

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт неразрушающего контроля

Направление подготовки 12.04.01 Приборостроение

Кафедра Физических методов и приборов контроля качества

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы	
Совершенствование механических методов оценки технического состояния изделий УДК 620.179.1:512.23	

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1БМ4А	Жантыбаев Алибек Айвар-Бауржанович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
В.н.с. лаборатории №40 ИНК ТПУ	Осипов С. П.	К.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Зав. кафедрой менеджмента	Чистякова Н. О.	К.э.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ЭБЖ	Анищенко Ю. В.	К.т.н., доцент		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ФМПК	Суржиков Анатолий Петрович	Д. т. н., профессор		

Томск – 2016 г.

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт неразрушающего контроля

Направление подготовки (специальность) 12.04.01 Приборостроение

Кафедра Физических методов и приборов контроля качества

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

_____ Суржиков А. П.
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
1БМ4А	Жантыбаеву Алибеку Айвар-Бауржановичу

Тема работы:

Совершенствование механических методов оценки технического состояния изделий

Утверждена приказом директора (дата, номер)

28.12.2015 Приказ №10029/С

Срок сдачи студентом выполненной работы:

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе

(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).

Алгоритмы обработки информации в методах измерения твердости и прочности поверхностного слоя металлических изделий и строительных материалов.

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов

(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).

Доказать гипотезу о том, что твердость по Роквеллу поверхностного слоя испытуемого металлического образца как случайная величина распределена по логнормальному закону;
экспериментально доказать, что средние значения твердости по Роквеллу по равновеликим фрагментам поверхности испытуемых образцов близки;
доказать, что для оценки технического состояния испытуемых изделий необходимо использовать не только смещения оценок среднего значения и уровня рассеяния твердости по поверхности, но изменение характера выборочного распределения;

	рассмотреть возможность повышения информативности методов измерения твердости; доказать воспроизводимость измерения прочности бетонов на сжатие; экспериментально исследовать выборочные плотности распределения прочности бетонов на сжатие.
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)	Рисунки, графики, таблицы, приложения
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Чистякова Наталья Олеговна
Социальная ответственность	Анищенко Юлия Владимировна
Раздел на иностранном языке	Устюжанина Анна Константиновна
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Оценка технического состояния металлических изделий по плотности распределения твёрдости по Роквеллу	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	10.09.2014
---	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ведущий научный сотрудник	Осипов Сергей Павлович	К.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1БМ4А	Жантыбаев Алибек Айвар-Бауржанович		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
1БМ4А	Жантыбаеву Алибеку Айвар-Бауржановичу

Институт	ИНК	Кафедра	ФМПК
Уровень образования	магистратура	Направление/специальность	Приборостроение

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статистических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах; анкетирование; опрос
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Предпроектный анализ	– Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения; – SWOT–анализ;
2. Инициация проекта	– Цели и результат проекта; – Организационная структура проекта
3. Планирование управления научно-техническим проектом	– План проекта; – Диаграмма Ганта –
4. Бюджет научного исследования	– Специальное оборудование для экспериментальных работ; – Расчет основной и дополнительной заработной платы, отчислений на социальные нужды и накладные расходы
5. Проектная организационная структура научного исследования	– Проектная структура научного исследования
6. Реестр рисков проекта	– Таблица рисков

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. Матрица SWOT
3. Диаграмма Ганта и проектная структура НИ
4. Бюджет НИ
5. Таблица рисков

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	31.03.2016
---	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Зав. кафедрой менеджмента	Чистякова Наталья Олеговна	к. э. н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1БМ4А	Жантыбаев Алибек Айвар-Бауржанович		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
1БМ4А	Жантыбаеву Алибеку Айвар-Бауржановичу

Институт	Неразрушающего контроля	Кафедра	ФМПК
Уровень образования	магистратура	Направление/специальность	Приборостроение

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования	Методы измерения твердости поверхностных слоев изделий из металлов и прочности строительных материалов
--	--

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Производственная безопасность	– механические опасности; – работа на высоте – влияние недостаточной освещенности; – отклонение показателей микроклимата от нормальных; – монотонность труда;
2. Экологическая безопасность:	Воздействие объекта на литосферу (отходы);
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	Вероятностные ЧС: разрушение зданий, пожары. Меры безопасности
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:	организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	31.03.2016
--	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ЭБЖ	Анищенко Ю. В.	К.т.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1БМ4А	Жантыбаев Алибек Айвар-Бауржанович		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 88 с., 12 рис., 20 табл., 53 источника.

Ключевые слова: твердость металла, техническое состояние; случайная величина; плотность распределения; прочность бетона на сжатие; меры положения случайной величины; меры рассеяния случайной величины; корреляционный анализ; суперпозиция распределений.

Объектом исследования являются алгоритмы обработки информации в методах измерения твердости и прочности поверхностного слоя металлических изделий и строительных материалов.

Цель работы – совершенствование механических методов оценки технического состояния изделий на основе анализа твердости и прочности, полученных в результате единичных актов измерений, как случайных величин.

В процессе исследования проводились методы математического и физического моделирования, системного анализа, планирования экспериментов, корреляционного и регрессионного анализа и статистической обработки результатов экспериментальных исследований.

В результате исследования имеются рекомендации и алгоритмы обработки результатов измерений твердости поверхностных слоев металлических изделий и строительных материалов.

Область применения: дефектоскопия, неразрушающий контроль, диагностика зданий и сооружений.

Экономическая эффективность/значимость работы подтверждена проведенными результатами теоретических и экспериментальных исследований.

В будущем планируется развить методики применительно к многоканальным сканирующим системам измерения прочности.

Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки

Определения

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями:

твёрдость: Свойство материала сопротивляться деформации при вдавливании в него более твёрдого тела.

индентор: Твёрдое тело, внедряемое в материал.

коэффициент вариации: Мера относительного разброса случайной величины; показывает, какую долю среднего значения этой величины составляет её средний разброс. Исчисляется в процентах. Вычисляется только для количественных данных.

коэффициент эксцесса: Мера остроты пика распределения случайной величины.

корреляция: Вероятностная или статистическая зависимость между случайными величинами.

Нормативные ссылки

В настоящей работе использованы ссылки на следующие стандарты:

- ГОСТ 12.0.003-74. ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация
- СНиП 23-05-95 «Естественное и искусственное освещение»
- СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
- ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ «Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты»
- ГОСТ 12.1.030-81. ССБТ. “Электробезопасность. Защитное заземление, зануление”

- СанПиН 2.2.4/2.1.8.055-96 «Электромагнитные излучения радиочастотного излучения»
- Правила охраны труда при работах на высоте
- Р 2.2.2006–05. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда.
- ГОСТ Р 22.0.02-94: Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Термины и определения основных понятий
- ГОСТ Р 22.0.07-95 Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Источники техногенных чрезвычайных ситуаций. Классификация и номенклатура поражающих факторов и их параметров.
- Технический регламент о требованиях пожарной безопасности. ГОСТ 12.2.032-78 Система стандартов безопасности труда. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.

Оглавление

Введение.....	10
1 Обзор литературы	15
2 Объект и методы исследования	25
3 Оценка технического состояния металлических изделий по плотности распределения твёрдости по Роквеллу	32
3.1 Постановка эксперимента	32
3.2 Обработка экспериментальных данных	36
3.3 Выводы	40
4 Оценка технического состояния бетонных изделий по прочности	41
4.1 Постановка эксперимента	41
4.2 Интерпретация результатов экспериментальных исследований	43
4.3 О смеси распределений	45
4.4 Выводы	49
5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	50
6 Социальная ответственность	70
Заключение	80
Список публикаций	81
Список использованных источников	82
Приложение А	88

Введение

Механические методы испытаний широко применяются в различных отраслях науки и техники. Основными оцениваемыми параметрами в механических методах являются твердость и прочность поверхностных слоев объектов контроля. Указанные параметры непосредственно влияют на безотказность и долговечность технических объектов. Именно поэтому механические методы занимают особое место среди всех методов неразрушающих испытаний промышленных изделий и строительных материалов.

На начальном периоде своего развития методы измерения твердости и прочности материалов лишь с большой натяжкой можно было назвать неразрушающими, так как указанные методы были основаны на внедрении инденторов различного вида в испытуемый материал и последующей оценке его твердости или прочности по параметрам отпечатка. В последующем механические методы испытаний развивались по нескольким направлениям, приобретая признаки, характерные для собственно неразрушающих методов испытаний, среди которых следует отметить низкие уровни физических воздействий, которые не приводят к потере работоспособности испытуемого технического объекта.

Среди указанных направлений следует отметить уменьшение эффективных размеров внедряемых инденторов. В настоящее время применяются методы измерения твердости и прочности для нескольких размерных классов – миллиметры, десятые доли миллиметров, единицы и десятки микрометров, десятки и сотни нанометров. Обоснованно применять для методов измерения твердости и прочности приставки макро, микро и нано.

Второе направление связано с развитием косвенных методов измерения твердости и прочности. В настоящее время наибольшее распространение получили динамический (метод отскока) и акустический методы измерения анализируемых параметров. Приборы, реализующие указанные методы

являются высокопроизводительными, кроме этого приборы позволяют оценивать твердость и прочность в различных шкалах, осуществлять простейшие операции над исходными данными (усреднение, калибровку и т.п.), накапливать и передавать измеряемую информацию в компьютеры.

К третьему направлению относится совершенствование метрологического и алгоритмического обеспечения применительно к обработке информации в механических методах испытаний. Тема диссертационных исследований связана именно с третьим направлением.

В настоящее время среди ученых материаловедов, специалистов по механическим методам неразрушающих испытаний выделяется группа исследователей из разных стран (Лебедев, Швец,.....) которые теоретически и экспериментально доказывают необходимость рассмотрения оценок твердости и прочности, полученных в результате единичных актов измерений, как случайных величин. В качестве информационных параметров выступают не только средние значения твердости и прочности материалов, но и параметров, характеризующих рассеяние анализируемых случайных величин. *Актуальность работ*, связанных с совершенствованием механических методов оценки технического состояния изделий на основе повышения их информативности применительно к металлическим изделиям, бетонам и другим строительным материалам не вызывает сомнений и подтверждается анализом литературных источников.

Предмет диссертационных исследований – методы измерения твердости поверхностных слоев изделий из металлов и прочности строительных материалов.

Объект исследований – алгоритмы обработки информации в методах измерения твердости и прочности поверхностного слоя металлических изделий и строительных материалов.

Цель работы – совершенствование механических методов оценки технического состояния изделий на основе анализа твердости и прочности, полученных в результате единичных актов измерений, как случайных величин.

Для реализации указанной цели работы решаются следующие **основные задачи:**

- доказать гипотезу о том, что твердость по Роквеллу поверхностного слоя испытуемого металлического образца как случайная величина распределена по логнормальному закону;
- экспериментально доказать, что средние значения твердости по Роквеллу по равновеликим фрагментам поверхности испытуемых образцов близки;
- доказать, что для оценки технического состояния испытуемых изделий необходимо использовать не только смещения оценок среднего значения и уровня рассеяния твердости по поверхности, но изменение характера выборочного распределения;
- рассмотреть возможность повышения информативности методов измерения твердости;
- доказать воспроизводимость измерения прочности бетонов на сжатие;
- экспериментально исследовать выборочные плотности распределения прочности бетонов на сжатие.

Методы исследования. Для решения поставленных задач использовались методы математического и физического моделирования, системного анализа, планирования экспериментов, корреляционного и регрессионного анализа и статистической обработки результатов экспериментальных исследований.

Научная новизна:

- доказана гипотеза о том, что твердость по Роквеллу поверхностного слоя испытуемого металлического образца как случайная величина распределена по логнормальному закону;
- экспериментально доказана гипотеза о близости средних значений твердости по Роквеллу по равновеликим фрагментам поверхности испытуемых образцов;

– доказано, что для оценки технического состояния испытываемых изделий необходимо использовать не только смещения оценок среднего значения и уровней рассеяния твердости по поверхности, но изменение характера выборочного распределения;

– введены понятия информационно-избыточного и информационно-дополнительного параметров прочности бетона и продемонстрированы особенности их практического применения;

– доказана воспроизводимость измерения прочности бетонов на сжатие;

– исследованы выборочные плотности распределения прочности бетонов на сжатие.

Практическая значимость работы состоит в том, что полученные в результате диссертационных исследований алгоритмы обработки информации и рекомендации позволяют повысить степень доверия к результатам механических испытаний и точность информативных параметров для оценки технического состояния стальных изделий и строительных материалов в процессе их длительной эксплуатации в условиях негативных воздействий.

Реализация результатов работы. Результаты выполненных исследований использованы при оценке технического состояния колонн, перекрытий и стен нескольких недавно возведенных жилых и производственных зданий и сооружений.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы обсуждались на XIX Всероссийской научно-практической конференции «Качество – стратегия XXI века» (Томск 2014), на VI Всероссийской конференции «Ресурсоэффективными технологиями – энергию и энтузиазм молодых» (Томск 2015), на XX Всероссийской научно-технической конференции «Виртуальные и интеллектуальные системы» (Барнаул 2015), на IV Международной конференции школьников, студентов, аспирантов, молодых ученых «Ресурсоэффективные системы в управлении и контроле: взгляд в будущее» (Томск 2015).

Публикации. Основные положения диссертации опубликованы в 6 печатных работах, из них 2 статьи опубликованы в журналах, входящих в перечень ВАК.

Основные положения, выносимые на защиту:

- доказательство гипотезы о логнормальном характере распределения твердости по Роквеллу поверхностного слоя испытываемого металлического образца;

- доказательство гипотезы о близости средних значений твердости по Роквеллу по равновеликим фрагментам поверхности испытываемых образцов;

- доказательство необходимости использования не только смещения оценок среднего значения и уровней рассеяния твердости по поверхности, но изменения характера выборочного распределения для оценки технического состояния испытываемых изделий;

- понятия информационно-избыточного и информационно-дополнительного параметров прочности бетона и демонстрация особенностей их практического применения;

- доказательство воспроизводимости измерений прочности бетонов на сжатие.

1 Обзор литературы

Во время длительной эксплуатации металлических изделий, механизмов, машин, конструкций и сооружений (далее металлических объектов) происходит ухудшение их технического состояния, вызванное воздействием различных механических, физических, химических, биологических и прочих факторов [1–4]. Наиболее значимыми процессами, приводящими к деградации металлических объектов, являются абразивный износ, коррозия, циклические разнонаправленные механические воздействия высокой интенсивности, усталость металла. Максимальные уровни отрицательных воздействий испытывают поверхностные слои, поэтому оценка технического состояния объекта в целом характеризуется, не в последнюю очередь, состоянием поверхностных слоёв металлических объектов. Для оценки технического состояния металлических объектов в процессе их изготовления и эксплуатации применяют методы механических испытаний, и прежде всего, измерение твердости [5–8].

Наиболее обобщенное определение твердости материала - “способность материала сопротивляться деформации при вдавливании в него более твердого тела”. [9] На протяжении веков твердость считалась одним из основных механических свойств материала. Испытания на твердость проводились в той или иной мере с самых ранних времен, что подтверждается многочисленными археологическими исследованиями и историческими хрониками. Например, проверка на фальсификацию металлической валют «на зуб». Однако, впервые испытания на твердость с научным подходом и в лабораторных условиях были проведены лишь в 1722 г. Ремюром.

На данный момент механические испытания на твердость пользуются большой популярностью среди методов оценки технического состояния изделий, конструкций и сооружений. Это объясняется следующими факторами:

- механические методы позволяют проводить кратковременные и нетрудоемкие измерения малых объемов металлических изделий;

- возможность проводить измерения, в тех случаях, когда другие методы недоступны или нет возможности их проведения, по тем или иным причинам;
- проведение испытания без значительного повреждения изделия;
- определение твердости в структурно неоднородных материалах;
- наличие компактных портативных приборов, позволяющих проведение испытаний вне лаборатории;
- возможность легко установить эмпирическую или аналитическую связь результатов с результатами других методов [10].

Следовательно, измерение и сравнение твердости различных материалов является важной технической задачей. Однако, вследствие того, что значение твердости зависит от методики измерения, до сих пор актуальна проблема количественного измерения твердости.

Шкала твердости является – шкалой порядка, характеризующейся соотношением эквивалентности и порядка по возрастанию или убыванию [11].

Первой известной шкалой твердости была шкала Мооса (1811), которая была составлена из 10 минералов, в порядке способности царапать один другим. В настоящее время стандартизированы и используются следующие шкалы:

- Бриннеля: по размеру отпечатка шарового индентора при заданной нагрузке;
- Роквелла: по разнице глубины внедрения конусного индентора в результате приложения основной и предварительной нагрузки;
- Виккерса: по отношению приложенной нагрузки к площади поверхности восстановленного отпечатка алмазного индентора в виде четырехгранной пирамиды. [12]

Неразрушающие методы измерения твердости по способу измерения делятся на статические, динамические и ультразвуковые. В приборах, реализующих первый метод твердость определяется по размерам отпечатка индентора, приложенного с нагрузкой. Динамические твердомеры определяют значение твердости по параметрам отскока падающего бойка. Ультразвуковой метод основывается на определении твердости по измерению частоты колебания

статически нагруженного штока с индентором. Классификация методов измерения представлена на рисунке 1.1.

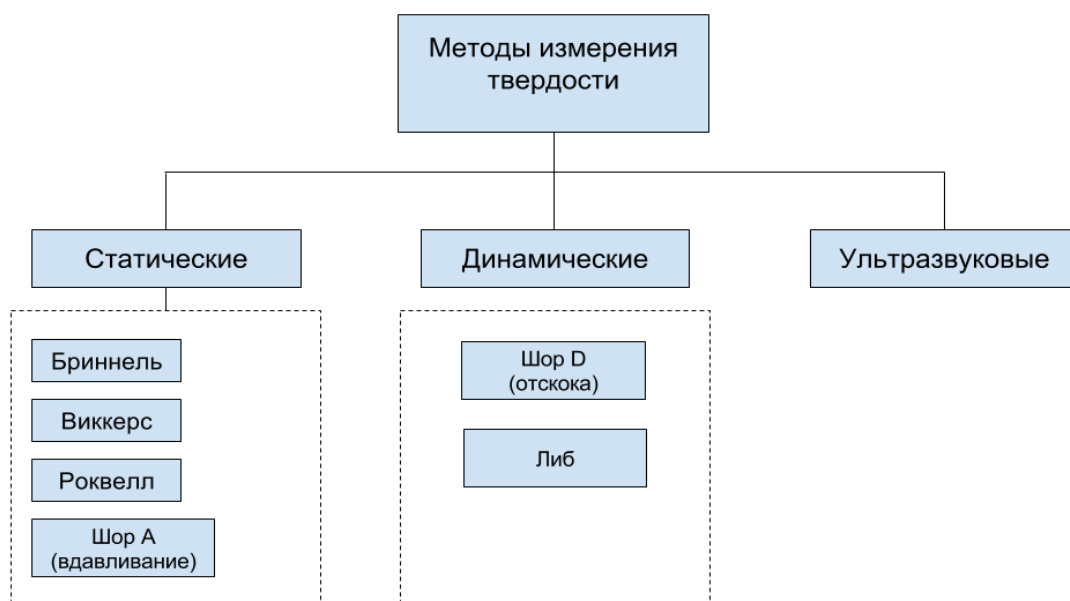


Рисунок 1.1 – Современные методы измерения твердости

Наибольшей популярностью пользуются твердомеры, реализующие динамический метод измерений, основанный на измерении параметров отскока падающего бойка. Эта популярность объясняется малыми габаритами приборов и возможностью измерения непосредственно на изделии, вне испытательной лаборатории.

