; 1592; 2217; 2324; 2551; 3103
Вариант № 5	
Статистический ряд 1.1	17; 18; 24; 27; 52; 64; 84; 88; 92; 113; 121; 126; 138; 149; 154; 160; 165; 173; 177; 181; 194; 197; 199; 204; 212; 242; 250; 293; 296; 317; 320; 353; 359; 360; 396; 404; 415; 478; 487; 542; 579; 582; 593; 605; 724; 735; 845; 871; 958; 963; 1176; 1257; 1283; 1388; 1400; 1466; 1593; 2218; 2325; 2552; 3104
Вариант № 6	
Статистический ряд 1.1	18; 19; 25; 28; 53; 65; 85; 89; 93; 114; 122; 127; 139; 150; 155; 161; 166; 174; 178; 182; 195; 198; 200; 205; 213; 243; 251; 294; 297; 318; 321; 354; 360; 361; 397; 405; 416; 479; 488; 543; 580; 583; 594; 606; 725; 736; 846; 872; 959; 964; 1177; 1258; 1284; 1389; 1401; 1467; 1594; 2219; 2326; 2553; 3105
Вариант № 7	
Статистический ряд 1.1	19; 20; 26; 29; 54; 66; 86; 90; 94; 115; 123; 128; 140; 151; 156; 162; 167; 175; 179; 183; 196; 199; 201; 206; 214; 244; 252; 295; 298; 319; 322; 355; 361; 362; 398; 406; 417; 480; 489; 544; 581; 584; 595; 607; 726; 737; 847; 873; 960; 965; 1178; 1259; 1285; 1390; 1402; 1468; 1595; 2220; 2327; 2554; 3106

Продолжение табл. 2.5

Вариант № 8	
Статистический ряд 1.1	20; 21; 27; 30; 55; 67; 87; 91; 95; 116; 124; 129; 141; 152; 157; 163; 168; 176; 180; 184; 197; 200; 202; 207; 215; 245; 253; 296; 299; 320; 323; 356; 362; 363; 399; 407; 418; 481; 490; 545; 582; 585; 596; 608; 727; 738; 848; 874; 961; 966; 1179; 1260; 1286; 1391; 1403; 1469; 1596; 2221; 2328; 2555; 3107
Вариант № 9	
Статистический ряд 1.1	21; 22; 28; 31; 56; 68; 88; 92; 96; 117; 125; 130; 142; 153; 158; 164; 169; 177; 181; 185; 198; 201; 203; 208; 216; 246; 254; 297; 300; 321; 324; 357; 363; 364; 400; 408; 419; 482; 491; 546; 583; 586; 597; 609; 728; 739; 849; 875; 962; 967; 1180; 1261; 1287; 1392; 1404; 1470; 1597; 2222; 2329; 2556; 3108
Вариант № 10	
Статистический ряд 1.1	22; 23; 29; 32; 57; 69; 89; 93; 97; 118; 126; 131; 143; 154; 159; 165; 170; 178; 182; 186; 199; 202; 204; 209; 217; 247; 255; 298; 301; 322; 325; 358; 364; 365; 401; 409; 420; 483; 492; 547; 584; 587; 598; 610; 729; 740; 850; 876; 963; 968; 1181; 1262; 1288; 1393; 1405; 1471; 1598; 2223; 2330; 2557; 3109
Вариант № 11	
Статистический ряд 1.1	23; 24; 30; 33; 58; 70; 90; 94; 98; 119; 127; 132; 144; 155; 160; 166; 171; 179; 183; 187; 200; 203; 205; 210; 218; 248; 256; 299; 302; 323; 326; 359; 365; 366; 402; 410; 421; 484; 493; 548; 585; 588; 599; 611; 730; 741; 851; 877; 964; 969; 1182; 1263; 1289; 1394; 1406; 1472; 1599; 2224; 2331; 2558; 3110
Вариант № 12	
Статистический ряд 1.1	24; 25; 31; 34; 59; 71; 91; 95; 99; 120; 128; 133; 145; 156; 161; 167; 172; 180; 184; 188; 201; 204; 206; 211; 219; 249; 257; 300; 303; 324; 327; 360; 366; 367; 403; 411; 422; 485; 494; 549; 586; 589; 600; 612; 731; 742; 852; 878; 965; 970; 1183; 1264; 1290; 1395; 1407; 1473; 1600; 2225; 2332; 2559; 3111
Вариант № 13	
Статистический ряд 1.1	25; 26; 31; 35; 60; 72; 92; 96; 100; 121; 129; 134; 146; 157; 162; 168; 173; 181; 185; 189; 202; 205; 207; 212; 220; 250; 258; 301; 304; 325; 328; 361; 367; 368; 404; 412; 423; 486; 495; 550; 587; 590; 601; 613; 732; 743; 853; 879; 966; 971; 1184; 1265; 1291; 1396; 1408; 1474; 1601; 2226; 2333; 2560; 3112
Вариант № 14	
Статистический ряд 1.1	26; 27; 32; 36; 61; 73; 93; 97; 101; 122; 130; 135; 147; 158; 163; 169; 174; 182; 186; 190; 203; 206; 208; 213; 221; 251; 259; 302; 305; 326; 329; 362; 368; 369; 405; 413; 424; 487; 496; 551; 588; 591; 602; 614; 733; 744; 854; 880; 967; 972; 1185; 1266; 1292; 1397; 1409; 1475; 1602; 2227; 2334; 2561; 3113