Один из наиболее популярных в Европе и США динамических методов – это метод измерения твердости Либа. Метод Либа был разработан в 1970–х годах. Определение твердости заключается в измерении соотношения скоростей падающего бойка до и после удара об поверхность исследуемой детали. [13]

$$HL = \left(\frac{v_r}{v_a} \right) \cdot 1000 \quad (1.1)$$

Также в научной литературе были представлены разработки электромагнитного метода определения твердости материала. Суть метода заключается в определении твердости по взаимосвязи амплитудно-частотных

характеристик электромагнитного сигнала с качеством адгезионного контакта в композиционных материалов [14–16].

В последние годы ускоренными темпами развиваются способы измерения твердости, совершенствуются приборы, их реализующие, расширяются области их применения [17–18].

В силу особенности строения материалов, физические свойства его локальных объемов неодинаковы. Таким образом, механические характеристики материалов имеют неконтролируемое значение. Из этого следует, что механические характеристики, в частности твердость и ее производные характеристики, являются случайными величинами. Следовательно, описание этих величины должны описываться методами теории вероятности и статистики. [19]

В технических руководствах по применению измерителей твёрдости рекомендуется оценивать твёрдость по результатам измерений в нескольких точках объекта. На практике твердость или прочность изделия принимается равной среднему значения из выборки примерно 10 измерений.

$$\bar{H} = \frac{\sum_{i=1}^n h_i}{n}, \quad (1.2)$$

где h_i – результат единичного измерения, n – количество измерений.

Стоит отметить, что такой подход не позволяет в полной мере определить случайную величину. В связи с этим, многие исследователи стараются повысить информативность процесса измерения твердости. В работах [20–23] рекомендовано, дополнительно к среднему значению твёрдости, использовать одну из мер рассеяния анализируемой случайной величины, что позволяет повысить качество оценки технического состояние поверхности металлического объекта. В [25] на основе проведенных испытания, заявляют, что для отслеживания свойств материала можно использовать дисперсию твердости как достоверный информативный параметр.

$$\delta^2 h = \frac{\sum_{i=1}^n (h_i - \bar{h})^2}{n}, \quad (1.3)$$

До недавнего времени применение упомянутой реализации метода измерения твёрдости сдерживалось низкой производительностью приборов, существенным воздействием на испытываемые поверхности, размерами инденторов. Появление на рынке более точных, обладающих лучшей производительностью и уменьшенными уровнями воздействий на объекты испытаний привело к внедрению способа оценки технического состояния металлических объектов с одновременной оценкой среднего значения твердости и некоторой меры рассеяния твердости в ряде отраслей промышленности, транспорта и строительства [24, 25].

С точностью, достаточной для практических приложений, случайные величины описываются совокупностью начальных или центральных моментов. Для оценки технического состояния изделий из металлов в [26–29] предложено использовать не только меры положения и рассеяния прочности, но и плотность распределения.

В работе [19] установлены основные закономерности рассеяния твердости стали по Виккерсу (HV) в процессе эксплуатации.

На рисунке 1.2 представлены гистограммы распределения твердости HV до и после эксплуатации. Анализ данных, проведенный в [19] позволяет сказать, что в процессе эксплуатации увеличивается среднее значение твердости и параметры ее рассеяния, что ведет к изменению вида распределения. Для описания плотности распределения твёрдости используют нормальное, логнормальное распределения, распределение Вейбулла и их модификации. Все указанные распределения являются двухпараметрическими. Причем, один параметр – это мера рассеяния (среднеквадратическое отклонение, коэффициент вариации, коэффициент асимметрии, коэффициент эксцесса), а другой – мера положения (среднее значение, медиана и мода)

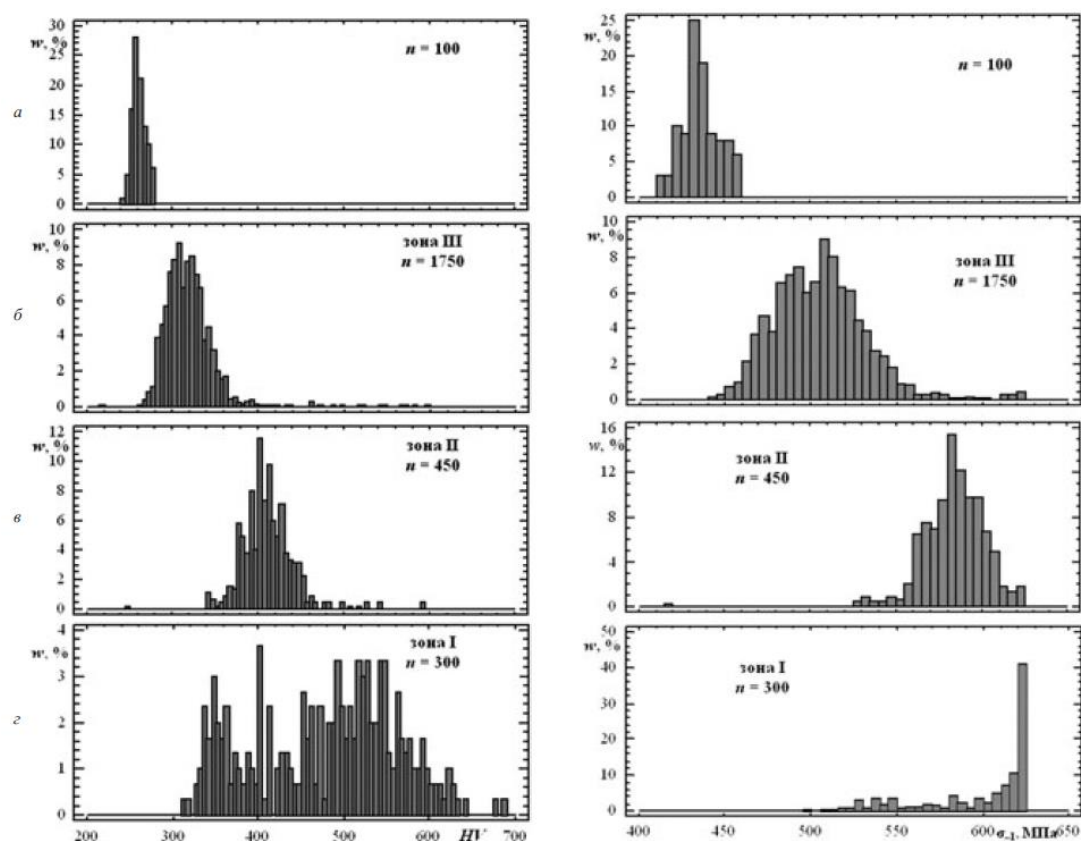


Рисунок 1.2 – Гистограммы твердости HV до (а) и после (б–г) эксплуатации, n – объем выборки [18]

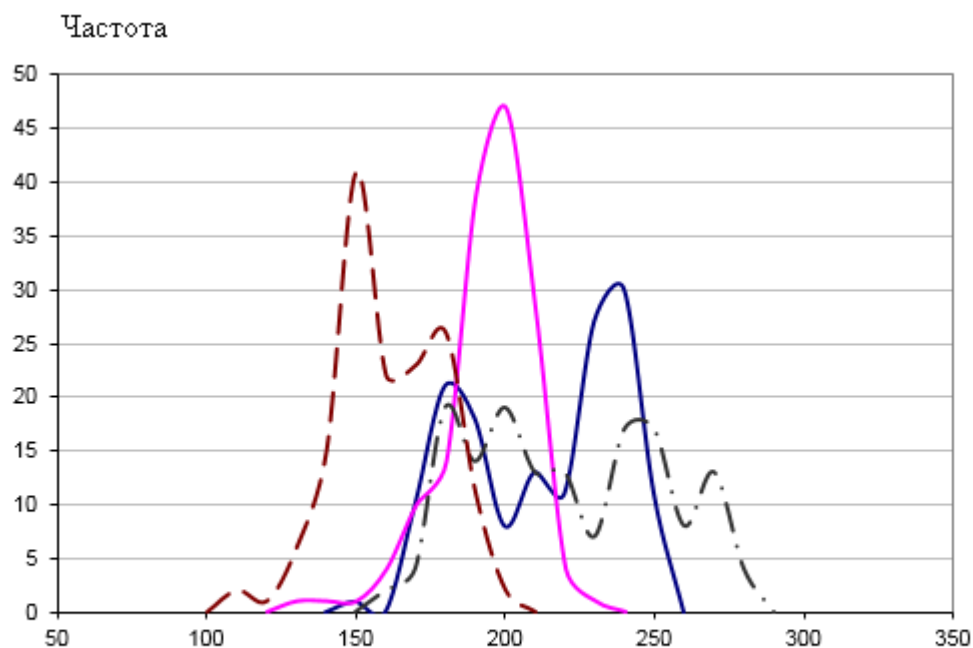
Указанный подход применяется также для строительных материалов, в частности для бетона. Все материалы, используемые в промышленности и строительстве, являются неоднородными по прочности на макро, мини, микро или нано уровнях. Подобная неоднородность проявляется в разбросе значений его механических характеристик, в частности твердости материала. Неоднородность по твердости, упомянутая выше, характерна именно для бетонов, особенно для тех, ингредиенты которых существенно отличаются по прочности. К основным причинам подобной неоднородности следует отнести: влияние физико-химических и технологических влияний «доэксплуатационного» характера (ковка, плавка, сварка, прокатка, сверление, резание и т.д.), также наличие погрешностей и несовершенства оборудования, используемого при создании или обслуживании материала.

Степень однородности бетонов по прочности наряду с усредненным

значением прочности является важнейшей потребительской характеристикой. Повышение информативности измерения прочности бетонов связано со спецификой объекта испытаний. Бетоны состоят из нескольких основных ингредиентов. Из практических соображений и наглядности можно ограничиться двумя ингредиентами. Для классических бетонов одним ингредиентом является крупнозернистая составляющая (щебень, гравийно-галечная смесь) и мелкозернистая цементно-песчаная композиция. Асфальтобетоны состоят из крупнозернистой составляющей и битумно-минеральной композиции. Пенобетоны (газобетоны) состоят из цементного камня и пузырьков воздуха (газа). Ингредиенты бетонов имеют различные прочностные характеристики, которые могут меняться в процессе эксплуатации бетонов под воздействием негативных факторов. В работе [30] подчеркнуто, что повышение информативности измерения прочности бетона на сжатие связано с корректным использованием размерных уровней (сантиметры, миллиметры, десятые, сотые и тысячные доли миллиметра). Бетоны, асфальтобетоны и пенобетоны можно отнести к размерным группам – сантиметры, миллиметры и десятые доли миллиметров.

Неоднородность материала, вызванная технологическими операциями, увеличивается при эксплуатации. Также очевидно, что степень неоднородности будет усиливаться в ходе эксплуатации материала. В работе [30] установлены критерии функционального состояния металла на основе статистических показателей твердости.

По форме кривых статистических распределений, характеризующихся эксцессом и асимметрией, прослеживается следующая зависимость от степени пластических свойств образцов. Образцы №1 и 2 имеют положительные эксцессы, принимающие значения 0,45 и 0,57, соответственно, а образцы №3, 4 – отрицательные.



Интервалы чисел ТМН, НВ

Рисунок 1.3 – Полигоны распределения частоты по интервалам чисел твердости [29]

Эта закономерность объясняется следующим образом. Номинальная пластичность обусловлена равномерной мелкодисперсной структурой материала, при этом разброс твердости невелик, а преимущественная часть выборки группируется вокруг математического ожидания твердости, которое, контролирует фактическую прочность данного материала. Уменьшение пластичности может быть связано с появлением в структуре неравномерности, то есть структурных составляющих, отличающихся по механическим свойствам, в том числе и по твердости. За счет этого на границах зерен образуется существенный градиент свойств, который приводит к появлению внутренних напряжений и при приложении внешней нагрузки – нарушениям сплошности, которые существенно ограничивают пластичность и ускоряют хрупкое разрушение. [31]

Как все механические характеристики, твердость можно определить на макро-, микро- и наноуровнях. И соответственно различают макротвердость, микротвердость и нанотвердость. В [22] произведено исследование изменения

неоднородности материала на всех уровнях до и после наработки.

Результаты исследования представлены на рисунке 4 в виде гистограмм средних значений твердости стали.

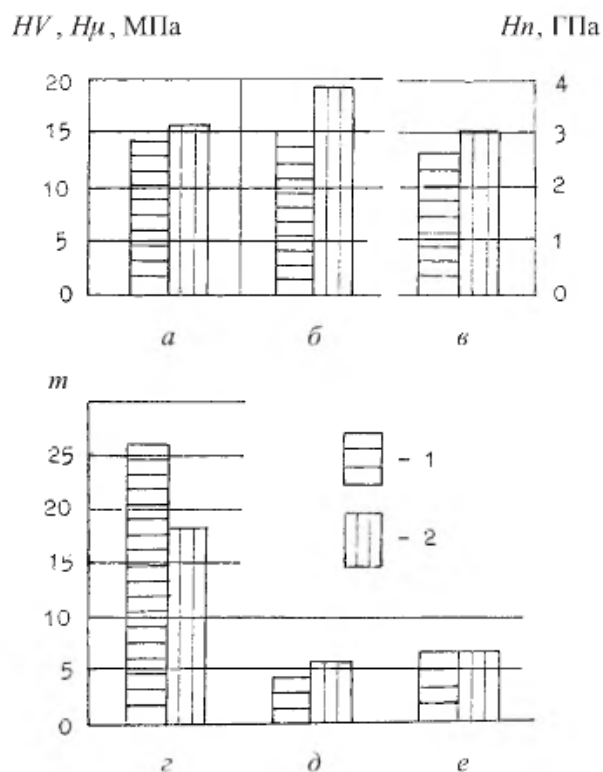


Рисунок 1.4 – Результаты испытаний: а, б, в – макро-, микро- и нанотвердость стали соответственно; г, д, е – коэффициенты однородности по макро-, микро-, и нанотвердости (1 – исходное состояние материала, 2 – после наработки)

Как видно, в ходе эксплуатации твердость материала увеличивается на всех уровнях. А коэффициент однородности [23] напротив снизился на макроуровне, а для микро- и наноуровне остался неизменным. Авторы [23] пришли к выводам о том, что характеристики рассеяния твердости, в частности коэффициент однородности Вейбулла, полученные в одинаковых условиях с помощью одинаковых твердомеров, являются более достоверными и информативными.

На основе анализа научной литературы были сделаны **выводы**:

- научной литературе не в полной мере обсуждены вопросы оценки технического состояния изделий из бетона по прочности;

- в литературе недостаточно данных для оценки возможности использования других информативных параметров твердости, рассматриваемой в качестве случайной величины, при решении задач, связанных с оценкой технического состояния металлических изделий в процессе эксплуатации;

возможно, что для оценки технического состояния металлических объектов, эксплуатируемых длительное время, недостаточно двух параметров твердости, рассматриваемой в качестве случайной величины.

2 Объект и методы исследования

Для совершенствования механических методов оценки технического состояния изделий в данном исследовании был произведен анализ твердости и прочности, полученных в результате единичных актов измерений, как случайных величин. Следовательно, объектом данного исследования являются алгоритмы обработки результатов измерений твердости и прочности поверхностных слоев металлических изделий и строительных материалов.

Техническое состояние изделий, деталей машин и механизмов, выполненных из металла, в процессе длительной эксплуатации ухудшается. Данный эффект вызван воздействием физико-химическим, механическим, биологическим и прочими факторами [1–4]. Среди многих причин, ухудшающих технического состояние изделий, можно выделить, наиболее значительные процессы: коррозия, абразивный износ, циклические разнонаправленные механические воздействия высокой интенсивности, усталость металла.



Рисунок 2.1 – Металлическое изделие, подвергшееся коррозии

В силу того, что поверхностный слой металла испытывает максимальное воздействие, в процессе оценки технического состояния изделия немаловажное значение имеет состояние именно поверхностного слоя изделия. Для оценки технического состояния металлических изделий в процессе их изготовления и

эксплуатации применяют методы механических испытаний и, прежде всего, измерение твердости [5–8].

С развитием способов измерения твердости и приборов, их реализующие, появилась возможность проводить механические методы оценки технического состояния изделия не только по результатам несколько измерений твердости в разных точках (как это указано в технических документах твердомеров), но также оценивать некоторые меры рассеяния твердости как случайной величины. Использование на практике более точных приборов с уменьшенным уровнем воздействия (в силу уменьшения размеров инденторов), позволяет внедрить способ оценки технического состояния металлического изделия с одновременной оценкой среднего значения твердости и некоторой меры рассеяния твердости в ряде отраслей промышленности, транспорта и строительства [19, 24, 25]. Подобный подход, очевидно, повышает информативность и достоверность оценки технического состояния поверхности металлического изделия.

Для описания плотности распределения твёрдости используют нормальное, логнормальное распределения, распределение Вейбулла и их модификации.

Нормальное распределение характеризуется плотностью вероятности вида:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}}, \quad (2.1)$$

где m – это математическое ожидание, а σ – среднее квадратическое отклонение величины x [32].

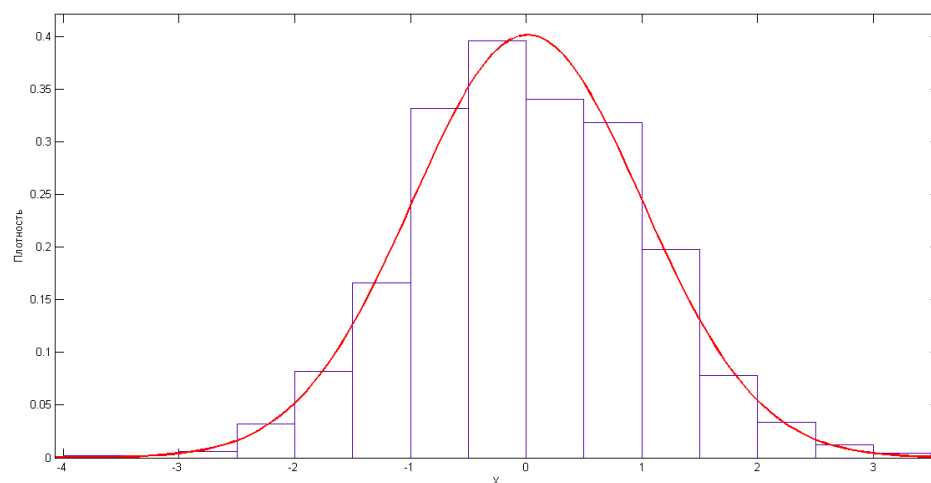


Рисунок 2.2 – График кривой нормального распределения

Случайная величина имеет логнормальное распределение, если ее логарифм подчиняется нормальному распределению. Логнормальное распределение характеризуется плотностью вероятности вида:

$$f(x) = \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln x - \mu)^2}{2\sigma^2}}, \quad (2.2)$$

где $x > 0$, $\sigma > 0$, $\mu \in \mathbb{R}$ [33].