Продолжение табл. 3.2

1	2	3	4	5	6	7
4	300–400	5	–	–	–	–
5	400–500	4	–	–	–	–
6	500–600	5	–	–	–	–
7	600–1100	3	–	–	–	–
8	1100–1600	4	–	–	–	–
Вариант № 2						
1	0–100	10	–	–	–	–
2	100–200	8	–	–	–	–
3	200–300	8	См.	лаб.	раб.	№ 1
4	300–400	6	–	–	–	–
5	400–500	5	–	–	–	–
6	500–600	6	–	–	–	–
7	600–1100	4	–	–	–	–
8	1100–1600	5	–	–	–	–
Вариант № 3						
1	0–100	9	–	–	–	–
2	100–200	7	–	–	–	–
3	200–300	7	См.	лаб.	раб.	№ 1
4	300–400	5	–	–	–	–
5	400–500	4	–	–	–	–
6	500–600	5	–	–	–	–
7	600–1100	3	–	–	–	–
8	1100–1600	4	–	–	–	–
Вариант № 4						
1	0–100	12	–	–	–	–
2	100–200	10	–	–	–	–
3	200–300	10	См.	лаб.	раб.	№ 1
4	300–400	8	–	–	–	–
5	400–500	7	–	–	–	–
6	500–600	8	–	–	–	–
7	600–1100	6	–	–	–	–
8	1100–1600	7	–	–	–	–
Вариант № 5						
1	0–100	13	–	–	–	–
2	100–200	11	–	–	–	–
3	200–300	11	См.	лаб.	раб.	№ 1
4	300–400	9	–	–	–	–
5	400–500	8	–	–	–	–
6	500–600	9	–	–	–	–
7	600–1100	7	–	–	–	–
8	1100–1600	8	–	–	–	–

- $PC_0(t)$ – статистическое распределение вероятностей безотказной работы;
- $P_1T_0(t)$ – теоретическое распределение вероятностей безотказной работы, полученное *методом наименьших квадратов (закон 1)*;
- $P_2T_0(t)$ – теоретическое распределение вероятностей безотказной работы, полученное *методом наименьших квадратов (закон 2)*.

Для определения вида функции распределения времени безотказной работы магистрального газопровода в качестве случайной величины принято число отказов газопровода в календарном интервале времени.

Определить:

1. Экспоненциальный закон распределения времени безотказной работы газопровода с помощью *построения линий тренда* в Excel. Для этой цели предварительно необходимо рассчитать статистическую вероятность отказа $PC(t)$ в интервале времени и статистическую вероятность безотказной работы линейной части газопровода $PC_0(t)$ (см. лаб. раб. № 5).
2. Интенсивность потока отказов λ_3 и коэффициент C_2 , полученные из экспоненциального закона *уравнений линий тренда (закон 3 распределения вероятности)*:

$$P_3T_0(t) = C_2 e^{-\lambda_3 t} \quad (3.3)$$
3. Сделайте вывод об адекватности действительности полученной экспоненциальной модели 3 на основе анализа значения коэффициента детерминации.
4. На основе полученного значения λ_3 и коэффициента C_2 подсчитайте значение теоретической вероятности безотказной работы газопровода $P_3T_0(t)$ и запишите в 8-ю колонку табл. 3.2 для последующего анализа полученных моделей вероятностей.

Варианты заданий приводятся в табл. 3.2.

Таблица 3.2

Варианты заданий для лабораторной работы № 8

№ п/п	Интервал работы газопровода, сутки	Эмпирическая частота отказов в интервале, шт.	$PC(t)$	$PC_0(t)$	$P_1T_0(t)$ (закон 1)	$P_2T_0(t)$ (закон 2)
1	2	3	4	5	6	7
Вариант № 1						
1	0–100	9	–	–	–	–
2	100–200	7	–	–	–	–
3	200–300	7	См.	лаб.	раб.	№ 1
4	300–400	5	–	–	–	–

Вариант № 15	
Статистический ряд 1.1	27; 28; 33; 37; 62; 74; 94; 98; 102; 123; 131; 136; 148; 159; 164; 170; 175; 183; 187; 191; 204; 207; 209; 214; 222; 252; 260; 303; 306; 327; 330; 363; 369; 370; 406; 414; 425; 488; 497; 552; 589; 592; 603; 615; 734; 745; 855; 881; 968; 973; 1186; 1267; 1293; 1398; 1410; 1476; 1603; 2228; 2335; 2562; 3114
Вариант № 16	
Статистический ряд 1.1	28; 29; 34; 38; 63; 75; 95; 99; 103; 124; 132; 137; 149; 160; 165; 171; 176; 184; 188; 192; 205; 208; 210; 215; 223; 253; 261; 304; 307; 328; 331; 364; 370; 371; 407; 415; 426; 489; 498; 553; 590; 593; 604; 616; 735; 746; 856; 882; 969; 974; 1187; 1268; 1294; 1399; 1411; 1477; 1604; 2229; 2336; 2563; 3115
Вариант № 17	
Статистический ряд 1.1	29; 30; 35; 39; 64; 76; 96; 100; 104; 125; 133; 138; 150; 161; 166; 172; 177; 185; 189; 193; 206; 209; 211; 216; 224; 254; 262; 305; 308; 329; 332; 365; 371; 372; 408; 416; 427; 490; 499; 554; 591; 594; 605; 617; 736; 747; 857; 883; 970; 975; 1188; 1269; 1295; 1400; 1412; 1478; 1605; 2230; 2337; 2564; 3116
Вариант № 18	
Статистический ряд 1.1	30; 31; 36; 40; 65; 77; 97; 101; 105; 126; 134; 139; 151; 162; 167; 173; 178; 186; 190; 194; 207; 210; 212; 217; 225; 255; 263; 306; 309; 330; 333; 366; 372; 373; 409; 417; 428; 491; 500; 555; 592; 595; 606; 618; 737; 748; 858; 884; 971; 976; 1189; 1270; 1296; 1401; 1413; 1479; 1606; 2231; 2338; 2565; 3117
Вариант № 19	
Статистический ряд 1.1	31; 32; 37; 41; 66; 78; 98; 102; 106; 127; 135; 140; 152; 163; 168; 174; 179; 187; 191; 195; 208; 211; 213; 218; 226; 256; 264; 307; 310; 331; 334; 367; 373; 374; 410; 418; 429; 492; 501; 556; 593; 596; 607; 619; 738; 749; 859; 885; 972; 977; 1190; 1271; 1297; 1402; 1414; 1480; 1607; 2232; 2339; 2566; 3118
Вариант № 20	
Статистический ряд 1.1	32; 33; 38; 42; 67; 79; 99; 103; 107; 128; 136; 141; 153; 164; 169; 175; 180; 188; 192; 195; 209; 212; 214; 219; 227; 257; 265; 308; 311; 332; 335; 368; 374; 375; 411; 419; 430; 493; 502; 557; 594; 597; 608; 620; 739; 750; 860; 886; 973; 978; 1191; 1272; 1298; 1403; 1415; 1481; 1608; 2233; 2340; 2567; 3119

Окончание табл. 3.1

1	2	3
5	800–1000	14
6	1000–1200	16
7	1200–2200	12
8	2200–3200	14
Вариант № 20		
1	0–200	25
2	200–400	21
3	400–600	21
4	600–800	17
5	800–1000	15
6	1000–1200	17
7	1200–2200	13
8	2200–3200	15



Лабораторная работа № 6

Выдвижение гипотезы о законе распределения времени безотказной работы магистральных насосов

Постановка задачи

В результате наблюдения за работой магистральных насосов магистрального нефтепровода в 1986–1987 гг. было получено 96 значений наработок между отказами в часах. Собранные статистические данные наработок между отказами представляются по возрастанию в виде ряда 1.2.

Определить:

- Провести обработку исходных статистических данных и на их основе, воспользовавшись любым графическим методом, построить кривые эмпирической функции распределения времени безотказной работы магистральных насосов.
- По характеру кривой выдвинуть гипотезу о законе распределения времени безотказной работы магистральных насосов магистрального нефтепровода.

Варианты заданий приводятся в табл. 2.6 в виде соответствующих статистических рядов 1.2.



Лабораторная работа № 8

Графический метод-построение линий тренда

Постановка задачи

Для оценки надёжности линейной части магистрального газопровода произведена статистическая обработка данных. Результаты обработки отказов на газопроводе, связанных с разрушением или появлением свища и подлежащих устранению с остановкой работы газопровода, приведены в табл. 3.2. В колонках 4...7 табл. 3.2 записываются данные, полученные в результате выполнения лаб. раб. № 5.