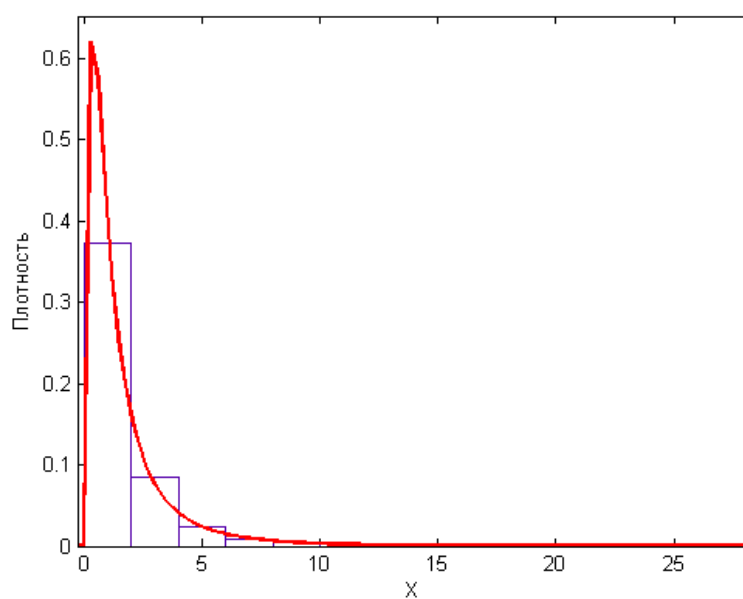


Рисунок 2.3 – График кривой логнормального распределения

Случайная величина имеет распределение Вейбулла с параметрами α и λ , где $\alpha > 0$ и $\lambda > 0$, если плотность имеет вид: [34]

$$f(x) = \begin{cases} \alpha \lambda x^{\alpha-1} e^{-\lambda x^\alpha}, & x > 0, \\ 0, & x \leq 0. \end{cases} \quad (2.3)$$

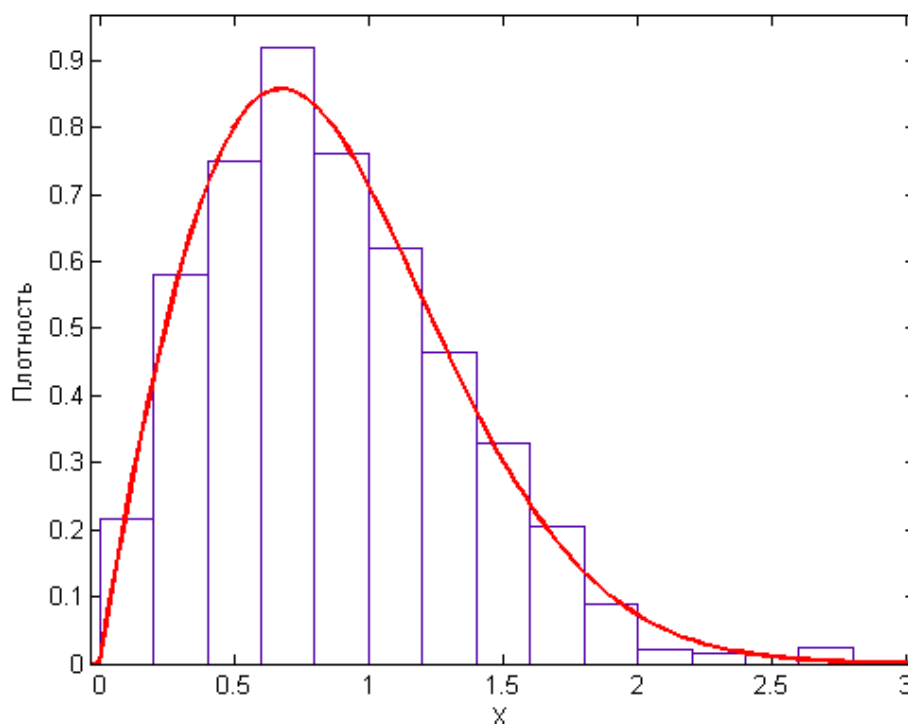


Рисунок 2.4 – График кривой распределения Вейбулла.

Все указанные распределения являются двухпараметрическими. Возможно, что для оценки технического состояния металлических изделий, эксплуатируемых длительное время, недостаточно двух параметров твёрдости, рассматриваемой в качестве случайной величины.

Как уже отмечалось, различным материалам, в том числе строительным и горным породам, характерна неоднородность по прочности на различных размерных уровнях. Такая неоднородность может быть следствием того, что ингредиенты бетона могут значительно различаться по прочности. При экспериментальных измерениях проявление неоднородности испытуемого материала по той или иной механической характеристике (прочность на сжатие,

твердость и т.п.) определяется размерами контактной части прибора, с помощью которой передается физическое воздействие от прибора к объекту. Контактную часть можно по аналогии с другими методами неразрушающих испытаний ассоциировать с понятием «апертура». Измеряемый параметр и в случае механических испытаний усредняется по «апертуре». Это означает, что применение приборов со значительным размером «апертуры» приводит к нивелированию влияния неоднородности структуры испытуемого материала на качество анализа. Под неоднородностью структуры материала понимается распределение размеров «зерен» ингредиентов (щебень, галька, поры и т.п.) по приповерхностному слою объекта испытаний. Эффект «апертуры» наиболее значимо проявляется при механических испытаниях бетонов с помощью ударно-импульсных измерителей со значительными размерами инденторов. Строительные сооружения в процессе эксплуатации испытывают неблагоприятные воздействия со стороны окружающей среды, приводящие к коррозии строительных материалов. На начальном этапе развития деградации строительного материала негативный процесс носит локальный, точечный характер. Отследить изменения прочности строительного материала на начальном этапе развития коррозионных поражений приборами с большой «апертурой» не представляется возможным.

Рекомендация 1. Для отслеживания изменений в техническом состоянии строительных сооружений необходимо соотносить размеры контактной части измерителя прочности с характерными размерами ингредиентов и с размерами коррозионных повреждений начальной стадии деградации материалов.

Соблюдение рекомендации 1 и постоянный мониторинг позволят своевременно обнаружить развитие негативных тенденций в состоянии строительного сооружения и предпринять своевременные меры по ремонту или выводу сооружения из эксплуатации.

Значимость фактора характерной неоднородности по прочности, особенно выраженной для бетонов, чьи ингредиенты разнятся по механическим свойствам, подчеркивает рекомендация 2.

Рекомендация 2. При анализе прочности бетонов как случайной величины следует учесть различие прочностных характеристик основных ингредиентов бетона.

Суть рекомендации 2 сводится к представлению анализируемой случайной величины суммой нескольких случайных величин.

Измеряемой величиной является прочность бетона h . Будем считать ее случайной величиной. Пусть в процессе измерений получена выборка значений прочности $h_1, h_2, \dots, h_n$, здесь n – объем выборки. Для удобства указанную выборку можно считать ранжированной, то есть $h_1 \leq h_2 \leq \dots \leq h_n$. Случайная величина h характеризуется выборочной плотностью распределения либо совокупностью выборочных мер положения и мер рассеяния.

Выборочная плотность распределения. Для построения выборочной плотности распределения g случайной величины h интервал $[H_0, H_k]$, здесь $H_0 \leq h_1$, а $H_k \geq h_n$ представляется объединением k интервалов одинаковой длины

$$[H_0, H_k] = [H_0, H_1) \cup [H_1, H_2) \cup [H_2, H_3) \cup \dots \cup [H_{k-1}, H_k]. \quad (2.4)$$

Выражение для оценки выборочной плотности распределения h имеет следующий вид

$$g(h) = \begin{cases} \frac{m_1}{n}, & h_i \in [H_0, H_1), i = 1..m_1 \\ \frac{m_2}{n}, & h_i \in [H_1, H_2), i = m_1 + 1..m_1 + m_2 \\ \dots \\ \frac{m_k}{n}, & h_i \in [H_{k-1}, H_k), i = m_1 + m_2 + \dots + m_{k-1} + 1..n \end{cases}. \quad (2.5)$$

Выборочные меры положения. Традиционно к выборочным мерам положения случайной величины относят среднее значение, медиану и моду.

Выборочное среднее значение прочности $\bar{h}$, медиана Meh и мода Moh находятся с помощью формул

$$\bar{h} = \frac{\sum_{i=1}^n h_i}{n}, \quad \sum_{h_i \leq Meh} 1 = \sum_{h_i > Meh} 1, \quad g(Moh) = \max_{h_i, i=1 \dots n} g(h) \quad (2.6)$$

Заметим, что оценки медианы Meh и моды Moh по формулам (3) являются недостаточно точными, их применяют для значительных объемов выборки.

Выборочные меры рассеяния. Наибольший интерес применительно к исследуемой задаче представляют следующие меры рассеяния: среднеквадратическое отклонение σh , коэффициент вариации Vh , коэффициент асимметрии Ah , коэффициент эксцесса Eh .

Указанные меры положения оцениваются по исходной выборке прочностью следующим образом

$$\sigma h = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (h_i - \bar{h})^2}{n}}, \quad Vh = \frac{\sigma h}{\bar{h}}, \quad Ah = \frac{\sum_{i=1}^n (h_i - \bar{h})^3}{n\sigma h^3}, \quad Eh = \frac{\sum_{i=1}^n (h_i - \bar{h})^4}{n\sigma h^4} - 3 \quad (2.7)$$

3 Оценка технического состояния металлических изделий по плотности распределения твёрдости по Роквеллу

3.1 Постановка эксперимента

3.1.1. Гипотезы

Конкретизируем предположение, высказанное выше, несколько сузив и расчленив его. Для этого необходимо определиться с объектами испытаний и оцениваемым параметром.

Объектами неразрушающих испытаний являются изделия из стали, в качестве которых выбраны стандартные образцы твердости по Роквеллу, Викерсу и Бринеллю. Такие изделия, не побывавшие в эксплуатации и хранившиеся в идеальных условиях, отличаются высоким качеством обработки поверхности, поэтому влияние шероховатости поверхности изделий на оценку характеристик твердости, как случайной величины, сводится к минимуму. Встречаются два вида повреждений испытуемых изделий – многочисленные механические повреждения и коррозия. Поверхности некоторых изделий подвергались механическим воздействиям не в равной степени. Внешний вид образцов представлен на рисунке 3.1.

Оцениваемым параметром объектов испытаний (анализируемой случайной величиной) является твердость поверхности объекта по Роквеллу в шкале С – HRC . Диапазон изменения твердости поверхности испытуемых образцов находится в интервале от 16 до 70 единиц твердости по Роквеллу в шкале С – HRC .

В работе [35] показано, что анализируемая случайная величина распределена по нормальному закону. Твердость поверхности испытуемого образца не может принимать отрицательных значений, поэтому, например, в

[20–24] для анализа твёрдости по Виккерсу используют комбинацию логнормального распределение и распределения Вейбулла.



а)



б)



в)



г)

Рисунок 3.1 – Образцы твердости

Сформулируем несколько предложений в форме гипотез применительно к измерению твёрдости по Роквеллу металлических изделий (испытываемых образцов) с различной степенью повреждения поверхности в процессе эксплуатации.

Гипотеза А. Твердость поверхности испытываемого образца как случайная величина распределена по логнормальному закону.

Выше подчёркнуто, что поверхности испытываемых образцов могут быть повреждены в разной степени. Сформулируем гипотезу, связанную с опровержением этого факта.

Гипотеза Б. Средние значения твердости противоположных поверхностей испытываемых образцов равны.

В случае, если гипотеза **A** не выполняется для некоторых образцов, то это будет свидетельством необходимости отказа от двухпараметрической характеристики твёрдости как случайной величины.

Невыполнения статистической гипотезы **B** позволяет сделать вывод о применимости на практике главной гипотезы.

Гипотеза B. Наиболее полно техническое состояние металлического изделия может быть оценено по плотности распределения анализируемой случайной величины.

3.1.2. Основные формулы

Измерения проводились динамическим измерителем твердости с выбираемой шкалой Константой – К5Д в соответствии с рекомендациями, указанными в технической документации или методической литературе.

Для каждой из больших сторон испытываемого образца формировались выборка твердости – $(HRC_1, HRC_2, \dots, HRC_n)$, здесь n – объем выборки, $n=100$ для всех испытываемых образцов. Испытывали 9 образцов.

Оценивались следующие выборочные параметры – среднее значение твердости $\overline{HRC}$, среднеквадратичное отклонение твердости σ_{HRC} .

Для проверки гипотезы **A** вычислялись $\bar{x} = \overline{\ln HRC}$ и $\sigma_{\ln HRC}$.

Формулы для вычисления $\overline{HRC}$, σ_{HRC} , $\overline{\ln HRC}$, $\sigma_{\ln HRC}$ имеют вид [35]

$$\begin{aligned} \overline{HRC} &= \frac{\sum_{i=1}^n HRC_i}{n} & \sigma_{HRC} &= \frac{\sum_{i=1}^n (HRC_i - \overline{HRC})^2}{n-1} \\ \overline{\ln HRC} &= \frac{\sum_{i=1}^n \ln HRC_i}{n} & \sigma_{\ln HRC} &= \frac{\sum_{i=1}^n (\ln HRC_i - \overline{\ln HRC})^2}{n-1} \end{aligned} \quad (3.1)$$

Для проверки гипотезы о принадлежности функции распределения случайной величины тому или иному классу распределений применяются критерий Пирсона [35]. В критерии Пирсона сравниваются эмпирический коэффициент $\chi^2_{\text{эмп}}$ и $\chi^2_{\gamma}(k)$, здесь γ – доверительная вероятность, k – число

степеней свободы. По результатам этого сравнения выдается заключение о подтверждении или опровержении выдвинутой статистической гипотезы.

Вычисление эмпирического коэффициента $\chi^2_{\text{эмп}}$ состоит из нескольких этапов [35]. На первом этапе вся область изменения анализируемой случайной величины разбивается на несколько интервалов l , рекомендации по выбору этих интервалов приведены в [35]. Эмпирический коэффициент $\chi^2_{\text{эмп}}$ вычисляется по формуле

$$\chi^2_{\text{эмп}} = \sum_{i=1}^l \frac{(m_i - nP_i)^2}{nP_i}, \quad (3.2)$$

где m_i – количество точек из анализируемой выборки, которые попали в i -ый интервал; P_i – теоретическая вероятность попадания в i -ый интервал.

В нашем случае анализируется логнормальное распределение, это означает, что натуральный логарифм от исходной случайной величины – $x = \ln HRC$ является нормально распределенной случайной величиной. Поэтому теоретические вероятности P_i находятся с помощью следующего выражения

$$P_i = \int_{x_{i-1}}^{x_i} \frac{1}{\sigma_x \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\xi)^2}{2\sigma^2}} dx, \quad (3.3)$$

где $x_0, x_1, \dots, x_l$ – разбиение области определения случайной величины x . Для рассматриваемого случая $x_0 = -\infty, x_l = \infty$.

Будем задаваться значением доверительной вероятности $\gamma = 0,95$.

Число степеней свободы k вычисляется исходя из числа интервалов разбиения l и числа параметров распределения, для логнормального распределения их два

$$k = l - 2 - 1 = l - 3. \quad (3.4)$$

По значениям k и γ из таблицы χ^2 [35] находится табличное значение $\chi^2_{\gamma}(k)$. Отметим, что для каждого образца может быть свое число анализируемых интервалов и свое число степеней свободы. Как правило, число анализируемых интервалов не должно быть меньше 5, следовательно, число степеней свободы не меньше 2.

Если выполняется условие

$$\chi_{\text{эмп}}^2 < \chi_{\gamma}^2(k), \quad (3.5)$$

то гипотеза о том, что распределение случайной величины $x = \ln HRC$ относится к классу нормальных распределений с доверительной вероятностью, равной γ . Для каждого испытуемого образца параметры нормального распределения – $\overline{\ln HRC}$ и $\sigma_{\ln HRC}$ вычисляются с помощью выражений (2.4).

Если условие (3.5) не выполняется, то предлагаемая гипотеза отвергается с соответствующей доверительной вероятностью.

3.2 Обработка экспериментальных данных

3.2.1 Проверка гипотезы А

В процедуру испытаний были вовлечены 9 образцов. Измерения проводились с двух сторон. В таблицу 1 сведены результаты оценки следующих 1 параметров $\overline{HRC}$, σ_{HRC} , $\overline{\ln HRC}$, $\sigma_{\ln HRC}$ и $\chi_{\text{эмп}}^2$. В таблице 1 также указывается соответствие (+) или несоответствие (–) гипотезе А экспериментальных данных для рассматриваемого образца.

Таблица 3.1 – Сводная таблица обработки экспериментальных данных*

№ образца	$\overline{HRC}$	$\overline{\ln HRC}$	σ_{HRC}	$\sigma_{\ln HRC}$	$\chi_{\text{эмп}}^2$	Соответствие гипотезе	Примечание
1–1	43,844	3,77	5,88	0,143	29,634	–	ММП
1–2	44,781	3,80	4,88	0,112	1,649	+	
2–1	31,834	3,45	4,8	0,150	2,040	+	
2–2	34,073	3,52	3,02	0,088	2,097	+	
3–1	32,18	3,40	2,34	0,084	18,024	–	ММП
3–2	34,163	3,52	3,96	0,111	7,071	–	ММП
4–1	30,82	3,42	3,77	0,125	8,687	+	
4–2	30,864	3,42	4,71	0,158	9,341	+	
5–1	48,745	3,83	4,44	0,094	35,889	+	
5–2	49,157	3,89	3,93	0,085	18,315	–	ММП, КП
6–1	56,523	4,03	3,44	0,062	5,536	+	
6–2	57,187	4,01	1,73	0,032	24,859	–	ММП, КП
7–1	20,57	3,02	1,52	0,071	4,158	+	

Продолжение таблицы 3.1

№ образца	$\overline{HRC}$	$\overline{\ln HRC}$	σHRC	$\sigma \ln HRC$	$\chi^2_{эмп}$	Соответствие гипотезе	Примечание
7–2	19,949	2,99	1,39	0,066	6,665	+	
8–1	21,818	3,08	1,16	0,050	28,724	–	ММП
8–2	21,825	3,08	1,04	0,044	18,793	–	ММП
9–1	16,948	2,83	0,84	0,048	8,262	–	ММП
9–2	16,764	2,82	0,967	0,056	1,671	+	ММП

* В примечаниях: ММП – многочисленные механические повреждения; КП – коррозионные поражения.

В результате анализа данных, приведенных в таблице 1 можно сделать следующий вывод – гипотеза о том, что твердость как случайная величина имеет логнормальное распределение (гипотеза А), подтверждается в 10 случаях, а не подтверждается в 8 случаях. Очевидно, что изначально обе измерительные поверхности одного и того же образца были практически идентичными по твердости.