В табл. 3.2 используются следующие обозначения:

- **РС(t)** – статистическое распределение вероятностей отказа в интервале времени;

Продолжение табл. 3.1

1	2	3
Вариант № 15		
1	0–200	20
2	200–400	16
3	400–600	16
4	600–800	12
5	800–1000	10
6	1000–1200	12
7	1200–2200	8
8	2200–3200	10
Вариант № 16		
1	0–200	21
2	200–400	17
3	400–600	17
4	600–800	13
5	800–1000	11
6	1000–1200	13
7	1200–2200	9
8	2200–3200	11
Вариант № 17		
1	0–200	22
2	200–400	18
3	400–600	18
4	600–800	14
5	800–1000	12
6	1000–1200	14
7	1200–2200	10
8	2200–3200	12
Вариант № 18		
1	0–200	23
2	200–400	19
3	400–600	19
4	600–800	15
5	800–1000	13
6	1000–1200	15
7	1200–2200	11
8	2200–3200	13
Вариант № 19		
1	0–200	24
2	200–400	20
3	400–600	20
4	600–800	16

Таблица 2.6

Варианты заданий

Вариант № 1	
Статистический ряд 1.2	12; 14; 21; 23; 48; 60; 67; 75; 80; 83; 86; 93; 109; 115; 135; 139; 145; 148; 150; 160; 205; 208; 229; 238; 246; 254; 273; 292; 321; 349; 356; 381; 383; 385; 408; 424; 534; 578; 601; 644; 720; 770; 810; 848; 853; 855; 868; 906; 911; 912; 946; 954; 957; 976; 1060; 1069; 1086; 1092; 1108; 1152; 1166; 1172; 1186; 1194; 1384; 1392; 1397; 1499; 1589; 1631; 1656; 1884; 1901; 1942; 2214; 2269; 2341; 2503; 2548; 2562; 2580; 2637; 2653; 2802; 3026; 3269; 3276; 3604; 3937; 4327; 4494; 4520; 4608; 4630; 4663; 4685
Вариант № 2	
Статистический ряд 1.2	13; 15; 22; 24; 49; 61; 68; 76; 81; 84; 87; 94; 110; 116; 136; 140; 146; 149; 151; 161; 206; 209; 230; 239; 247; 255; 274; 293; 322; 350; 357; 382; 384; 386; 409; 425; 535; 579; 602; 645; 721; 771; 811; 849; 854; 856; 869; 907; 912; 913; 947; 955; 958; 977; 1061; 1070; 1087; 1093; 1109; 1153; 1167; 1173; 1187; 1195; 1385; 1393; 1398; 1500; 1590; 1632; 1657; 1885; 1902; 1943; 2215; 2270; 2342; 2504; 2549; 2563; 2581; 2638; 2654; 2803; 3027; 3270; 3277; 3605; 3938; 4328; 4495; 4521; 4609; 4631; 4664; 4686
Вариант № 3	
Статистический ряд 1.2	14; 16; 23; 25; 50; 62; 69; 77; 82; 85; 88; 95; 111; 117; 137; 141; 147; 150; 152; 162; 207; 210; 231; 240; 248; 256; 275; 295; 323; 351; 358; 383; 385; 387; 410; 426; 536; 580; 603; 646; 722; 772; 812; 850; 855; 857; 870; 908; 913; 914; 948; 956; 959; 978; 1062; 1071; 1088; 1094; 1110; 1154; 1168; 1174; 1188; 1196; 1386; 1394; 1399; 1501; 1591; 1633; 1658; 1886; 1903; 1944; 2216; 2271; 2343; 2505; 2550; 2564; 2582; 2639; 2655; 2804; 3028; 3271; 3278; 3606; 3939; 4329; 4496; 4522; 4610; 4632; 4665; 4687
Вариант № 4	
Статистический ряд 1.2	15; 17; 24; 26; 51; 63; 70; 78; 83; 86; 89; 96; 112; 118; 138; 142; 148; 151; 153; 163; 208; 211; 232; 241; 249; 257; 276; 296; 324; 352; 359; 384; 386; 388; 411; 427; 537; 581; 604; 647; 723; 773; 813; 851; 856; 858; 871; 909; 914; 915; 949; 957; 960; 979; 1063; 1072; 1089; 1095; 1111; 1155; 1169; 1175; 1189; 1197; 1387; 1395; 1400; 1502; 1592; 1634; 1659; 1887; 1904; 1945; 2217; 2272; 2344; 2506; 2551; 2565; 2583; 2640; 2656; 2805; 3029; 3272; 3279; 3607; 3940; 4330; 4497; 4523; 4611; 4633; 4666; 4688

Продолжение табл. 2.6

Вариант № 5	
Статистический ряд 1.2	16; 18; 25; 27; 52; 64; 71; 79; 84; 87; 90; 97; 113; 119; 139; 143; 149; 152; 154; 164; 209; 212; 233; 242; 250; 258; 277; 297; 325; 353; 360; 385; 387; 389; 412; 428; 538; 582; 605; 648; 724; 774; 814; 852; 857; 859; 872; 910; 915; 916; 950; 958; 961; 980; 1064; 1073; 1090; 1096; 1112; 1156; 1170; 1176; 1190; 1198; 1388; 1396; 1401; 1503 1593; 1635; 1660; 1888; 1905; 1946; 2218; 2273; 2345; 2507; 2552; 2566; 2584; 2641; 2657; 2806; 3030; 3273; 3280; 3608; 3941; 4331; 4498; 4524; 4612; 4634; 4667; 4689
Вариант № 6	
Статистический ряд 1.2	17; 19; 26; 28; 53; 65; 72; 80; 85; 88; 91; 98; 114; 120; 140; 144; 150; 153; 155; 165; 210; 213; 234; 243; 251; 259; 278; 298; 326; 354; 361; 386; 388; 390; 413; 429; 539; 583; 606; 649; 725; 775; 815; 853; 858; 860; 873; 911; 916; 917; 951; 959; 962; 981; 1065; 1074; 1091; 1097; 1113; 1157; 1171; 1177; 1191; 1199; 1389; 1397; 1402; 1504 1594; 1636; 1661; 1889; 1906; 1947; 2219; 2274; 2346; 2508; 2553; 2567; 2585; 2642; 2658; 2807; 3031; 3274; 3281; 3609; 3942; 4332; 4499; 4525; 4613; 4635; 4668; 4690
Вариант № 7	
Статистический ряд 1.2	18; 20; 27; 29; 54; 66; 73; 81; 86; 89; 92; 99; 115; 121; 141; 145; 151; 154; 156; 166; 211; 214; 235; 244; 252; 260; 279; 299; 327; 355; 362; 387; 389; 391; 414; 430; 540; 584; 607; 650; 726; 776; 816; 854; 859; 861; 874; 912; 917; 918; 952; 960; 963; 982; 1066; 1075; 1092; 1098; 1114; 1158; 1172; 1178; 1192; 1200; 1390; 1398; 1403; 1505 1595; 1637; 1662; 1890; 1907; 1948; 2220; 2275; 2347; 2509; 2554; 2568; 2586; 2643; 2659; 2808; 3032; 3275; 3282; 3610; 3943; 4333; 4500; 4526; 4614; 4636; 4669; 4691
Вариант № 8	
Статистический ряд 1.2	19; 21; 28; 30; 55; 67; 74; 82; 87; 90; 93; 100; 116; 122; 142; 146; 152; 155; 157; 167; 212; 215; 236; 245; 253; 261; 280; 300; 328; 356; 363; 388; 390; 392; 415; 431; 541; 585; 608; 651; 727; 777; 817; 855; 860; 862; 875; 913; 918; 919; 953; 961; 964; 983; 1067; 1076; 1093; 1099; 1115; 1159; 1173; 1179; 1193; 1201; 1391; 1399; 1404; 1506 1596; 1638; 1663; 1891; 1908; 1949; 2221; 2276; 2348; 2510; 2555; 2569; 2587; 2644; 2660; 2809; 3033; 3276; 3283; 3611; 3944; 4334; 4501; 4527; 4615; 4637; 4670; 4692

Продолжение табл. 3.1

1	2	3
5	400–500	13
6	500–600	14
7	600–1100	12
8	1100–1600	13
Вариант № 11		
1	0–200	16
2	200–400	12
3	400–600	12
4	600–800	8
5	800–1000	6
6	1000–1200	8
7	1200–2200	4
8	2200–3200	6
Вариант № 12		
1	0–200	17
2	200–400	13
3	400–600	13
4	600–800	9
5	800–1000	7
6	1000–1200	9
7	1200–2200	5
8	2200–3200	7
Вариант № 13		
1	0–200	18
2	200–400	14
3	400–600	14
4	600–800	10
5	800–1000	8
6	1000–1200	10
7	1200–2200	6
8	2200–3200	8
Вариант № 14		
1	0–200	19
2	200–400	15
3	400–600	15
4	600–800	11
5	800–1000	9
6	1000–1200	11
7	1200–2200	7
8	2200–3200	9

Продолжение табл. 3.1

1	2	3
Вариант № 6		
1	0–100	14
2	100–200	12
3	200–300	12
4	300–400	10
5	400–500	9
6	500–600	10
7	600–1100	8
8	1100–1600	9
Вариант № 7		
1	0–100	15
2	100–200	13
3	200–300	13
4	300–400	11
5	400–500	10
6	500–600	11
7	600–1100	9
8	1100–1600	10
Вариант № 8		
1	0–100	16
2	100–200	14
3	200–300	14
4	300–400	12
5	400–500	11
6	500–600	12
7	600–1100	10
8	1100–1600	11
Вариант № 9		
1	0–100	17
2	100–200	15
3	200–300	15
4	300–400	13
5	400–500	12
6	500–600	13
7	600–1100	11
8	1100–1600	12
Вариант № 10		
1	0–100	18
2	100–200	16
3	200–300	16
4	300–400	14