Для объяснения полученных расхождений были проведены визуально-оптические испытания образцов с помощью простейших оптических приборов – измерительной лупы HORIZON 10×4 и микроскопа МПБ-2. Особые отличия поверхности оформлены в виде примечаний, отмеченных в таблице 1. Анализ полученных испытаний и результатов экспериментальных исследований показал, что расхождение заключений о характере распределения твердости как случайной величины для разных поверхностей одного и того же объекта объясняется степенью поражения поверхности коррозией или степенью механических повреждений. Указанный вывод качественно свидетельствует о том, что характер распределения твердости как случайной величины изменяется при механических и химических воздействиях на поверхность металла. В пользу этого вывода говорят и результаты работы [19].

Замечание. Используемый в экспериментах динамический измеритель твердости металлов Константа – К5Д не в полной мере соответствует поставленной задаче, он имеет значительную погрешность единичного измерения твердости и малую разрядность. Более предпочтительным было бы

применение для измерения твердости прибора Константа – К5У того же производителя, отличающегося более высокой точностью оценки твердости, применяющегося для более тонких и менее массивных испытуемых образцов. Дополнительным достоинством прибора Константа – К5У является существенно меньшая повреждаемость поверхности испытуемого изделия, что обуславливается применением другого физического принципа для оценки твердости поверхности металла.

3.2.2. Проверка гипотезы Б

Целью исследований является обоснование возможности оценки технического состояния металлических изделий по результатам измерения твердости. В разделе 3.1 приводятся результаты экспериментальной оценки выборочных параметров распределения твердости. К выборочным параметрам относятся $\overline{HRC}$ – среднее значение твердости и σ_{HRC} – среднее квадратичное отклонение.

Проверим возможность идентификации материала объекта испытаний по среднему значению твердости и среднеквадратичному отклонению. Исходя из цели исследований, будем сравнивать данные по парам, то есть для двух поверхностей каждого образца. Воспользуемся критерием Стьюдента для проверки статистической гипотезы Б о равенстве средних значений твердости противоположных поверхностей испытуемых образцов.

Критерий Стьюдента основан на сравнении эмпирического коэффициента и табличного коэффициентов Стьюдента $t_{эмп}$ и $t_\gamma(k)$, здесь γ – доверительная вероятность, k – число степеней свободы. Число степеней свободы связано с объемами исходных выборок n_1 и n_2 простейшим соотношением – $k=n_1+n_2-2$. Формула для вычисления эмпирического коэффициента Стьюдента $t_{эмп}$ для рассматриваемой гипотезы Б имеет следующий вид

$$t_{\text{эмп}} = \frac{|\overline{HRC_1} - \overline{HRC_2}|}{\sqrt{\frac{\sigma_{HRC_1}^2}{n_1} - \frac{\sigma_{HRC_2}^2}{n_2}}}, \quad (3.6)$$

здесь индексы 1, 2 соответствуют поверхности испытываемого образца.

Табличное значение коэффициента Стьюдента для доверительной вероятности $\gamma=0,95$ и числа степеней свободы $k=198$ равно $t_{0,95}(198)=2,04$.

В таблице 2 приведены значения эмпирических коэффициентов Стьюдента $t_{\text{эмп}}$, рассчитанные по формуле (3.6). Исходные данные для расчетов взяты из таблицы 1. В таблице 2 знак «+» означает подтверждение гипотезы **Б** с заданной доверительной вероятностью, а знак «−» свидетельствует о том, что гипотеза **Б** не подтвердилась.

Таблица 3.2 – Проверка гипотезы **Б** по критерию Стьюдента

Параметр	Образец								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$t_{\text{эмп}}$	1,226	3,948	4,311	0,073	0,694	1,724	3,014	0,045	1,436
Согласие с гипотезой Б	+	−	−	+	+	+	−	+	+

Полученные результаты свидетельствуют о наличии образцов, у которых средние значения твердости поверхностей различаются с доверительной вероятностью 95 %.

3.2.3. Проверка гипотезы **В**

Анализ результатов, представленных в таблицах 3.1 и 3.2, позволяет утверждать, что существующих подходов к оценке технического состояния металлического объекта по анализируемой случайной величине недостаточно. Указанный вывод свидетельствует о том, что наиболее полно техническое состояние металлического объекта может быть оценено по плотности распределения твёрдости.

Получение более достоверных данных для комплексной проверки гипотезы **В** связано с необходимостью в проведении большего объема (большое

количество образцов) исследований выборочных характеристик твердости как случайной величины с помощью более точных и широкодиапазонных измерителей твердости и привлечения более совершенных методов оценки качества испытываемых изделий, например, цифровых оптических микроскопов.

3.3. Выводы

В результате анализа экспериментальных данных можно с определенной долей уверенности сделать вывод о возможности оценки технического состояния металлических изделий в процессе эксплуатации по измерениям твердости поверхности испытываемых изделий по Роквеллу. Формируемая выборка значений твердости должна иметь значительный объем. В качестве критерия для оценки технического состояния испытываемых изделий предлагается использовать не только смещения оценок среднего значения и уровня рассеяния твердости по поверхности, но и изменение характера выборочного распределения.

4 Оценка технического состояния бетонных изделий по прочности

4.1 Постановка эксперимента

Для оценки мер положения и рассеяния прочности на сжатие h был обследован шестнадцатизэтажный жилой дом с цокольным этажом. Основные элементы испытанного объекта изготовлены из бетона. Исследования проводились в два этапа. На первом этапе оценивалась прочность бетона на сжатие ультразвуковым прибором «Пульсар–1.1». На втором этапе прочность бетона на сжатие определялась ударно-импульсным методом с использованием прибора «Оникс–2.4».

Выборочные плотности распределения. На рисунке 4.1 приведены типичные выборочные плотности распределения $g(h)$ для измерений прочности бетона одного и того же объекта на сжатие ультразвуковым и ударно-импульсным методами. Зависимости $g(h)$ рассчитывались с помощью выражений (1), (2). Объем выборки в обоих случаях $n=101$.

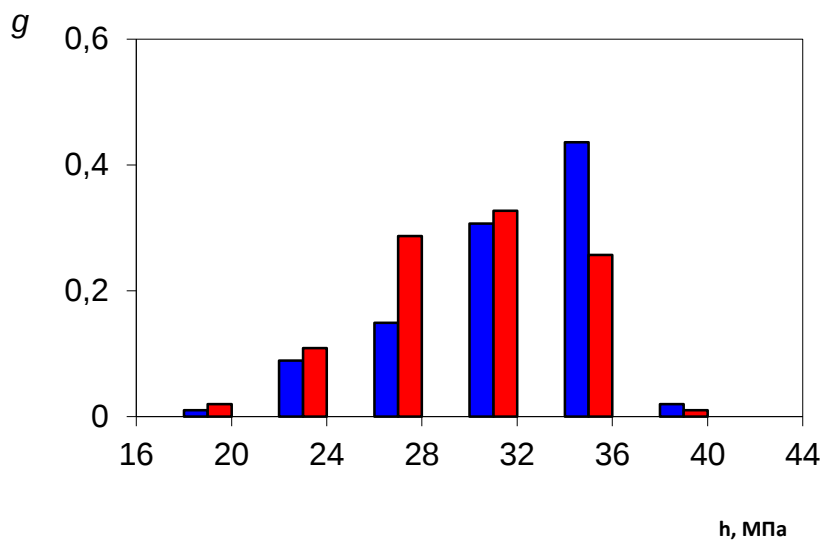


Рисунок 4.1 Типичные выборочные плотности распределения прочности бетона на сжатие:

- – измерение ультразвуковым методом (Пульсар–1.1);
- – измерение ударно-импульсным методом (Оникс–2.4)

Коэффициент корреляции между измерениями прочности на сжатие двумя различными методами составил 0,975. Из анализа данных, приведенных на рисунке 4.1, можно сделать вывод о том, что выборочные плотности распределения прочности бетона испытываемых объектов имеют выраженную левостороннюю асимметрию для рассматриваемых методов измерений. Отметим, что в [35–38] приведены аналогичные зависимости.

Меры положения и рассеяния. Вся совокупность экспериментальных данных была обработана с целью получения оценок мер положения и рассеяния анализируемой случайной величины. Вычисления проводились по формулам (2.3) и (2.4). Результаты обработки сведены в таблицу 4.1.

Таблица 4.1 – Меры положения и рассеяния прочности на сжатие бетона

$\bar{h}$, МПа	Meh , МПа	Moh , МПа	σh , МПа	Vh	Ah	EH	Примечание
27,34	26,6	26,5	5,517	0,202	0,348	–0,354	колонны
23,60	23,0	23,4	3,786	0,160	0,549	–0,116	колонны
28,40	28,5	32,7	3,921	0,138	–0,366	–0,523	колонны
25,70	27,1	28,6	5,168	0,201	–0,826	0,392	колонны
31,67	32,3	32,6	2,180	0,069	–1,730	3,640	перекрытия
27,58	30,3	30,6	6,470	0,235	–1,020	0,003	перекрытия
27,21	29,1	30,1	6,500	0,239	–0,764	–0,037	перекрытия
27,74	30,8	34,9	8,273	0,298	–0,668	–1,275	перекрытия
25,28	26,6	***	7,237	0,286	–0,463	–1,082	перекрытия
26,79	27,3	33,1	7,298	0,272	–0,407	–1,187	перекрытия
22,68	23,1	29,3	6,650	0,293	0,176	–0,842	перекрытия
23,85	23,2	19,7	6,114	0,256	0,218	–1,241	перекрытия
23,88	25,7	25,7	5,363	0,225	–0,416	–0,657	перекрытия
26,78	26,3	32,6	5,730	0,214	–0,519	–0,800	перекрытия
23,97	25,3	17,7	5,597	0,234	–0,555	–0,828	перекрытия
26,16	26,2	29,7	5,913	0,226	–0,622	–0,158	перекрытия
27,05	29,4	29,5	5,540	0,205	–0,812	–0,336	перекрытия
26,20	27,7	20,8	5,688	0,217	–0,365	–0,833	перекрытия
27,42	28,5	26,7	5,678	0,207	–0,847	0,306	перекрытия
30,49	31,6	31,4	3,480	0,114	–2,151	5,723	перекрытия
30,47	32,3	32,1	3,525	0,116	–1,032	–0,420	перекрытия

В таблице 4.1 значок ”***” означает наличие у выборочной плотности распределения нескольких локальных максимумов.

Из анализа данных, приведенных в таблице, можно сделать два основных вывода. 1. Практически для всех образцов испытываемых элементов значение

коэффициента асимметрии меньше нуля (17 случаев из 21), что является свидетельством левой асимметрии выборочных плотностей распределения. 2. В 16 случаях из 21 значение коэффициента эксцесса меньше нуля, это означает, что соответствующие выборочные плотности распределений имеют плоские вершины. Одним из наиболее вероятных объяснений указанных фактов является заметная неоднородность бетона по прочности на сжатие.

4.2 Интерпретация результатов экспериментальных исследований

Среднее значение прочности бетона на сжатие является основным информационным параметром анализируемых измерений. Очевидно, что указанного параметра в ряде случаев недостаточно. В настоящее время для оценки текущего технического состояния бетонных изделий помимо среднего значения применяют также среднеквадратическое отклонение и коэффициент вариации прочности бетона [36, 38–41]. В целях повышения уровня достоверности измерения есть необходимость в увеличении количества оцениваемых параметров. Возникает вопрос о том, какой еще параметр, из приведенных выше мер положения и мер рассеяния, может нести дополнительную информацию о случайной величине h ? Проверим, можно ли в результате анализа данных, приведенных в таблице 1, с определенной долей уверенности ответить на этот вопрос.

Рассмотрим множество $\mathbf{A}$, представляющее совокупность параметров, которые могут быть использованы для оценки технического состояния бетона по измерениям его прочности на сжатие. В формализованном виде множество $\mathbf{A}$ описывается выражением

$$\mathbf{A} = \{\bar{h}, Meh, Moh, \sigma h, Vh, Ah, Eh\}. \quad (4.1)$$

Пусть параметр $x \in \mathbf{A}$ (5) используется на практике для оценки технического состояния бетона. Логично считать элемент $y \in \mathbf{A}$ (4.1) информационно-избыточным для решаемой задачи, если коэффициент корреляции $\text{cor}(x, y)$ близок по абсолютной величине к единице. Из практических

соображений можно ограничиться некоторым предельным уровнем u_+ . С учетом этого указанное условие будет иметь вид

$$|\text{cor}(x, y)| = \left| \frac{\overline{xy} - \bar{x}\bar{y}}{\sigma_x \sigma_y} \right| \geq u_+. \quad (4.2)$$

Уровень u_+ находится из практических соображений, но представляется возможным ограничить его снизу, например, значением 0,66.

Элемент $y \in \mathbf{A}$ (4.1) назовем информационно-дополнительным для параметра $x \in \mathbf{A}$ (4.1), если коэффициент корреляции $\text{cor}(x, y)$ близок по абсолютной величине к нулю. Соответствующую степень близости зададим ограничением, аналогичным (4.2),

$$|\text{cor}(x, y)| = \left| \frac{\overline{xy} - \bar{x}\bar{y}}{\sigma_x \sigma_y} \right| \leq u_-, \quad (4.3)$$

здесь u_- – верхний порог отнесения параметра y к классу дополнительных информационных параметров для x . Уровень u_- также находится из практических соображений, но его можно ограничить сверху значением 0,33.

Заметим, что при фиксированном параметре x второй параметр y должен пробегать множество $\mathbf{A}$ (4.1) без элемента x ; соответствующее выражение имеет вид $y \in \mathbf{A} \setminus \{x\}$.

Замечание 1. Информационная избыточность или возможность отнесения анализируемого параметра к классу дополнительных информативных параметров проверяется для конкретных выборок прочности бетона на сжатие.

В таблицу 4.2 сведены все значения $\text{cor}(x, y)$, $x \in \mathbf{A}$, $y \in \mathbf{A} \setminus \{x\}$ для данных из таблицы 4.1. В таблице 4.2 ”*” отмечены значения корреляции, свидетельствующие об информационной избыточности соответствующих параметров (4.2), а ”**” – об отнесении к классу дополнительных информативных параметров (4.3). Например, при анализе выборочных параметров прочности бетона испытываемых объектов на сжатие нет необходимости одновременно исследовать среднее значение и медиану, среднеквадратическое значение и моду, коэффициент асимметрии и моду.

Напротив, в дополнение к моде следует анализировать либо среднеквадратическое отклонение, либо коэффициент вариации.

Таблица 4.2 – Коэффициенты взаимной корреляции параметров прочности бетона на сжатие

Параметры	$\bar{h}$	Meh	Moh	σh	Vh	Ah	$ Eh$
$\bar{h}$		0,924*	0,628	-0,464	-0,667*	-0,759*	0,607
Meh	0,924*		0,613	-0,280**	-0,492	-0,826*	0,511
Moh	0,628	0,613		-0,004**	-0,172**	-0,458	0,249
σh	-0,464	-0,280**	-0,004**		0,965*	0,367	-0,640
Vh	-0,667*	-0,492	-0,172**	0,965*		0,502	-0,688*
Ah	-0,759*	-0,826*	-0,458	0,367	0,502		-0,756*
$ Eh$	0,607	0,511	0,249**	-0,640	-0,688*	-0,756*	

Замечание 2. Параметр прочности бетона на сжатие y , не отнесенный к категории информативных параметров x , но для которого выполняется условие $u_- < |\text{cor}(x,y)| < u_+$, может быть использован для повышения достоверности заключений о техническом состоянии бетонных изделий.

Замечание 3. Подход, описанный выше, позволяет увеличить число информативных параметров процесса измерения прочности бетона, в отличие от работы [38], в которой предпринята попытка построить регрессионные зависимости мер положения от мер рассеяния, что, по сути дела, приводит к уменьшению информативности измерений прочности.

4.3 О смеси распределений

Данные из таблицы 4.1 свидетельствуют о том, что для большей части испытанных образцов выборочные распределения обладают ярко выраженной асимметрией и имеют плоские вершины. В работе [38] приведены многочисленные результаты, иллюстрирующие многообразие видов выборочных распределений прочности, которые могут быть симметричными и с выраженной асимметрией, плосковершинными и островершинными, выпуклыми и вогнутыми, с одной и двумя модами. В указанной работе

предпринята достаточно успешная попытка выбрать или построить плотности распределения для каждого из видов экспериментальных распределений прочности. Однако, на наш взгляд, такое решение является сложным для оценки технического состояния бетона в процессе длительной эксплуатации, так как на различных этапах эксплуатации анализируемые распределения имеют различный вид. В качестве альтернативы решению из [38] можно использовать подход, основанный на предположении о том, что измеряемая случайная величина является смесью двух и более случайных величин. Упомянутое предположение близко к идеям из работы [42], в которой анализируются статистические характеристики модулей упругости, твердости и ползучести бетона, измеренных с помощью наноиндентирования. Продемонстрируем, как можно применить указанное предложение для обработки результатов экспериментальных исследований прочности бетона.

Пусть мы имеем выборку из смеси двух случайных величин. Одна из них характеризует, например, прочность на сжатие для крупнозернистой составляющей h_b , а вторая – прочность на сжатие мелкозернистой составляющей h_s . Плотность распределения результирующей случайной величины h описывается выражением

$$g(h) = \alpha g_b(h) + (1 - \alpha) g_s(h), \quad (4.4)$$

где α , $0 < \alpha < 1$ – весовой множитель, характеризующий долю крупнозернистой составляющей в общем объеме бетона.

Для использования (8) на практике могут быть предложены два подхода. Оба этих подхода базируются на результатах эксперимента. В первом из них оцениваются плотности распределений $g_b(h)$ и $g_s(h)$ по специальным образцам. Во втором подходе заранее предполагается характер распределений, параметры которых и значение весового множителя α находятся в результате обработки экспериментальных данных, например, методом моментов. Второй подход представляется более реалистичным, но следует отметить, что в нем разделяются материалы не по минеральным составляющим, а по уровням прочности.

Более подробно рассмотрим второй подход. Для описания плотностей распределений $g_b(h)$ и $g_s(h)$ может быть использована плотность нормального распределения

$$g_b(h) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_b} e^{-\frac{(h-\bar{h}_b)^2}{2\sigma_b^2}} ; g_s(h) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_s} e^{-\frac{(h-\bar{h}_s)^2}{2\sigma_s^2}} , \quad (4.5)$$

где $\bar{h}_b, \sigma_b, \bar{h}_s, \sigma_s$ – параметры распределений $g_b(h)$ и $g_s(h)$. Возможны два варианта нахождения параметров $\bar{h}_b, \sigma_b, \bar{h}_s, \sigma_s$. В первом варианте искомые параметры определяются экспериментально по тестовым образцам, изготовленным из цементного камня и каменного материала, используемого в производстве щебня. Во втором варианте анализируемые параметры считаются неизвестными и определяются в результате статистического анализа выборок прочности.