Продолжение табл. 2.6

Вариант № 9	
Статистический ряд 1.2	20; 22; 29; 31; 56; 68; 75; 83; 88; 91; 94; 101; 117; 123; 143; 147; 153; 156; 158; 168; 213; 216; 237; 246; 254; 262; 281; 301; 329; 357; 364; 389; 391; 393; 416; 432; 542; 586; 609; 652; 728; 778; 818; 856; 861; 863; 876; 914; 919; 920; 954; 962; 965; 984; 1068; 1077; 1094; 1100; 1116; 1160; 1174; 1180; 1194; 1202; 1392; 1400; 1405; 1507 1597; 1639; 1664; 1892; 1909; 1950; 2222; 2277; 2349; 2511; 2556; 2570; 2588; 2645; 2661; 2810; 3034; 3277; 3284; 3612; 3945; 4335; 4502; 4528; 4616; 4638; 4671; 4693
Вариант № 10	
Статистический ряд 1.2	21; 23; 30; 32; 57; 69; 76; 84; 89; 92; 95; 102; 118; 124; 144; 148; 154; 157; 159; 169; 214; 217; 238; 247; 255; 263; 282; 302; 330; 358; 365; 390; 392; 394; 417; 433; 543; 587; 610; 653; 729; 779; 819; 857; 862; 864; 877; 915; 920; 921; 955; 963; 966; 985; 1069; 1078; 1095; 1101; 1117; 1161; 1175; 1181; 1195; 1203; 1393; 1401; 1406; 1508 1598; 1640; 1665; 1893; 1910; 1951; 2223; 2278; 2350; 2512; 2557; 2571; 2589; 2646; 2662; 2811; 3035; 3278; 3285; 3613; 3946; 4336; 4503; 4529; 4617; 4639; 4672; 4694
Вариант № 11	
Статистический ряд 1.2	22; 24; 31; 33; 58; 70; 77; 85; 90; 93; 96; 103; 119; 125; 145; 149; 155; 158; 160; 170; 215; 218; 239; 248; 256; 264; 283; 303; 331; 359; 366; 391; 393; 395; 418; 434; 544; 588; 611; 654; 730; 780; 820; 858; 863; 865; 878; 916; 921; 922; 956; 964; 967; 986; 1070; 1079; 1096; 1102; 1118; 1162; 1176; 1182; 1196; 1204; 1394; 1402; 1407; 1509 1599; 1641; 1666; 1894; 1911; 1952; 2224; 2279; 2351; 2513; 2558; 2572; 2590; 2647; 2663; 2812; 3036; 3279; 3286; 3614; 3947; 4337; 4504; 4530; 4618; 4640; 4673; 4695
Вариант № 12	
Статистический ряд 1.2	23; 25; 32; 34; 59; 71; 78; 86; 91; 94; 97; 104; 120; 126; 146; 150; 156; 159; 161; 171; 216; 219; 240; 249; 257; 265; 284; 304; 332; 360; 367; 392; 394; 396; 419; 435; 545; 589; 612; 655; 731; 781; 821; 859; 864; 866; 879; 917; 922; 923; 957; 965; 968; 987; 1071; 1080; 1097; 1103; 1119; 1163; 1177; 1183; 1197; 1205; 1395; 1403; 1408; 1510 1600; 1642; 1667; 1895; 1912; 1953; 2225; 2280; 2352; 2514; 2559; 2573; 2591; 2648; 2664; 2813; 3037; 3280; 3287; 3615; 3948; 4338; 4505; 4531; 4619; 4641; 4674; 4696

Продолжение табл. 2.6

Вариант № 13	
Статистический ряд 1.2	24; 26; 33; 35; 60; 72; 79; 87; 92; 95; 98; 105; 121; 127; 147; 151; 157; 160; 162; 172; 217; 220; 241; 250; 258; 266; 285; 305; 333; 361; 368; 393; 395; 397; 420; 436; 546; 590; 613; 656; 732; 782; 822; 860; 865; 867; 880; 918; 923; 924; 958; 966; 969; 988; 1072; 1081; 1098; 1104; 1120; 1164; 1178; 1184; 1198; 1206; 1396; 1404; 1409; 1511 1601; 1643; 1668; 1896; 1913; 1954; 2226; 2281; 2353; 2515; 2560; 2574; 2592; 2649; 2665; 2814; 3038; 3281; 3288; 3616; 3949; 4339; 4506; 4532; 4620; 4642; 4675; 4697
Вариант № 14	
Статистический ряд 1.2	25; 27; 34; 36; 61; 73; 80; 88; 93; 96; 99; 106; 122; 128; 148; 152; 158; 161; 163; 173; 218; 221; 242; 251; 259; 267; 286; 306; 334; 362; 369; 394; 396; 398; 421; 437; 547; 591; 614; 657; 733; 783; 823; 861; 866; 868; 881; 919; 924; 925; 959; 967; 970; 989; 1073; 1082; 1099; 1105; 1121; 1165; 1179; 1185; 1199; 1207; 1397; 1405; 1410; 1512 1602; 1644; 1669; 1897; 1914; 1955; 2227; 2282; 2354; 2516; 2561; 2575; 2593; 2650; 2666; 2815; 3039; 3282; 3289; 3617; 3950; 4340; 4507; 4533; 4621; 4643; 4676; 4698
Вариант № 15	
Статистический ряд 1.2	26; 28; 35; 37; 62; 74; 81; 89; 94; 97; 100; 107; 123; 129; 149; 153; 159; 162; 164; 174; 219; 222; 243; 252; 260; 268; 287; 307; 335; 363; 370; 395; 397; 399; 422; 438; 548; 592; 615; 658; 734; 785; 825; 862; 867; 869; 882; 920; 925; 926; 960; 968; 971; 990; 1074; 1083; 1100; 1106; 1122; 1166; 1180; 1186; 1200; 1208; 1398; 1406; 1411; 1513 1603; 1645; 1670; 1898; 1915; 1956; 2228; 2283; 2355; 2517; 2562; 2576; 2594; 2651; 2667; 2816; 3040; 3283; 3290; 3618; 3951; 4341; 4508; 4534; 4622; 4644; 4677; 4699
Вариант № 16	
Статистический ряд 1.2	27; 29; 36; 38; 63; 75; 82; 90; 95; 98; 101; 108; 124; 130; 150; 154; 160; 163; 165; 175; 220; 223; 244; 253; 261; 269; 288; 308; 336; 364; 371; 396; 398; 400; 423; 439; 549; 593; 616; 659; 735; 786; 826; 863; 868; 870; 883; 921; 926; 927; 961; 969; 972; 991; 1075; 1084; 1101; 1107; 1123; 1167; 1181; 1187; 1201; 1209; 1399; 1407; 1412; 1514 1604; 1646; 1671; 1899; 1916; 1957; 2229; 2284; 2356; 2518; 2563; 2577; 2595; 2652; 2668; 2817; 3041; 3284; 3291; 3619; 3952; 4342; 4509; 4535; 4623; 4645; 4678; 4700