Для вычисления параметров $\bar{h}_b, \sigma_b, \bar{h}_s, \sigma_s$ и α можно использовать метод наименьших квадратов, сводящийся к минимизации по искомым неизвестным параметрам функции

$$F(\bar{h}_b, \sigma_b, \bar{h}_s, \sigma_s, \alpha) = \sum_{k=1}^K \left(\frac{\alpha}{\sqrt{2\pi}\sigma_b} \int_{H_{k-1}}^{H_k} e^{-\frac{(h-\bar{h}_b)^2}{2\sigma_b^2}} dh + \frac{1-\alpha}{\sqrt{2\pi}\sigma_s} \int_{H_{k-1}}^{H_k} e^{-\frac{(h-\bar{h}_s)^2}{2\sigma_s^2}} dh - g_k \right)^2 , \quad (4.6)$$

где $H_0, H_1, \dots, H_K$ – разбиение диапазона изменения прочности на K интервалов; $g_k, l=1 \dots K$ – выборочная плотность распределения. Нахождение неизвестных легко реализуется на любом языке программирования высокого уровня, а также с помощью систем для математических вычислений MathCad, MathLab и других.

Подход, основанный на минимизации функции (4.6) позволяет подтвердить или опровергнуть с заданной доверительной вероятностью статистическую гипотезу о близости выборочного и бимодального распределений.

Замечание 3. Наличие двух мод у распределения, определенного выражениями (4.4), (4.5), может быть явным и скрытым. Две моды определяются

явно, если выполняется два основных условия. В формализованном виде упомянутые условия описываются ограничениями

$$\alpha \approx 0,5; \quad |\bar{h}_b - \bar{h}_s| \gg \sigma_b + \sigma_s.$$

Во всех остальных случаях, даже при выборках значительного объема и большом количестве интервалов для построения выборочных плотностей распределения, сделать заключение о бимодальном характере функции $g(h)$, исходя из визуального анализа выборочной плотности распределения прочности бетона на сжатие, затруднительно.

Пример обработки результатов экспериментальных исследований. Для демонстрации работоспособности алгоритма были обработаны результаты измерения прочности бетона для образца № 2 из таблицы 4.1. Объем выборки $n=163$. На рис. 2 для иллюстрации приведена экспериментальная гистограмма и аппроксимация (4.4) с параметрами $\bar{h}_s = 20,7$ МПа, $\bar{h}_b = 22,4$ МПа, $\sigma_s = 0,46$ МПа, $\sigma_b = 4,23$ МПа и $\alpha = 0,852$, которые определены методом наименьших квадратов.

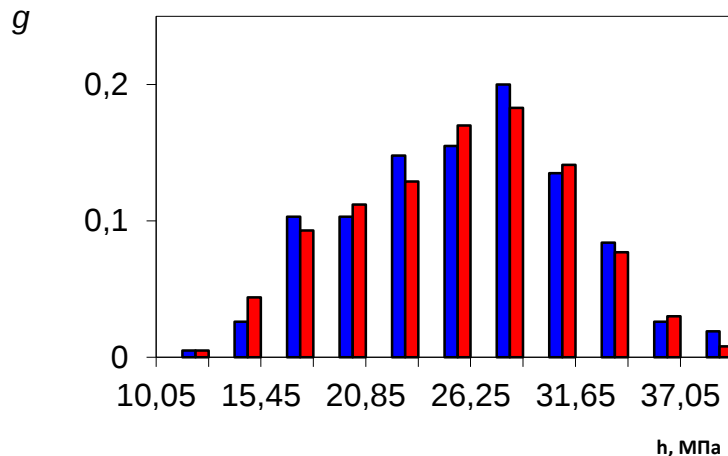


Рисунок 4.2 – Экспериментальная плотность распределения и аппроксимация (8), (9):

■ – эксперимент; ■ – аппроксимация (8), (9)

Для проверки статистической гипотезы о близости экспериментальной плотности распределения и анализируемой аппроксимации был использован критерий Пирсона. Эмпирический коэффициент χ^2 оказался близок к 3,15. Все

вычисления осуществлены в системе MathCad. Значение же соответствующего табличного коэффициента для доверительной вероятности 95 % и числа степеней свободы 8 равно 15,5. Отсюда, исходя из критерия Пирсона, можно сделать вывод о том, что выборочная гистограмма близка к аппроксимации (4.6), с вычисленными параметрами, с доверительной вероятностью 95 %. Указанный вывод согласуется с результатами визуального сравнения гистограмм, приведенных на рисунке 4.2.

4.4 Выводы

В работе введены понятия информационно-избыточного и информационно-дополнительного параметров прочности бетона. На основе анализа выборочных распределений прочности бетона на сжатие доказана необходимость в дополнительных информативных параметрах прочности. Продемонстрировано, что основная часть испытанных объектов имеет выборочные распределения с плоской вершиной и выраженной левой асимметрией. Выдвинуто предположение о наличии нескольких мод у выборочных распределений прочности бетонов на сжатие. Это предположение рассмотрено и проиллюстрировано на экспериментальном примере для бимодального распределения на основе суперпозиции двух нормальных распределений.

5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

5.1 Предпроектный анализ

В настоящее время строительство является одной из ведущих отраслей промышленности и производства. Для обеспечения надлежащего качества строительства, а также для поддержания технического состояния зданий и сооружений на уровне, отвечающем запросам потребителя, необходимо проведение неразрушающего контроля и диагностики новыми, современными методами.

Для оценки технического состояния строительных материалов, в частности бетона, используется механическая характеристика прочности материала. Результат единичного измерения прочности материала механическими методами рассматривают как случайную величину. Следовательно, для оценки этих величин применяют методы статистической обработки. Однако, на практике, выборка измерений составляет 10–12 измерений, что не является достаточным для полноценного анализа и оценки прочности материала.

Таким образом, работы по совершенствованию механических методов оценки технического состояния изделий путем повышения информативности процесса измерения прочностных характеристик являются актуальными, что подтверждается анализом литературных источников.

5.1.1 Анализ конкурирующих разработок с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Анализ используется для точного оценивания разработок, способных оказать конкуренцию среди всех существующих на рынке. Основной цель –

внести изменения в научное исследование для получения конкурентных преимуществ перед другими аналогичными разработками или существующими технологиями.

Позиция разработки и конкурентоспособности оценена по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная.

Для оценочной карты, представленной в таблице 1, были выбраны следующие разрабатываемые на сегодняшний день и конкурирующие технические решения:

- 1 – метод разрушающих испытаний;
- 2 – механический метод измерения твердости;
- 3 – ультразвуковой метод.

Анализ конкурентоспособности технических решений определялся по формуле 1:

$$K = \sum B_j B_j , \quad (5.1)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки;

B_j – вес показателя;

B_j – балл показателя.

Таблица 5.1 – Оценочная карта для сравнения конкурирующих разработок

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б ₁	Б ₂	Б ₃	К ₁	К ₂	К ₃
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1.Чувствительность метода	0,1	4	3	4	0,4	0,3	0,4
2.Достоверность метода	0,1	4	3	4	0,4	0,3	0,4
3.Производительность операций контроля	0,05	3	2	4	0,15	0,1	0,2
4.Условия проведения контроля	0,1	4	2	4	0,4	0,2	0,4

Продолжение таблицы 5.1

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б ₁	Б ₂			Б ₁	Б ₂
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
5.Степень разработки метода	0,1	4	2	2	0,4	0,2	0,2
6.Возможность мобильного мониторинга объекта контроля	0,05	4	2	4	0,2	0,1	0,2
7.Простота проведения контроля	0,05	3	2	3	0,15	0,1	0,15
8.Необходимость в дополнительном оборудовании	0,05	4	3	4	0,2	0,15	0,2
9.Безопасность контроля	0,15	5	4	5	0,75	0,6	0,75
10. Потребность в ресурсах памяти	0,05	4	2	4	0,2	0,1	0,2
Экономические критерии оценки эффективности							
1.Уровень проникновения на рынок	0,05	4	3	4	0,2	0,15	0,2
2.Цена оборудования	0,05	4	3	4	0,2	0,15	0,2
3.Предполагаемый срок эксплуатации	0,05	4	4	4	0,2	0,2	0,2
4.Финансирование научной разработки	0,05	4	3	4	0,2	0,15	0,2
Итого	1	55	38	54	4,05	2,8	3,9

По результатам анализа выявленных критериев видно, что на данный момент предлагаемой разработке основную конкуренцию составляет ультразвуковой метод. Основное преимущество данного метода в дешевизне проведения оценки.

5.1.2 SWOT–анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – комплексный анализ научно-исследовательского проекта, производящийся в несколько этапов.

Первый этап – описание сильных и слабых сторон проекта, выявление возможностей и угроз для реализации проекта, которые появились или могут появиться в его внешней среде. Результаты первого этапа SWOT – анализа представлены в таблице 5.2.

Второй этап – выявление соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Каждый фактор помечен либо знаком «+» (сильное соответствие сильных сторон возможностям), либо знаком «-» (слабое соответствие); «0» – если есть сомнения в том, что поставить «+» или «-». В рамках данного этапа построена интерактивная матрица проекта, приведенная в таблице 5.3.

Данная матрица помогает разобраться с различными комбинациями взаимосвязей областей SWOT-анализа, выявить степень необходимости проведения стратегических изменений.

Таблица 5.2 – Комплексный анализ научно-исследовательского проекта

Характеристика	Описание
Сильные стороны	С1. Повышенная информативность измерения прочности по сравнению с существующими методами. С2. Отсутствие подобных алгоритмов обработки информации. С3. Наличие бюджетного финансирования.
Слабые стороны	Сл1. Алгоритм требует большего числа выборки. Сл2. Увеличение умственных и временных затрат на обработку

Продолжение таблицы 5.2

Характеристика	Описание
Возможности	В1. Алгоритм позволит усовершенствовать методы измерения прочности. В2. Повышение точности и достоверности процесса измерений. В3. Увеличение срока службы конструкций из металла и строительного материала. В4. Возможность уменьшить риск возникновения аварийных ситуаций в результате разрушения строительных сооружений.
Угрозы	У1. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства. У2. Отсутствие спроса на разработку

Таблица 5.3 – Интерактивная матрица проекта

		Сильные стороны			Слабые стороны	
		С1	С2	С3	Сл1	Сл2
Возможности проекта	В1	+	+	–	+	+
	В2	+	+	–	+	+
	В3	+	+	–	–	0
	В4	+	–	0	0	0
Угрозы проекта	У1	–	–	+	+	+
	У2	–	–	–	+	+

Третий этап – составление итоговой матрицы SWOT – анализа. Результаты данного этапа представлены в таблице 5.4.

Таблица 5.4 – SWOT – анализ

	Сильные стороны	Слабые стороны
Возможности проекта	Результаты данного исследования могут значительно увеличить точность и достоверность измерения прочности, следовательно, увеличить надежность оценки технического состояния изделий;	Введение в практику нового алгоритма увеличат время проведения измерений.
Угрозы проекта	Несвоевременное финансовое обеспечение научного проекта ведет к приостановке исследования	Увеличение времени и умственных затрат на обработку

Данные результаты SWOT – анализа учитываются при разработке структуры работ, выполняемых в рамках научно-исследовательского проекта.

5.2 Инициация проекта

Цель проекта заключается в совершенствовании механических методов оценки технического состояния изделий на основе анализа твердости и прочности, полученных в результате единичных актов измерений, как случайных величин.

Результат проекта – алгоритм обработки информации, позволяющие повысить надежность и достоверность результатов механических испытаний для

оценки технического состояния изделий и строительных материалов в процессе их длительной эксплуатации.

Заинтересованными сторонами является кафедра физических методов и приборов контроля качества института неразрушающего контроля НИИ ТПУ, а также кафедра оснований, фундаментов и испытания сооружений.

5.2.1 Организационная структура проекта

Организационная структура проекта раскрывает рабочую группу данного проекта, позволяет наглядно оценить роль каждого участника в проекте, а также прописать функции, выполняемые каждым из участников и их трудозатраты в проекте.

Организационная структура проекта включает в себя рабочую группу данного проекта, роль каждого участника, а также функции, выполняемые каждым из участников и их трудозатраты в проекте. Рабочая группа проекта представлена в таблице 5.5.

Таблица 5.5 – Организационная структура проекта

Ф.И.О., должность	Роль в проекте	Функции	Трудо-затраты, час
Жантыбаев А.А., магистрант	Исполнитель	Выполнение запланированных по проекту работ	720
Осипов С. П., к.т.н., в.н.с. Российско-китайской научной лаборатории радиационного контроля и досмотра	Руководитель	Консультирование по экспериментальной деятельности исполнителя	180
Итого			900

5.3 Планирование управления научно – техническим проектом

5.3.1 План проекта

План проекта включает в себя построение линейного календарного графика проекта, а также диаграммы Ганта.

Линейный календарный график по данному проекту с указанием перечня и продолжительности работ приведен в таблице 5.6.

Таблица 5.6 – Линейный календарный план проекта

Наименование работ	Срок выполнения	Длит., дни	Участники
Определение темы проекта. Постановка задач	10.2014	2	Руководитель Исполнитель
Ознакомление со способами измерения твердости и прочности	10.2014	6	Исполнитель
Анализ научно-технической литературы, посвященной измерению твердости	11.2014– 12.2014	16	Исполнитель
Составление структуры диссертации	01.2015	2	Руководитель Исполнитель
Освоение навыков проведения экспериментальных исследований	02.2015– 03.2015	16	Исполнитель
Освоение навыков обработки экспериментальной информации	04.2015	8	Исполнитель
Проведение цикла экспериментальных работ	04.2015	16	Исполнитель
Анализ результатов экспериментальных работ	05.2015– 06.2015	8	Руководитель Исполнитель

Продолжение таблицы 5.6

Наименование работ	Срок выполнения	Длит., дни	Участники
Формулирование и проверка гипотезы о характере распределений анализируемой случайной величины	07.2015, 09.2015	16	Руководитель Исполнитель
Проведение цикла вычислительных экспериментов для анализа смесей распределений анализируемых случайных величин	09.2015	4	Руководитель Исполнитель
Разработка алгоритма разделения смесей распределений двух и более анализируемых случайных величин	10.2015– 12.2015	16	Руководитель Исполнитель
Формулирование рекомендаций по повышению эффективности применения методов измерения твёрдости, предназначенных для оценки технического состояния изделий из материалов с неоднородной структурой	12.2015	4	Руководитель Исполнитель
Составление диссертации	01.2016– 05.2016	64	Исполнитель

Трудоемкость разработки у исполнителя составила 178 дней, у руководителя – 48 дней.

Диаграмма Ганта на которой проектные работы представлены протяженными во времени отрезками, представлена в таблице 5.7.

Таблица 5.7 – Диаграмма Ганта по проекту

№	Вид работ	Исп. ¹	Т _к , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ																			
				2014г.			2015г.												2016г.				
				Окт.	Нояб.	Дек.	Янв.	Февр.	Март	Апр.	Май	Июнь	Июль	Сент.	Окт.	Нояб.	Дек.	Янв.	Февр.	Март	Апр.	Май	
1	Определение темы проекта. Постановка задач	Рук. Исп.	2																				
2	Ознакомление со способами измерения твердости и прочности	Исп.	6																				
3	Анализ научно-технической литературы, посвященной измерению твердости	Исп.	16																				
4	Составление структуры диссертации	Рук. Исп.	2																				
5	Освоение навыков проведения экспериментальных исследований	Исп.	16																				
6	Освоение навыков обработки экспериментальной информации	Исп.	8																				
7	Проведение цикла экспериментальных работ	Рук. Исп.	4																				
8	Анализ результатов экспериментальных работ	Рук Исп.	16																				
9	Формулирование и проверка гипотезы о характере распределений анализируемой случайной величины	Рук. Исп.	16																				
10	Проведение цикла вычислительных экспериментов для анализа смесей распределений анализируемых случайных величин	Рук. Исп.	4																				

№	Вид работ	Исп.	Т _к , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ																		
				2014г.			2015г.									2016г.						
				Окт.	Нояб.	Дек.	Янв.	Февр.	Март	Апр.	Май	Июнь	Июль	Сент.	Окт.	Нояб.	Дек.	Янв.	Февр.	Март	Апр.	Май
11	Разработка алгоритма разделения смесей распределений двух и более анализируемых случайных величин	Рук. Исп.	16																			
12	Формулирование рекомендаций по повышению эффективности применения методов измерения твёрдости, предназначенных для оценки технического состояния изделий из материалов с неоднородной структурой	Рук. Исп.	4																			
14	Составление диссертации	Исп.	64																			

 – Руководитель
  – Исполнитель

¹ Исп. – исполнитель; Рук. - руководитель

5.4 Бюджет научного исследования

5.4.1 Специальное оборудование для экспериментальных работ

В таблице 5.8 представлена информация о всех затратах, связанных с приобретением, изготовлением, арендой специального оборудования, необходимого для проведения экспериментальных работ, а также об амортизационных отчислениях специальных приборов и устройств, имеющихся в научно-технической организации, занимающейся проектом.

Таблица 5.8 – Расчет затрат на спецоборудование для научных работ

№	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, тыс. руб.	Общая стоимость оборудования, тыс. руб.
1	Измеритель прочности строительных материалов Оникс 2.4	1	57 000	57 000
2	Ультразвуковой измеритель прочности Пульсар 1.1	1	56 900	56 900
6	Компьютер	1	40000	40000
Итого				153 900

При выполнении экспериментальных работ по данному проекту использовалось имеющееся в научно-технической организации оборудование.

Амортизационные отчисления начисляется на оборудование стоимостью больше 100 000 рублей.

5.4.2 Расчет основной и дополнительной заработной платы, отчислений на социальные нужды и накладные расходы

Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы оплаты труда. Основная заработная плата включает в себя премию, выплачиваемую ежемесячно из фонда заработной платы. Расчет основной заработной платы сведен в таблицу 5.9.

Таблица 5.9 – Расчет основной заработной платы

№ п/п	Исполнители по категориям	Должность	Трудо- емкость, чел.-дн.	Заработная плата, приходящаяся на один чел.- дн., руб.	Всего заработная плата по тарифу (окладам), руб.
1	Руководитель	в.н.с., к.т.н.	48	1535,27	28 924,94
2	Исполнитель	м.н.с	178	449,71	9893,56

Основная заработная плата работников, непосредственно занятых выполнением проекта, (включая премии, доплаты) и дополнительная заработная плата рассчитывается по формуле 2:

$$C_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (5.2)$$

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата;

$Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата $Z_{\text{осн}}$ руководителя (лаборанта, инженера) от предприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по следующей формуле 5.3:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_{\text{раб}}, \quad (5.3)$$

где $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата одного работника;

$T_{\text{р}}$ – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.;

$Z_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле 5.4:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}}, \quad (5.4)$$

где $Z_{\text{м}}$ – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года: при отпуске в 24 рабочих дня $M = 11,2$ месяца, 5-дневная неделя; при отпуске в 48 рабочих дней $M = 10,4$ месяца, 6-дневная неделя;

$F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн. (при 5-дневной рабочей недели составляет 227 дней, при 6-дневной – 247 дней).

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{б}} \cdot (k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}}, \quad (5.5)$$

где $Z_{\text{б}}$ – базовый оклад, руб.;

$k_{\text{пр}}$ – премиальный коэффициент;

$k_{\text{д}}$ – коэффициент доплат и надбавок;

$k_{\text{р}}$ – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

В ТПУ премии, доплаты и надбавки включены в базовый оклад. Расчет основной заработной платы с учетом коэффициентов за весь проектный период сведен в таблицу 5.10.