Продолжение табл. 3.1

1	2	3
4	300–400	5
5	400–500	4
6	500–600	5
7	600–1100	3
8	1100–1600	4
Вариант № 2		
1	0–100	10
2	100–200	8
3	200–300	8
4	300–400	6
5	400–500	5
6	500–600	6
7	600–1100	4
8	1100–1600	5
Вариант № 3		
1	0–100	11
2	100–200	9
3	200–300	9
4	300–400	7
5	400–500	6
6	500–600	7
7	600–1100	5
8	1100–1600	6
Вариант № 4		
1	0–100	12
2	100–200	10
3	200–300	10
4	300–400	8
5	400–500	7
6	500–600	8
7	600–1100	6
8	1100–1600	7
Вариант № 5		
1	0–100	13
2	100–200	11
3	200–300	11
4	300–400	9
5	400–500	8
6	500–600	9
7	600–1100	7
8	1100–1600	8

- Статистическую вероятность безотказной работы линейной части газопровода $P_{C_0}(t)$ и записать её значение в 5-ю колонку табл. 3.1.
- Интенсивность потока отказов, выдвинув гипотезу о теоретическом экспоненциальном законе распределения времени безотказной работы газопровода, имеющем следующий вид (закон 1 – экспоненциальное распределение без коэффициента):

$$P_1 T_0(t) = e^{-\lambda_1 t} \quad (3.1)$$

Для определения параметра λ_1 воспользуйтесь методом наименьших квадратов, используя соответствующую встроенную функцию и способ оптимизации «Поиск решения» Excel.

- На основе полученного значения λ_1 подсчитайте значение теоретической вероятности безотказной работы газопровода $P_1 T_0(t)$ и запишите в 6-ю колонку табл. 3.1 для последующего анализа полученных моделей вероятностей.
- Интенсивность потока отказов λ_2 , выдвинув гипотезу о теоретическом экспоненциальном с коэффициентом законе распределения времени безотказной работы газопровода, имеющем следующий вид (закон 2 – экспоненциальное распределение с коэффициентом C_1):

$$P_2 T_0(t) = C_1 e^{-\lambda_2 t} \quad (3.2)$$

Для определения параметра λ_2 опять воспользуйтесь методом наименьших квадратов, используя соответствующую встроенную функцию и способ оптимизации «Поиск решения» Excel.

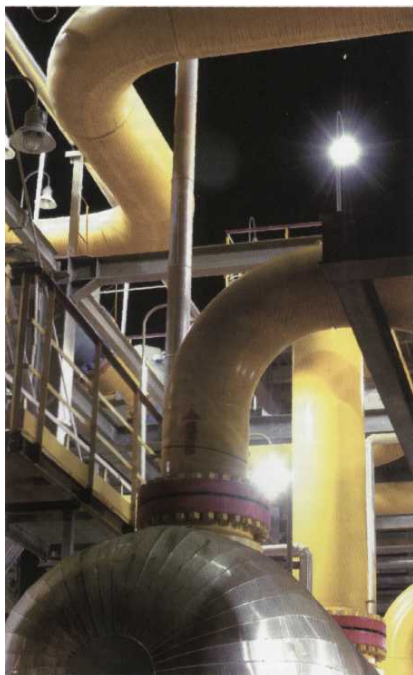
- На основе полученного значения λ_2 подсчитайте значение теоретической вероятности безотказной работы газопровода $P_2 T_0(t)$ и запишите в 7-ю колонку табл. 3.1 для последующего анализа полученных моделей вероятностей.
- Постройте три графика $P_{C_0}(t)$, $P_1 T_0(t)$ и $P_2 T_0(t)$ на одном чертеже того же листа Excel, где находятся расчёты и таблица с данными.
Варианты заданий приводятся в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Варианты заданий