Таблица 5.10 – Расчет основной заработной платы с учетом коэффициентов за весь проектный период

Исполнители	З _б , руб.	k _р	З _м , Руб	З _{дн} , руб.	T _р , раб. дн.	З _{осн} , руб.
Руководитель	28 924,94	1,3	37 602,42	1535,27	48	73 693
Исполнитель	9893,56	1,3	12861,63	449,71	178	80 048
Итого						153 741

Дополнительная заработная плата рассчитывается исходя из 10 – 15% от основной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнение темы.

Дополнительная заработная плата рассчитывается по формуле 5.6:

$$З_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot З_{\text{осн}}, \quad (5.6)$$

где $З_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата, руб.;

$k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной зарплаты;

$З_{\text{осн}}$ – основная заработная плата, руб.

Коэффициент дополнительной заработной платы $k_{\text{доп}} = 0,15$, который исходит из 15% от основной заработной платы. В таблице 11 приведена форма расчёта основной и дополнительной заработной платы за весь проектный период.

Таблица 5.11– Заработная плата исполнителей за весь проектный период

Заработная плата за проектный период	Руководитель	Исполнитель
Основная зарплата, руб.	73 693	80 048
Дополнительная зарплата, руб.	11 054	12 007
Зарплата, руб.	84 747	92 055
Итого по статье $C_{зп}$	176 802	

Отчисления во внебюджетные фонды рассчитывается по формуле 5.7:

$$C_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп}), \quad (5.7)$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (составляет 30%).

$$C_{внеб} = 0,3 \cdot 176\,802 = 53\,041 \text{ руб.}$$

Накладные расходы включают в себя затраты на управление и хозяйственное обслуживание, которые могут быть отнесены непосредственно на конкретную тему. Накладные расходы составляют 80 – 100 % от суммы основной и дополнительной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнение темы.

Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле 5.8:

$$C_{накл} = k_{накл} \cdot (З_{осн} + З_{доп}), \quad (5.8)$$

где $k_{накл}$ – коэффициент накладных расходов.

$$C_{накл} = 0,9 \cdot 176\,802 = 159\,121 \text{ руб.}$$

На основании полученных данных по статьям затрат составлена калькуляция плановой себестоимости научно-технического исследования (таблица 5.12).

Таблица 5.12 – Группировка затрат по статьям

№	Наименование статьи	Сумма, руб.
1	Специальное оборудование для экспериментальных работ	153 900
2	Основная заработная плата	153 741
3	Дополнительная заработная плата	23 061
4	Отчисления на социальные нужды	53 041
5	Накладные расходы	159 121
6	Итого плановая себестоимость	545 239

5.5 Проектная организационная структура научного исследования

Существуют несколько базовых вариантов организационных структур, таких как функциональная, проектная и матричная. После анализа критериев выбора для данного научного исследования была выбрана проектная организационная структура, представленная на рисунке 5.1.



Рисунок 5.1 – Проектная структура научного исследования

5.6 Реестр рисков проекта

Риски проекта включают в себя возможные неопределенные события, которые могут возникнуть в проекте и вызвать последствия, которые повлекут за собой нежелательные эффекты.

При рассмотрении рисков проекта уровень риска (высокий, средний, низкий) зависит от вероятного его наступления и степени влияния на проект. Риски с высокой степенью влияния и наибольшей вероятностью наступления относятся к рискам высокого уровня, риски с низкой степенью влияния и наименьшей вероятностью наступления – к рискам низкого уровня

Реестр рисков по данному проекту представлен в таблице 5.14.

Таблица 5.14 – Реестр рисков по проекту

№	Риск	Потенциальное воздействие	Вероятность наступления (1–5)	Влияние риска (1–5)	Уровень риска	Способы смягчения	Условия наступления
1	Аварийное отключение электропитания	Потеря данных	1	4	Средний	Регулярное сохранение данных, наличие нескольких копий	Чрезвычайная ситуация
2	Повреждение приборов	Отсутствие возможности проведения экспериментов	3	5	Высокий	Возможность проведения экстренного ремонта	Использование не по назначению, не проведения осмотра приборов
3	Отсутствие финансирования	Срыв графика исследований	1	4	Высокий	Наличие запаса необходимых материалов	Подвижность рыночной конъюнктуры
4	Заболевание исполнителя	Срыв графика исследований	2	4	Высокий	Планирование работ с учетом чрезвычайных ситуаций, укрепление иммунитета	Отсутствия регулярного медицинского осмотра
5	Отсутствие информативности в полученных данных	Срыв графика исследований	2	5	Высокий	Возможность использования полученных данных в других разработках	Некорректно поставленные задачи исследования

5.7 Заключение

По результатам проведения анализа экономических и ресурсоэффективных показателей исследования, можно заключить, что разрабатываемый алгоритм обработки информации результатов исследования, в значительной мере повышающий информативность измерения прочности материала, может дать значительный экономический эффект в сфере строительства и диагностики. Данное исследование нацелено на повышение надежности процессов оценки технического состояния изделий и строительного материала, что напрямую влияет на срок службы сооружений, следовательно, и на величину ресурсов, затрачиваемых на ремонт и мониторинг технического состояния.

6 Социальная ответственность

6.1 Производственная безопасность

Согласно ГОСТ 12.0.003–74 [43] составлен список вредных и опасных факторов, характерных при проведении механических методов оценки технического состояния изделий в виде таблице 6.1.

Таблица 6.1 Опасные и вредные факторы при проведении измерений механических параметров

Наименование видов работ	Факторы		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
1) измерение твердости бетонных плит на высоте; 2) измерение твердости металлических изделий; 3) обработка данных на персональном компьютере;	1. отклонение показателей; микроклимата от нормальных; 2. недостаточная освещенность; 3. монотонность труда; 4. повышенный уровень электромагнитных излучений;	расположение рабочего места на значительной высоте относительно земли (пола); острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок	СНиП 23-05-95 [44] СанПиН 2.2.4.548–96[45] ГОСТ Р 12.1.019-2009 [46] ГОСТ 12.1.030-81. [47] СанПиН 2.2.4/2.1.8.055-96 [48] ПОТ при работах на высоте [49]

Ниже подробно рассмотрены приведенные в таблице 6.1 опасные и вредные факторы.

В процессе оценки технического состояния здания по механическим параметрам может возникнуть необходимость в измерении твердости бетонных плит на крыше здания или плит перекрытий верхних этажей. Такой вид работ является источником опасного производственного фактора, характеризуемого

согласно ГОСТ 12.0.003-74 как расположение рабочего места на значительной высоте относительно земли (пола).

Еще одним опасным фактором являются работы, проводимые на значительной высоте. К работам на высоте относятся работы, при которых существуют риски, связанные с возможным падением работника с высоты 1,8 м и более.

Работники, выполняющие работы на высоте должны соответствовать следующим требованиям:

- допускаются лица, достигшие 18 лет;
- иметь квалификацию, соответствующую выполняемым работам;
- пройти инструктаж.

При работе на высоте необходимо предпринять следующие меры безопасности:

- на крышах с уклоном надевать страховочные пояса, привязанные крепкой веревкой к устойчивой прочной части здания;
- работы производить в обуви с хорошим сцеплением с поверхностью;
- перед началом работ следует проверить стояние несущих конструкций (стропил, обрешетки), их способность выдерживать вес человека.

При исследовании механических свойств металлических изделий есть опасность получить травму от острых кромок и заусенец. Такой фактор является физическим. Для предотвращения получения травм необходимо соблюдение следующих требований:

- проведение инструктажа перед началом работ;
- проведение визуального осмотра перед механическими испытаниями
- проведение измерений и взаимодействие с металлическими изделиями только при наличии защитных перчаток.

При обработке данных на персональном компьютере инженер подвергается влиянию электромагнитного излучения. Предельно допустимая энергетическая нагрузка за рабочий день – $2 \text{ Вт} \cdot \text{ч} / \text{м}^2$, что намного больше дозы, излучаемой персональным компьютером. Однако, длительное воздействие

способно нанести вред здоровью инженера. Для исключения потенциального вредного фактора, необходимо соблюдать следующие рекомендации:

- делать перерывы не менее 1 раза в час;
- использовать монитор без мерцания на экране (частота больше 70 Гц);
- располагать рабочее место, так чтобы естественный свет падал сбоку.

Освещенность помещения является важным фактором для здоровья человека. Недостаточность освещенности пагубно сказывается на эффективности труда, зрении рабочих и здоровье организма в целом.

Освещенности помещения с рабочим местом регламентируется СНиП 23-05-95 [2]. Согласно этому документу, освещенность в рабочем помещении с персональным компьютером должна составлять 300–500 люкс, коэффициент естественной освещенности должен быть не ниже 1,5%.

Естественный свет должен падать через боковые проемы, сориентированные, как правило, на север или северо-восток. При производственной необходимости разрешается эксплуатировать персональный компьютер в помещениях без естественного освещения по согласованию с органами государственного надзора за охраной труда и учреждениями санитарно-эпидемиологической службы.

Общее освещение рабочего помещения должно быть выполнено в виде сплошных или прерывистых линий светильников, которые располагаются в стороне от рабочих мест (преимущественно слева) параллельно линии зрения работников. Разрешается размещать линии источников искусственного освещения локально над рабочими местами.

Для общего освещения необходимо применять светильники с рассеивателями и зеркальными экранами сетками или отражателями, укомплектованные высокочастотными пускорегулирующими аппаратами. Применение светильников без рассеивателей и экранных сеток запрещается. Как источник при искусственном освещении должны применяться, как правило, люминесцентные лампы типа ЛБ.

Для поддержания нормированных значений освещенности необходимо:

– регулярно (не реже двух раз в год) очищать оконное стекло и светильники;

– своевременно проводить замену перегоревших ламп.

Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны должны полностью соответствовать требованиям СанПиН 2.2.4.548–96 [45].

Показатели микроклимата включают в себя температуру воздуха, ее относительную влажность, скорость движения воздуха и интенсивность теплового излучения.

Оптимальные нормы температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха для рабочего помещения приведены в таблице 6.2.

Таблица 6.2 – Нормативные значения показателей микроклимата рабочего помещения

Период года	Категория работ	Температура, °С		Относительная влажность, %		Скорость движения, м/с	
		Оптимальная	Допустимая	Оптимальная	Допустимая	Оптимальная	Допустимая
Холодный	Легкая	22 – 24	21 – 25	40 – 60	75	0,1	≤ 0,1
Теплый	Легкая	23 – 25	22 – 28	40 – 60	55	0,1	0,1–0,2

Для обеспечения установленных норм микроклиматических параметров и чистоты воздуха в холодный период года необходимо обеспечивать отопление помещения, в теплый период – кондиционирование воздуха, чтобы нормализовать повышенную температуру в отделе.

Еще одним вредным фактором при работе с обработкой результатов измерений является психофизиологический фактор, связанный с умственным трудом. Для уменьшения влияния монотонности труда необходимо правильно организовывать отдых работника.

Работа, связанная с обработкой результатов измерений механических параметров, относится к III категории работ – продолжительность работ группы В превышает 4 ч. Работа пользователей компьютеров характеризуется значительным напряжением зрительных анализаторов. Для предотвращения умственного перенапряжения, эмоциональных перегрузок монотонности труда следует выполнять следующие рекомендации: совершать перерывы каждые 2 часа не менее 20 минут или же по 5–15 минут через каждый час работы. Общая продолжительность дополнительных перерывов составляет 60 минут.

6.2 Экологическая безопасность

С развитием науки и техники окружающая среда подвергается различным антропогенным воздействиям: электромагнитные поля, выбросы углекислого и прочих газов и др. Многочисленные источники загрязнения наносят серьезный ущерб окружающей среде. Таким образом, охрана окружающей среды является важным фактором при проектировании и проведении исследования.

При проведении серии экспериментов для данного исследования выброс вредных или опасных газов в атмосферу не происходит.

Одним из источников загрязнения при проведении исследований, данного в том числе, являются отходы.

Твердые бытовые отходы, образующиеся после проведения исследований: образцы стали и плексигласовые меры прочности не подлежат дальнейшему использованию в качестве вторичных ресурсов.

Электронные отходы могут иметь высокие классы опасности из-за содержащихся в них веществ, таких как свинец, ртуть, полихлорированные дифенилы, поливинилхлорид (из-за появления диоксинов при сгорании).

Все электронные отходы должны быть подвержены утилизации. При утилизации, персональные компьютеры разбираются на составные компоненты: электронные платы, кабеля, процессоры, блоки питания и т.д. Мониторы и USB разбирать нельзя. Данные, имеющиеся на жестких дисках, уничтожаются.

Утилизация как ЭВМ, так и другой оргтехники включает в себя работы по: погрузке, транспортировке, разгрузке, складированию, демонтажу и извлечению различных материалов из списанных технических средств, а также сортировку, разделку, упаковку и продажу (или сдачу на захоронение) полученных материалов специализированным организациям для дальнейшей переработки.

6.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Потенциальные чрезвычайные ситуации, которые могут возникнуть при разработке и внедрении данного исследования являются следующие:

- разрушение зданий, сооружений;
- взрывы;
- пожары.

Безопасность в чрезвычайных ситуациях нормируется ГОСТ Р 22.0.01-94 и ГОСТ Р 22.0.07-95 [51,52].

Разрушение зданий и сооружений может произойти вследствие усталости несущих конструкций или появлении аварийных дефектов в фундаменте зданий.

Наглядным признаком разрушения строений являются – внезапно возникновение трещин, вибраций, признаков взрыва или механического удара.

Выход из многоэтажного здания займет время, поэтому при малейших признаках обрушения нужно укрыться в таких местах, где маловероятно поражение обломками. К таким местам относятся оконные и дверные проемы, углы. Движение в полуразрушенном здании очень опасно, так как разрушение его может продолжиться в любой момент. Поэтому лучше привлекать к себе внимание спасателей криками и ждать помощи. Возвращаться в разрушенное строение за своим имуществом и документами не нужно, это не безопасно. Безопасное расстояние от рушащегося здания – расстояние, равное его высоте.

Для предотвращения разрушения необходимо регулярно, согласно нормативным документам, проводить мероприятия, по оценке технического состояния здания.

Взрывы являются быстротекущими процессами и сопровождаются выделением значительной энергии в небольшом объёме, приводящей к ударным, вибрационным и тепловым воздействиям на окружающую среду.

При возникновении взрыва в первую очередь необходимо соблюдать следующие рекомендации:

- не паниковать;
- определить свое местонахождение и состояние здоровья;
- покинуть зону взрыва.

При отсутствии возможности самостоятельно эвакуироваться из разрушенного здания необходимо оценить окружающую обстановку, защитить органы дыхания с помощью любой ткани, по возможности подавать голосовые сигналы спасателям.

Причины возможного возникновения пожара:

- несоблюдение правил эксплуатации электроустановок и электросети;
- перегрев мест соединений токоведущих частей в результате образования высокого переходного сопротивления;
- несоблюдение правил пожарной безопасности.

Источниками воспламенения могут послужить элементы электропроводки, которые могут перегреваться в результате неисправности оборудования или нарушения правил эксплуатации оборудования; оборудование, установленное в помещении.

Для предупреждения пожара необходимо проводить ряд технических и организационных мероприятий в соответствии с Техническим регламентом о требованиях пожарной безопасности [53].

Для предотвращения пожаров необходимо проведение следующих мероприятий:

- организационных: проведение инструктажей, бесед, лекций по пожарной безопасности;
- эксплуатационных: постоянный контроль правильности эксплуатации лабораторного оборудования, дополнительной аппаратуры, содержание зданий и близлежащих территорий в состоянии пожарной безопасности;
- технических: соблюдение противопожарных правил при устройстве отопления, вентиляции, установке аппаратуры, применение в конструкциях приборов и устройств быстродействующих средств отключения возможных источников зажигания, устройств молниезащиты зданий и сооружений;
- режимных: запрещение курения в не установленных местах.

В используемом помещении рекомендуется наличие следующих первичных противопожарных средств [52]:

- углекислотные огнетушители ОУ-5 (1 огнетушитель на $40 - 50\text{ м}^2$, но не менее двух в помещении);
- ящик с песком объемом $0,5\text{ м}^3$;
- система автоматической пожарной сигнализации с датчиками, реагирующими на появление дыма ФНП – 1 из расчета 1 на 10 м^2 ;
- телефон, установленный в легкодоступном месте.

В системе вентиляции должны быть предусмотрены устройства для перекрытия воздуха в случае пожара. Следует держать свободными подступы к орудиям пожаротушения и проходы для эвакуации людей. Эвакуационные пути (коридоры и лестничные клетки) должны иметь эвакуационное освещение, питаемое от независимого источника питания и выполняемое электролампами накаливания мощностью 40 Вт .

При аварийных ситуациях, когда необходима эвакуация людей и оборудования, необходимо действовать согласно плану эвакуации на случай чрезвычайных ситуаций, размещенному на видимом участке в помещении лаборатории. Эвакуация людей из рабочего помещения должна производиться

по кратчайшему пути к выходу из здания, при соблюдении правил поведения при чрезвычайных ситуациях.

6.4 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

Правильная организация труда и отдыха работников необходимо для уменьшения воздействия психофизиологических факторов, таких как монотонность труда, эмоциональная напряженность и умственная усталость. Исследования по данному проекту выполняются в большинстве своем. Данный тип работ нормируется ГОСТ 12.2.032-78 [53].

При размещении рабочего места необходимо придерживаться следующих требований:

- рабочее место должно быть размещено таким образом, чтобы естественный свет падал сбоку (оптимально – слева);
- рабочее место с ЭВМ размещается на расстоянии не менее 1 м от стен со световым окном;
- расстояние между экранами ЭВМ должно быть не менее 2,5 м;
- расстояние между боковыми поверхностями ЭВМ должно быть не менее 1,2 м;
- проход между рабочими рядами должен быть не менее 1 м.

Рабочее место при проведении исследований должно соответствовать следующим требованиям:

- высота рабочей поверхности стола для ЭВМ должна быть в пределах 680–800 мм, ширина стола – 600–1400 мм, глубина стола – 800–1000 мм;
- стол должен иметь пространство для ног высотой не менее 600 мм и шириной не менее 500 мм;
- сидения, используемые в лаборатории, должны быть снабжены подъемно-поворотным механизмом, позволяют регулировать угол наклона, как самого сидения, так и спинки. Сидения также снабжены

подлокотниками и позволяют регулировать расстояние спинки от переднего края сидения;

- экран монитора должен находиться от глаз пользователя на расстоянии 600–700 мм, но не ближе 500 мм с учетом размеров алфавитно-цифровых знаков и символов.

Обеспечение выполнения данных требований к компоновке рабочей зоны позволит улучшить качество и производительность труда инженера – лаборанта, снизить влияние действия психофизиологических факторов, обеспечить рациональный и безопасный труд.

Заключение

Результатами данного исследования являются

- доказана гипотеза о том, что твердость по Роквеллу поверхностного слоя испытываемого металлического образца как случайная величина распределена по логнормальному закону;
- экспериментально доказана гипотеза о близости средних значений твердости по Роквеллу по равновеликим фрагментам поверхности испытываемых образцов;
- доказано, что для оценки технического состояния испытываемых изделий необходимо использовать не только смещения оценок среднего значения и уровней рассеяния твердости по поверхности, но изменение характера выборочного распределения;
- введены понятия информационно-избыточного и информационно-дополнительного параметров прочности бетона и продемонстрированы особенности их практического применения;
- доказана воспроизводимость измерения прочности бетонов на сжатие;
- исследованы выборочные плотности распределения прочности бетонов на сжатие.

Алгоритмы обработки информации рекомендации, являющиеся основными результатами диссертационных исследований, увеличивают степень надежности и доверия результатов испытаний механическими методами, что в свою очередь позволяет повысить достоверность процесса оценки технического состояния металлических изделий и строительных материалов. Подобный результат в значительной мере отражает свою практическую значимость в сфере строительства и диагностики. Доказательством этой значимости может служить апробация вышеперечисленных алгоритмов при оценке технического состояния колонн, перекрытий и стен нескольких недавно возведенных жилых и производственных зданий и сооружений.

В рамках выполнения диссертационных исследований были проанализированы экономический эффект и ресурсоэффективность разработки и доказано ее актуальность.

Список публикаций

–Жантыбаев А.А. Оценка технического состояния металлических изделий по плотности распределения твёрдости по Роквеллу / Осипов, С.П. Подшивалов, И.И., Осипов, О.С., Берженару, Н.В., // Вестник ТГАСУ – 2015 – № 1 – С. 122–131

–Жантыбаев, А.А. Об оценке технического состояния бетонных изделий по прочности / Осипов С.П., Осипов О.С., Подшивалов И.И., Прищепа И.А., Берженару Н.В. // Вестник ТГАСУ – 2015 – № 5 – С. 90–100

–Жантыбаев А.А., Совершенствование методов оценки технического состояния бетонных изделий по прочности на сжатие / Осипов С.П., Осипов О.С., Подшивалов И.И., Прищепа И.А. // Ползуновский альманах – 2015 – №1 – С. 68–72

–Жантыбаев А. А. О применимости функции распределения прочности бетона для оценки технического состояния строительных материалов / Осипов С.П., Подшивалов И.И., Абашкин А.Д. // Ресурсоэффективным технологиям – энергию и энтузиазм молодых: сборник научных трудов VI Всероссийской конференции – С. 342–345

–Жантыбаев А. А. Информативные параметры методов измерения твердости для оценки технического состояния металлических изделий / Осипов С. П., Подшивалов И. И., Осипов О. С. // Ресурсоэффективные системы в управлении и контроле: взгляд в будущее: сборник научных трудов IV Международной конференции школьников, студентов, аспирантов, молодых ученых «Ресурсоэффективные системы в управлении и контроле: взгляд в будущее» в 3 т. Т.1 – С. 145–150

Список использованных источников

1. Batchelor A. W., Materials degradation and its control by surface engineering. / Lam L. N., Chandrasekaran M. – London : Imperial college press, 2002. – Vol. 119. – 408 p.
2. Structural changes of metallic surfaces induced by ultrasound / Verdan, S., Burato, G., Comet, M., Reinert, L., Fuzellier, H.// Ultrasonics sonochemistry. – 2003. – Vol. 10. – No. 4. – P. 291–295.
3. Corrosion kinetics of Steel T91 in flowing oxygen-containing lead–bismuth eutectic at 450° C / Schroer C., Wedemeyer O., Skrypnik A., Novotny J., Konys J. // Journal of Nuclear Materials. – 2012. – Vol. 431. – No 1. – P. 105–112.
4. Ларин П.Г. Обоснование факторов, оказывающих влияние на надежность специальной техники в особых условиях эксплуатации / Жуков Л.В., Кравченко И.Н. // Фундаментальные исследования. – 2014. – №. 3–2. – С. 262–266.
5. Walley, S.M. Historical origins of indentation hardness testing //Materials Science and Technology. – 2012. – Vol. 28. – No. 9–10. – P. 1028–1044.
6. A comparative study of the microstructure and mechanical properties of HTLA steel welds obtained by the tungsten arc welding and resistance spot welding / Ghazanfari H., Naderi M., Iranmanesh M., Seydi M., Poshteban A. // Materials Science and Engineering: A. – 2012. – Vol. 534. – P. 90–100.
7. Гоголинский К.В. Об унификации определения твердости и возможности перехода при ее измерении к размерным величинам / Решетов В.Н., Усеинов А.С. // Измерительная техника. – 2011. – № 7. – С. 28– 34.
8. Basic mechanical properties of layered steels / Černý M., Filípek J., Mazal P., Dostál P. // Acta universitatis agriculturae et silviculturae mendelinae brunensis. – 2012. – V. 61. – P. 25–38.
9. Мотт, Б.В. Испытание на твердость микровдавливанием [Текст] / Б.В. Мотт – М.: Металлургиздат, 1960. – 274 с.

10. Агине́й Р.В. Методы измерения твердости. Определение механических свойств металла газонефтепроводных труб по твердости [Текст]: методические указания / Кузьбожев А.С. Смирнов О.В. Петров С.В.– Ухта: УГТУ, 2007. – 51 с.
11. РМГ 83-2007 ГСИ. Шкалы измерений. Термины и определения.
12. Гоголинский К. В. Метрологическое обеспечение динамических методов измерения твердости в Российской федерации: существующие проблемы и пути их решения / Сясько, В. А. // В мире неразрушающего контроля 1. – 2014 – № 63. – С. 69–70.
13. Leeb D. New dynamic method for hardness testing of metallic materials // VDI-Report – 1978 – № 308 – pp. 123–128.
14. Фурса Т. В. Электромагнитный способ определения твердости материалов /Суржи́ков А. П., Гольд Р. М. // Дефектоскопия. – 2001. – №9. – С. 20–22
15. Фурса Т. В. Пути повышения точности электромагнитного метода определения прочности бетона / Хорсов Н. Н. // Дефектоскопия. – 2000. – №2. – С. 68–71
16. Фурса Т. В. Неразрушающий электромагнитный метод определения прочности изделий из композиционных диэлектрических материалов // Физическая мезомеханика 7 – 2004 – Спец. выпуск Ч.2 – С. 307–310.
17. Fischer–Cripps A.C. Contact Mechanics // Nanoindentation. – Springer New York, 2011. – 282 p.
18. Lucca D.A. Nanoindentation: Measuring methods and applications / Herrmann K., Klopstein M.J. // CIRP Annals–Manufacturing Technology. – 2010. – Vol. 59. – No. 2. – P. 803–819.
19. Сосновский Л.А. Рассеяние механических свойств рельсовой стали / Махутов Н.А., Кеби́ков А.А. // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2007. – № 11. – С. 59–62.

20. Оценка поврежденности материала по рассеянию характеристик упругости и статической прочности / Лебедев А. А., Маковецкий И. В., Музыка Н. Р., Волчек Н. Л., Швеи В. П. // Проблемы прочности. – 2006. – № 2. – С. 5–14.
21. Музыка Н. Р. Влияние вида нагружения на процесс накопления повреждений в материале / Швеи В.П. // Проблемы прочности. – 2014. – № 1. – С. 130–136.
22. Лебедев А. А., Метод оценки вязкости разрушения материала по рассеянию характеристик твердости / Музыка Н. Р., Швеи В. П. // Проблемы прочности. – 2007. – № 6 – С. 5–12.
23. Лебедев А.А. Оценка поврежденности конструкционных сталей по параметрам рассеяния характеристик твердости материалов в нагруженном и разгруженном состояниях / Швеи, В. П. // Проблемы прочности. – 2008. – № 3. – С. 29–37.
24. Кинетика накопления рассеянных повреждений в поликристаллических материалах с разным размером зерна при малых деформациях / Лебедев А.А., Ламашевский В.П., Музыка, Н.Р., Швеи, В.П., Ефименко, Е.В. // Проблемы прочности. – 2011. – № 5. – С. 32–44.
25. Кузьбожев А.С. Исследование вариации твердости трубной стали 17Г1С в ходе статического нагружения / Агинеи Р.В., Смирнов О.В. // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2007. – № 12. – С. 49–53.
26. Mechanical properties of CO₂ corrosion scale formed at different temperatures and their relationship to corrosion rate / Zhu S.D., Zhou G.S., Miao J., Cai R., Wei J.F. // Corrosion Engineering, Science and Technology. – 2012. – v. 47. – No 3. – p. 171–177.
27. Characterisation of microstructure and mechanical properties of cermets at micro-and nanoscales / Hussainova I., Antonov M., Jasiuk I., Du X. // International Journal of Materials and Product Technology. – 2011. – v. 40. – No 1. – p. 58–74.
28. Effects of random particle dispersion and size on the indentation behavior of SiC particle reinforced metal matrix composites / Ekici R., Kemal Apalak M., Yıldırım M., Nair F. // Materials & Design. – 2010. – v. 31. – No 6. – p. 2818–2833.

29. The use of magnetic coercivity method to diagnose crane metalware / Starikov M., Beljatynskij A., Prentkovskis O., Klimenko I. // Transport. – 2011. – v. 26. – No 3. – p. 255–262.
30. Смирнов О.В. Разработка метода оценки работоспособности нефетегазопроводов по твердости с малой нагрузкой [Текст]: автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. тех. наук / Смирнов Олег Викторович; Ухтинский государственный технический университет. – Ухта, 2008. – 24 с.
31. Совершенствование методов оценки технического состояния бетонных изделий по прочности на сжатие / Осипов С.П. Осипов, О.С., Жантыбаев А.А., Подшивалов И.И., Прищепа И.А. // Ползуновский альманах. – 2015. – № 1. – С. 68–71.
32. Вентцель, Е. С. Теория вероятности. – М., 1969 г. – 576 с.
33. Колмогоров А.Н., О логарифмически-нормальном законе распределения размеров частиц при дроблении, «Докл. АН СССР», 1941, т. 31, в. 2, с. 99—101;
34. Теория вероятностей и математическая статистика. Базовый курс с примерами и задачами / Кибзун А.И., Горяинова Е.Р., Наумов А.В., Сиротин А.Н. М.: Физматлит, 2002. – 224 с.
35. Natrella M.G. Experimental statistics. – New York: Courier Dover Publications, 2013. – 515 p.
36. Snezhkov D.Ju. Monitoring zhelezobetonnyh konstrukcij na osnove nerazrushajushhih ispytaniy betona: metody kontrolja, kriterii sootvetstvija [Monitoring of reinforced concrete structures on the base of non-destructive tests of concrete: control procedures, conformity criteria]. / Leonovich S.N., Kim L.V. FEFU: School of Engineering Bulletin, 2015. No. 1 (22). Pp. 80–88. (rus)
37. Xiao L.L. Reliability analysis on shear capacity of reinforced masonry wall due to earthquake. / Wang X.T., Li Y., Bulleit W.M. // Applied Mechanics and Materials, 2012. V. 105. Pp. 360–365.

38. Statistical distributions of in situ microcore concrete strength. / Kilinc K., Celik A.O., Tuncan M., Tuncan A., Arslan G., Arioz O. // Construction and Building Materials, 2012. V. 26. No. 1. Pp. 393–403.
39. Maculevich O.V. Opredelenie prochnosti betonov metodom dinamicheskogo indentirovaniya [Determination of concrete strength by the dynamic indentation method]. / Rudnickij V.A. // Nerazrushajushhij kontrol' i diagnostika, 2013. No. 2. Pp. 52–60. (rus)
40. Syroka–Korol E. FE calculations of a deterministic and statistical size effect in concrete under bending within stochastic elastoplasticity and non-local softening. / Tejchman J., Mróz Z. // Engineering Structures, 2013. V. 48. Pp. 205–219.
41. Iervolino I., Galasso C. Comparative assessment of load–resistance factor design of FRP-reinforced cross sections. Construction and Building Materials, 2012. V. 34. Pp. 151–161.
42. Vandamme M. Nanogranular origin of concrete creep. / Ulm F.J. // Proceedings of the National Academy of Sciences, 2009. V. 106. No. 26. Pp. 10552–10557.
43. ГОСТ 12.0.003-74. ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация
44. СНиП 23-05-95 «Естественное и искусственное освещение»
45. СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
46. ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ «Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты»
47. ГОСТ 12.1.030-81. ССБТ. “Электробезопасность. Защитное заземление, зануление”
48. СанПиН 2.2.4/2.1.8.055-96 «Электромагнитные излучения радиочастотного излучения»
49. Правила охраны труда при работах на высоте
50. Р 2.2.2006–05. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда.

51. ГОСТ Р 22.0.02-94: Безопасность в чрезвычайных ситуациях.
Термины и определения основных понятий

52. ГОСТ Р 22.0.07-95 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.
Источники техногенных чрезвычайных ситуаций. Классификация и
номенклатура поражающих факторов и их параметров.

53. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности.
ГОСТ 12.2.032-78 Система стандартов безопасности труда. Рабочее место при
выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.

Приложение А

Раздел 3

Оценка технического состояния металлических изделий по плотности распределения
твёрдости по Роквеллу

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1БМ4А	Жантыбаев Алибек Айвар-Бауржанович		

Консультант кафедры _____ ИЯ _____ :

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
В.н.с. лаборатории №40 ИНК ТПУ	Осипов С. П.	к.т.н.		

Консультант – лингвист кафедры _____ ИЯ _____ :

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Устюжанина А. К.	к. т. н., доцент		

1 Introduction

The assessment of metal products while in operation shows their degradation due to such negative factors [1–4] as wear abrasion, corruptions, and fatigue. One of the metal assessment methods used for products while in work and operation is their hardness testing [5–8]. For the last two decades, metal assessment methods have been intensively developed as well as instruments and scopes of their application [9–12]. The traditional use of durometers implies measurement of product at its several points, and the average value of obtained results should be used to assess the metal hardness. Ekici, Starikov, Muzyka, *et al.* [13–15] showed that the use of the additional informative parameter identified during the hardness testing process, namely, the hardness scattering, allows the improvement of the metal assessment method. Until recently, the implementation of this technique has been restricted by the instrument unavailability. However, the production of high-end portable durometers with a lower effect on test samples eliminated this restriction, and a parallel evaluation of the average value of hardness and its certain measure of scattering is now being used in transportation, construction and other industries [14–21]. The literature review concerning the use of other informative hardness parameters showed the insufficiency of the data available when regarding it as a random variable in solving problems of assessing metal products while in operation.

2 Theory

Mechanical stresses, corruptions, and intensive tensile and compressive forces result in structural modifications of the surface layers of metals and alloys.



Figure 1 – The metal product, subjected to corrosion

The following variants are the most visible manifestation of these changes:

- Surface roughness. The kind, direction, and level of mechanical stresses as well as their duration define the degree of the surface modification. It should be noted that surface roughness can be both increased and decreased.
- Small disoriented fatigue cracks.
- Explicit, oriented and rather deep cracks. Such cracks are usually induced by metal-to-metal contact of parts by repeated trajectories.
- Corrosion spots (oxides, salts of mother metal(s)). The specific density (relative fraction of corrosion spot area) and the size of spots depend on the duration the metal product exposure to such hazardous factors as humidity, acid and acid solution vapors, alkalis, and salt solutions.
- Oxide, salt and other films produced by corrosion.

Other variants are also possible although all of them are similar to those described or represent their combination.

The value of hardness H obtained by a single measurement is naturally considered to be random. The random variable x is completely defined in case its probability density function $F(x)$ is known [22]. The random variable collection of characters is divided into two large groups, namely: measure of location and measure

of scattering. In the work of Korn *et al.* [22], measures of location of random variable x include the average value $\bar{x}$, median M_{ex} and mode M_{ox} . Measures of scattering of random variable x include dispersion σ^2x , mean-square deviation σx , coefficient of variation Vx , coefficient of skewness Ax , and coefficient of excess Ex .

Note 1 In scientific literature, the distribution function of the random variable H is described by different laws such as lognormal, and Weibull and Gumbel distributions. These laws are two-parameter distributions which comprise a measure of location and a measure of scattering.

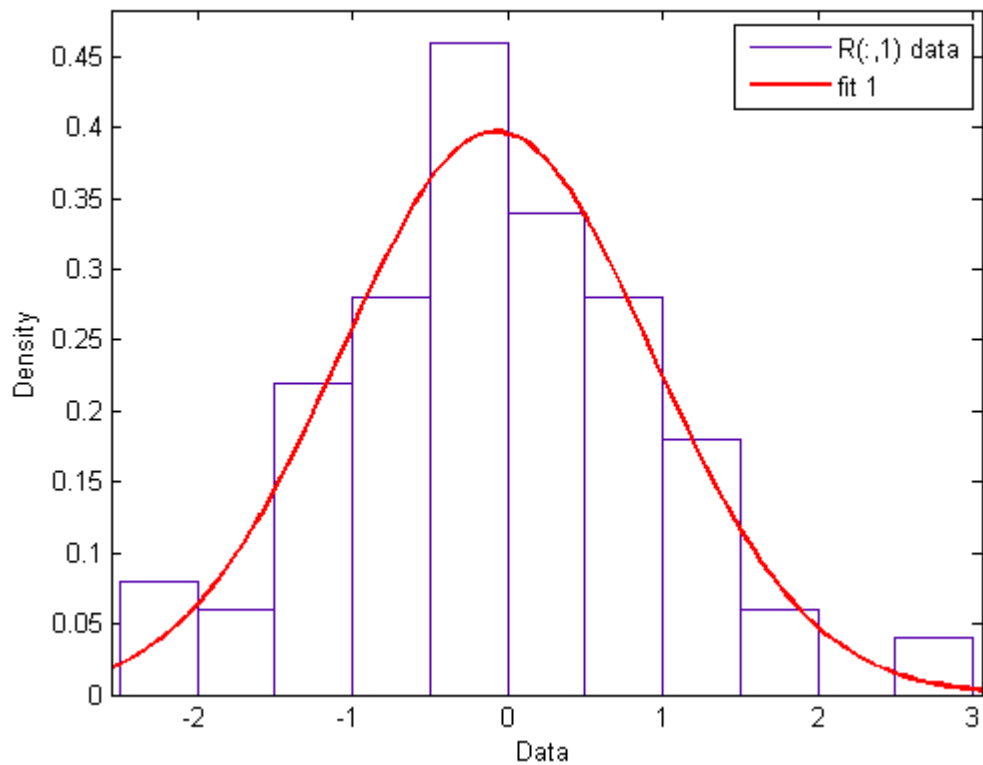


Figure 2 – The normal distribution function

All mentioned measures of location and scattering including those in Note 1 can be used for metal assessment when applied to the random variable H .

The hardness of material depends on crystal size, shape, type, and content in the whole volume of material.

Note 2 The degree of metal surface uniformity of hardness, sometimes called the coefficient of uniformity k [15–19], is connected with values of measure of location.