№ п/п	Интервал работы газопровода, сутки	Эмпирическая частота отказов в интервале, шт.
1	2	3
Вариант № 1		
1	0–100	9
2	100–200	7
3	200–300	7

Вариант № 17	
Статистический ряд 1.2	28; 30; 37; 39; 64; 76; 83; 91; 96; 99; 102; 109; 125; 131; 151; 155; 161; 164; 166; 176; 221; 224; 245; 254; 262; 270; 289; 309; 337; 365; 372; 397; 399; 401; 424; 440; 550; 594; 617; 660; 736; 787; 827; 864; 869; 871; 884; 922; 927; 928; 962; 970; 973; 992; 1076; 1085; 1102; 1108; 1124; 1168; 1182; 1188; 1202; 1210; 1400; 1408; 1413; 1515 1605; 1647; 1672; 1900; 1917; 1958; 2230; 2285; 2357; 2519; 2564; 2578; 2596; 2653; 2669; 2818; 3042; 3285; 3292; 3620; 3953; 4343; 4510; 4536; 4624; 4646; 4679; 4701
Вариант № 18	
Статистический ряд 1.2	29; 31; 38; 40; 65; 77; 84; 92; 97; 100; 103; 110; 126; 132; 152; 156; 162; 165; 167; 177; 222; 225; 246; 255; 263; 271; 290; 310; 338; 366; 373; 398; 400; 402; 425; 441; 551; 595; 618; 661; 737; 788; 828; 865; 870; 872; 885; 923; 928; 929; 963; 971; 974; 993; 1077; 1086; 1103; 1109; 1125; 1169; 1183; 1189; 1203; 1211; 1401; 1409; 1414; 1516 1606; 1648; 1673; 1901; 1918; 1959; 2231; 2286; 2358; 2520; 2565; 2579; 2597; 2654; 2670; 2819; 3043; 3286; 3293; 3621; 3954; 4344; 4511; 4537; 4625; 4647; 4680; 4702
Вариант № 19	
Статистический ряд 1.2	30; 32; 39; 41; 66; 78; 85; 93; 98; 101; 104; 111; 127; 133; 153; 157; 163; 166; 168; 178; 223; 226; 247; 256; 264; 272; 291; 311; 339; 367; 374; 399; 401; 403; 426; 442; 552; 596; 619; 662; 738; 789; 829; 866; 871; 873; 886; 924; 929; 930; 964; 972; 975; 994; 1078; 1087; 1104; 1110; 1126; 1170; 1184; 1190; 1204; 1212; 1402; 1410; 1415; 1517 1607; 1649; 1674; 1902; 1919; 1960; 2232; 2287; 2359; 2521; 2566; 2580; 2598; 2655; 2671; 2820; 3044; 3287; 3294; 3622; 3955; 4345; 4512; 4538; 4626; 4648; 4681; 4703
Вариант № 20	
Статистический ряд 1.2	31; 33; 40; 42; 67; 79; 86; 94; 99; 102; 105; 112; 128; 134; 154; 158; 164; 167; 169; 179; 224; 227; 248; 257; 265; 273; 292; 312; 340; 368; 375; 400; 402; 404; 427; 443; 553; 597; 620; 663; 739; 790; 830; 867; 872; 874; 887; 925; 930; 931; 965; 973; 976; 995; 1079; 1088; 1105; 1111; 1127; 1171; 1185; 1191; 1205; 1213; 1403; 1411; 1416; 1518 1608; 1650; 1675; 1903; 1920; 1961; 2233; 2288; 2360; 2522; 2567; 2581; 2599; 2656; 2672; 2821; 3045; 3288; 3295; 3623; 3956; 4346; 4513; 4539; 4627; 4649; 4682; 4704



3. МЕТОДЫ ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ В EXCEL



Лабораторная работа № 7

Метод наименьших квадратов

Постановка задачи

Для оценки надежности линейной части магистрального газопровода произведена статистическая обработка данных. Результаты обработки отказов на газопроводе, связанных с разрушением или появлением свища и подлежащих устранению с остановкой работы газопровода, приведены в табл. 3.1.

Для определения вида функции распределения времени безотказной работы магистрального газопровода в качестве случайной величины принято число отказов газопровода в календарном интервале времени.

Определить:

1. Статистическую вероятность отказа $PC(t)$ в интервале времени и записать её значение в 4-ю колонку табл. 3.1.