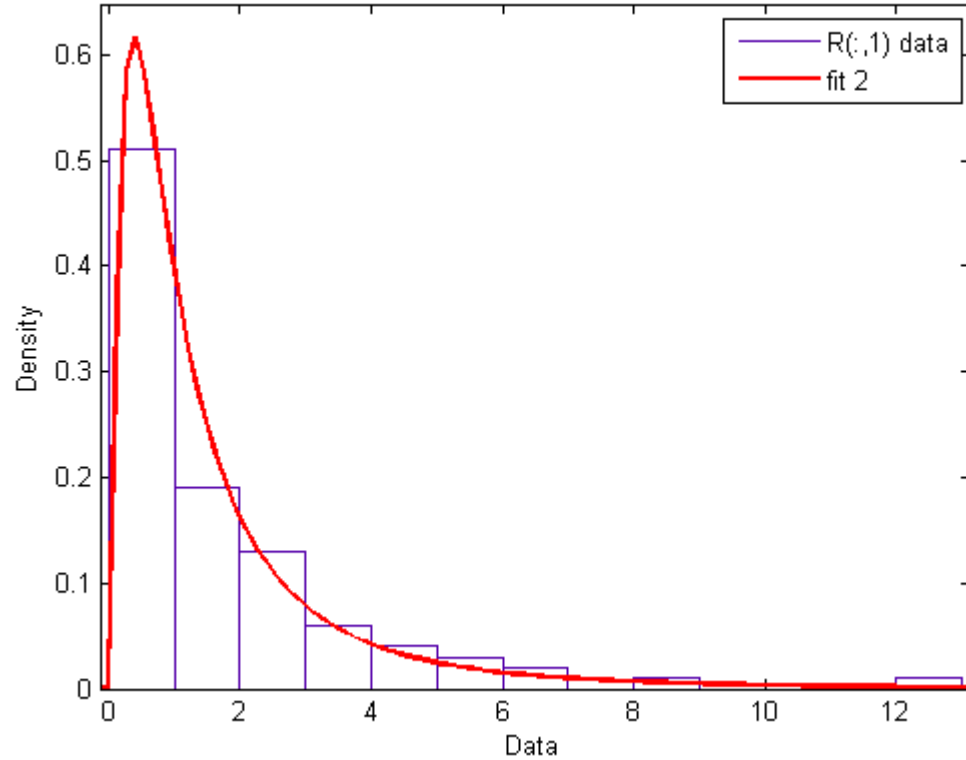


Figure 3 – The lognormal distribution function

Note 3 The estimation of hardness value obtained by a single measurement depends on the contact area between the indenter and the material being tested and between the indenter and each type of crystal.

From Note 3 it follows that the smaller the size of indenter the more evident is the scattering of hardness. Presently, the size of indenters and their penetration force can be varied. Depending on the size of indentation, hardness, micro-, and nano-hardness can be measured.

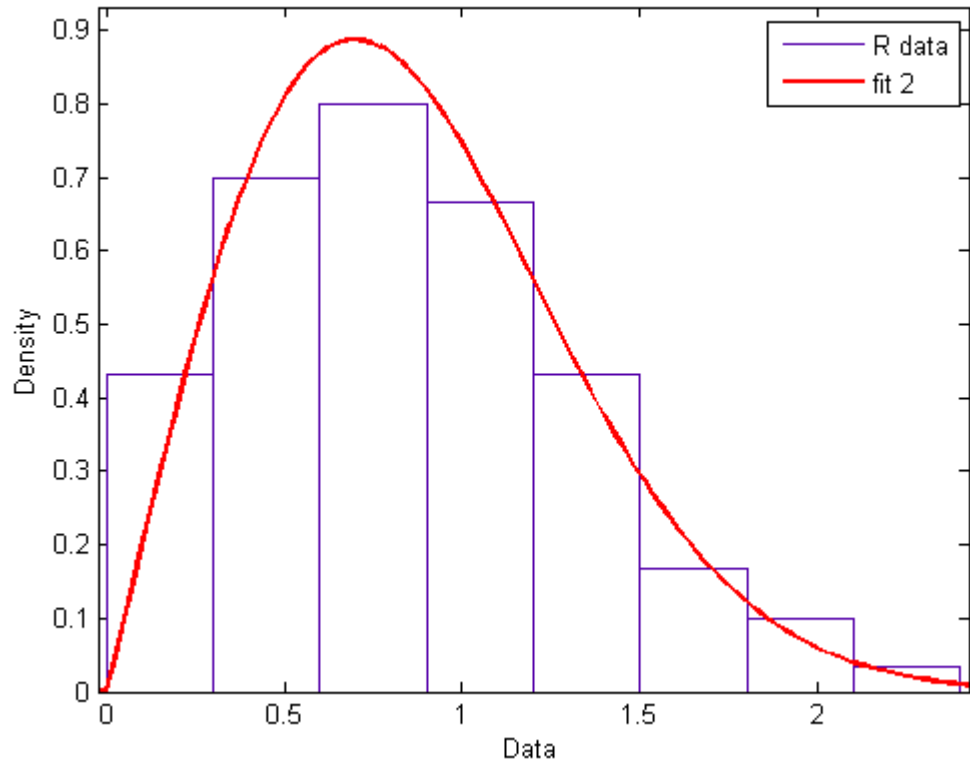


Figure 4 – Weibull distribution function

Let us put forward the basic statements which allow a substantiation of one or another character of the random variable H used in the capacity of metal product assessment provided by hardness test methods.

Statement 1 The change of metal surface properties under any impact conditions is caused by its structural modification.

Statement 2 For each of variants of visible manifestation of changes stated above, the surface layer modified during the product operation will possess at least one hardness parameter regarded as a random variable, dissimilar to the respective one of the original metal.

Note 4 One informative parameter of hardness H may turn to be insufficient to provide the metal assessment. In this case, it is advisable to use two or more informative parameters.

Statement 3 A sampling parameter of the random variable H selected from the collection of those to be analyzed can be informatively excessive in case it is closely connected with one or more residual parameters.

Traditionally, a close connection between random variables x and y is evaluated using the correlation factor r_{xy} . Parameters x and y are considered to be closely connected in case the correlation factor r_{xy} satisfies the condition of $r_0 \leq |r_{xy}| \leq 1$. The lower bound r_0 of this interval is usually determined experimentally. Since the authors present technical measurements, the value r_0 ranges between 0.85–0.95.

It is logically to select such a parameter which is easy to identify for further analysis or some arguments can be put forward in favor of its application in case it possesses an explicit physical interpretation.

Consequence of Statement 3 In metal assessment, the sampling y parameter of the random variable H is additional to the informative parameter x in case it is practically independent of x parameter.

Let us assume that connection between x and y parameters is negligible at the fulfillment of $0 \leq |r_{xy}| \leq r_1$ condition. The lower bound r_1 of this interval is also determined experimentally. The value r_1 ranges between 0.1–0.2.

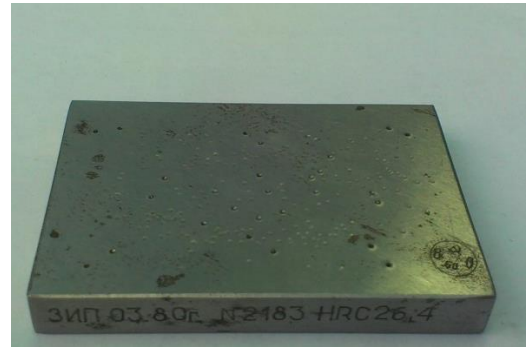
3 An experiment

With a view to assess the informativeness of parameters describing the random variable H , a series of hardness tests was conducted for steel specimens exposed to different types of external actions.

Specimens of different steel types were tested having average value of hardness ranging from 80 to 200 HB. Calibration measurements were conducted by Brinell hardness of 100 and 184 HB. Hardness measurements are characterized by the high-quality treatment of the surface. Therefore, the effect exerted by the surface roughness on the hardness properties assessment as a random variable, is minimized.



a)



b)



c)



d)

Figure 5 – Steel specimens

Hardness tests were carried out with the dynamic indenter TEMP-4 in compliance with recommendations given by technical specifications and guidelines.

The original sampling was provided for each test specimen using Brinell hardness ($H_1, H_2, H_3, \dots, H_n$), where n is the volume of sampling. Samplings with rather a large volume $n = 200$ were studied.

In all, seven specimens were tested. Measures of location and scattering of the random variable H were estimated for each specimen. All sampling parameters were subsequently considered as random variables. In accordance with the Consequence of Statement 3, the independence (level of dependence) of these values was verified by couples of parameters.

At the first stage of the experimental data processing the following parameters of the random variable were estimated: the average value $\bar{H}$; median MeH ; and mode MoH . These parameters can be obtained from [21]:

$$\bar{H} = \frac{\sum_{i=1}^n H_i}{n}, \quad \sum_{H_i \leq \text{Me}H} 1 = \sum_{H_i \geq \text{Me}H} 1, \quad f(\text{Mo}H) = \max f(H) \quad (1)$$

where $f(H)$ is the probability density function for the random variable analyzed.

In practice, it is sometimes difficult to identify medians and modes due to both a possible skewness of the random distribution and its possible mixture distribution.

Along with measures of location, measures of scattering were determined: mean-square deviation σ_H , coefficient of variation V_H , coefficient of skewness A_H , and coefficient of excess E_H . Scattering parameters [22] can be obtained from

$$\sigma_H = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (H_i - \bar{H})^2}{n}}, \quad V_H = \frac{\sigma_H}{\bar{H}}, \quad A_H = \frac{m_3}{m_2^{3/2}}, \quad E_H = \frac{m_4}{m_2^2} - 3 \quad (2)$$

where m_k is the central k -order sampling moment of the value analyzed. It can be found from [22]:

$$m_k = \frac{\sum_{i=1}^n (H_i - \bar{H})^k}{n} \quad (3)$$

According to Note 2, parameters of the assumed H random distribution can act as measures of location and scattering. In the number of scientific papers devoted to the study of strength of materials, it is assumed that H or $\ln H$ random variables are Weibull-distributed.

The random variable x is Weibull-distributed [23] in case its distribution function is described by this equation:

$$F(x) = 1 - e^{-\left(\frac{x}{\lambda}\right)^k}, \quad (4)$$

where k and λ are Weibull distribution parameters.

In addition to (1) and (2), the location of the random variable H will be characterized by λ_H and $\lambda_{\ln H}$ parameters, while its scattering by k_H and $k_{\ln H}$ parameters.

Weibull distribution parameters k and λ can be obtained using the method of

matching moments. Two initial moments $\bar{x}$ and $\bar{x}^2$ are to be obtained for the random variable x . Weibull distribution parameters k and λ are obtained from [23]:

$$\frac{\bar{x}^2}{(\bar{x})^2} = \frac{\Gamma\left(1+\frac{2}{k}\right)}{\Gamma^2\left(1+\frac{1}{k}\right)}, \quad \lambda = \frac{\bar{x}}{\Gamma\left(1+\frac{1}{k}\right)}, \quad \Gamma(z) = \int_0^{\infty} t^{z-1} e^{-t} dt, \quad (5)$$

In [15–18], the authors describe the method of estimation of the coefficient $k_{\ln H}$ suggested by Gumbel. This method is easy to implement since it is not connected with the solution of the first equation in (5). In this method, values $\overline{\ln H}$ and $\sigma_{\ln H}$ are calculated from

$$\overline{\ln H} = \frac{\sum_{i=1}^n \ln H_i}{n}, \quad \sigma_{\ln H} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\ln H_i - \overline{\ln H})^2}{n-1}}. \quad (6)$$

Gumbel approximation for k parameter is as follows:

$$k = \frac{0,4343d_n}{\sigma_{\ln H}} \quad (7)$$

where d_n is the value dependent on the sampling volume.

It is assumed that the larger values of k_H and $k_{\ln H}$ coefficients provide the low level of hardness scattering and, as consequence, the better structural organization and the lower degree of damage. Unlike the larger, the smaller values of k_H and $k_{\ln H}$ coefficients provide the highest degree of damage. It was shown in [15–18] that the level of scattering measures of metal property to be identified, including hardness, can correspond to another statistical criteria, in particular, the confidential interval, coefficient of variation, etc. In the present work, the authors verify the validity of this statement.

At the second stage, verification of the availability, direction, and closeness of correlation between parameters of the random variable H was carried out using the correlation analysis. In case of sampling $(x_1, x_2, \dots, x_n)$ and $(y_1, y_2, \dots, y_n)$ for x and y random variables, the correlation factor r_{xy} takes the form

$$r_{xy} = \frac{\overline{xy} - \bar{x}\bar{y}}{\sigma_x \sigma_y} . \quad (8)$$

The sign and the absolute value of a correlation factor describe the direction and the magnitude of the relationship between two variables. The strength of a relationship between two variables is indicated by the absolute value of the correlation factor. A positive correlation means that if one variable gets bigger, the other variable tends to get bigger. A negative correlation means that if one variable gets bigger, the other variable tends to get smaller. The weakest linear relationship is indicated by a correlation factor equal to 0.

The random variables x and y run over all possible location and scattering parameters, respectively. In equations (2) and (3), the number n equals to the number of specimens. Seven specimens ($n = 7$) are sufficient merely for a preliminary study of the problem.

The estimation of the coefficient of uniformity k based on equation (5), is rather complicated and requires a preliminary construction of the additional function of k . In (5) this function is expressed by the right hand side of the equation. Various computer software, such, for example, as Mathcad intended for the verification, validation, documentation and re-use of engineering calculations, can be an alternative for solving this problem.

4 Results and discussion

Table 1 gives the results of statistical processing of experimental data on Brinell hardness H of specimens. This Table contains the values of parameters of the random variable H location, namely: $\text{Me}H$, $\text{Mo}H$, λ_H and $\lambda_{\ln H}$. Also there are given parameters of σ_H , V_H , A , E , k_H , $k_{\ln H}$, which determine the hardness scattering. Parameters of location and scattering of H were identified using equations (1) – (2) and (5) – (7).

Table 1 – A summary table of sampling parameters of H

Measure	Parameter	Specimen number						
		1	2	3	4	5	6	7
Location	$\bar{H}$	100.8	184.2	119.2	126.0	126.4	177.8	192.3
	MeH	101.2	184.3	121.7	124.3	128.9	177.6	191.4
	MoH	97.1	184.3	121.7	122.7	134.0	183.2	187.3
	λ_H	111.7	204	132	139.6	139.9	197	213
	λ_{lnH}	106.9	189.2	129.3	138.2	139.7	191.5	203.1
Scattering	σ_H	7.13	5.19	12.00	15.93	19.07	15.90	12.06
	V_H	0.0708	0.0282	0.1006	0.1263	0.1509	0.0894	0.0627
	A_H	0.984	0.462	-0.603	0.144	0.839	-0.288	0.197
	E_H	3.90	1.78	0.47	-0.81	2.09	1.37	-0.36
	k_H	17.485	44.917	12.103	9.521	7.935	13.697	19.817
	k_{lnH}	5.104	20.131	5.359	4.446	3.841	6.11	9.014

In order to analyze informativeness of one or another parameter of the random variable HB and identify the excessive parameters, one can use the correlation analysis. It should be noted that the sampling volume is insignificant. However, it may turn to be enough to determine informativeness of the suggested process of hardness testing. The correlation factor r_{xy} is calculated from equation (8). Here random variables x and y run over all parameters of the random variable H , namely: $\bar{H}$, MeH , MoH , λ_H , λ_{lnH} , σ_H , V_H , A_H , E_H , k_H , and k_{lnH} . Correlation factor values for hardness parameters are given in Table 2.

Table 2 – Correlation factor values for hardness parameters

Parameters	$\bar{H}$	MeH	MoH	λ_H	λ_{lnH}	σ_H	V_H	A_H	E_H	K_H	K_{lnH}
$\bar{H}$		1.00	0.99	1.00	1.00	-0.12	-0.55	-0.25	-0.35	0.55	0.64
MeH	1.00		0.99	1.00	1.00	-0.12	-0.54	-0.25	-0.34	0.55	0.64
MoH	0.99	0.99		0.99	0.99	-0.05	-0.48	-0.27	-0.32	0.51	0.61
λ_H	1.00	1.00	0.99		1.00	-0.12	-0.55	-0.25	-0.35	0.55	0.64
λ_{lnH}	1.00	1.00	0.99	1.00		-0.03	-0.47	-0.28	-0.39	0.47	0.57
σ_H	-0.12	-0.12	-0.05	-0.12	-0.03		0.88	-0.20	-0.38	-0.80	-0.69
V_H	-0.55	-0.54	-0.48	-0.55	-0.47	0.88		-0.02	-0.18	-0.87	-0.80
A_H	-0.25	-0.25	-0.27	-0.25	-0.28	-0.20	-0.02		0.63	0.17	0.08
E_H	-0.35	-0.34	-0.32	-0.35	-0.39	-0.38	-0.18	0.63		0.19	0.05
k_H	0.55	0.55	0.51	0.55	0.47	-0.80	-0.87	0.17	0.19		0.98
k_{lnH}	0.64	0.64	0.61	0.64	0.57	-0.69	-0.80	0.08	0.05	0.98	

Let us adhere to the following criteria for the strength of relationship: for strong relationship the correlation factor is not less than 0.8; for medium relationship it ranges from 0.6 to 0.8; for weak relationship it ranges from 0.4 to 0.6. The relationship is assumed to be absent if the correlation factor is less than 0.4.

From Table 2, the following intermediate conclusions can be drawn relative to mutual parameter dependencies which characterize the random variable H .

1. All parameters of the random variable location, namely $\bar{H}$, MeH , MoH , λ_H , λ_{lnH} , are strictly dependent on each other; correlation factors are close to zero; the dependencies are strong and direct.
2. The mean-square deviation σ_H does not depend on any location parameter of the random variable H ; the absolute values of the correlation factor do not exceed 0.12.
3. The correlation factor V_H weakly depends on all parameters of location. These dependencies are inverse; the absolute values of the correlation factor range from 0.47 to 0.55.
4. Dependence between skewness A_H and excess E_H coefficients and location parameters is practically absent; the absolute values of the correlation factor are less than 0.39.
5. Dependence between coefficients k_H and k_{lnH} is direct and takes the interfacial position between medium and weak dependencies; the absolute values of the correlation factor range from 0.57 to 0.64.
6. The scattering parameters show the following dependencies: direct $\sigma_H - V_H$ dependence with 0.88 correlation factor; inverse $\sigma_H - k_H$ dependence with -0.8 correlation factor; V_H dependence on both k_H and k_{lnH} with -0.8 – 0.87 correlation factor.

5 Implications

From the intermediate conclusions stated above it follows that:

1. All of $\overline{H}$, MeH , MoH , λ_H , $\lambda_{\ln H}$ parameters can be used as a measure of location of the random variable H . However, it is more feasible to use $\overline{H}$ since it is easily identified. All other location parameters of the random variable can be used to exclude random errors in calculations.

2. Parameters σ_H , A_H , E_H can be used as a measure of scattering. All other scattering parameters show a strong dependence on location parameters. It is more feasible to use a mean-square deviation as a parameter least dependent on any location parameter.

Conclusion

The experiments showed that in metal assessment, the main informative characteristics of hardness testing process are its average value and mean-square deviation for measure of location and measure of scattering, respectively. All other parameters can be used to improve the metal assessment methods. For this improvement it is expedient to develop multi-channel durometers, the appropriate algorithms of experimental data visualization and processing.