

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

Институт неразрушающего контроля

Направление подготовки (специальность) приборостроение

Кафедра Физических методов и приборов контроля качества

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Экспериментальное исследование структуры пенобетона на микротомографе «Орел-МТ»

УДК 620. 179. 152. 1 : 691. 327 : 666. 973.6 – 047. 37

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1Б2А	Подворчан Юрий Александрович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
в. н. с. Российско- китайской научной лаборатории радиационного контроля и досмотра	Осипов Сергей Павлович	к. т. н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
заведующий кафедрой менеджмента	Чистякова Наталья Олеговна	кандидат экономических наук		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ассистент	Мезенцева Ирина Леонидовна			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ФМПК	Суржигов А. П.	доктор физико- математических наук, профессор		

Томск – 2016 г

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
	<i>Профессиональные компетенции</i>
P1	Применять современные базовые и специальные естественнонаучные, математические и инженерные знания для разработки, производства, отладки, настройки и аттестации средств приборостроения с использованием существующих и новых технологий, и учитывать в своей деятельности экономические, экологические аспекты и вопросы энергосбережения
P2	Участвовать в технологической подготовке производства, подбирать и внедрять необходимые средства приборостроения в производство, предварительно оценив экономическую эффективность техпроцессов; принимать организационно-управленческие решения на основе экономического анализа
P3	Эксплуатировать и обслуживать современные средств измерения и контроля на производстве, обеспечивать поверку приборов и прочее метрологическое сопровождение всех процессов производства и эксплуатации средств измерения и контроля; осуществлять технический контроль производства, включая внедрение систем менеджмента качества
P4	Использовать творческий подход для разработки новых оригинальных идей проектирования и производства при решении конкретных задач приборостроительного производства, с использованием передовых технологий; критически оценивать полученные теоретические и экспериментальные данные и делать выводы; использовать основы изобретательства, правовые основы в области интеллектуальной собственности
P5	Планировать и проводить аналитические, имитационные и экспериментальные исследования по своему профилю с использованием новейших достижения науки и техники, передового отечественного и зарубежного опыта в области знаний, соответствующей выполняемой работе
P6	Использовать базовые знания в области проектного менеджмента и практики ведения бизнеса, в том числе менеджмента рисков и изменений, для ведения комплексной инженерной деятельности; уметь делать экономическую оценку разрабатываемым приборам, консультировать по вопросам проектирования конкурентоспособной продукции
	<i>Универсальные компетенции</i>
P7	Понимать необходимость и уметь самостоятельно учиться и повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности
P8	Эффективно работать индивидуально, в качестве члена команды по междисциплинарной тематике, а также руководить командой, демонстрировать ответственность за результаты работы
P9	Владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в интернациональной среде, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты инженерной деятельности
P10	Ориентироваться в вопросах безопасности и здравоохранения, юридических и исторических аспектах, а так же различных влияниях инженерных решений на социальную и окружающую среду
P11	Следовать кодексу профессиональной этики, ответственности и нормам инженерной деятельности

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

Институт неразрушающего контроля
Направление подготовки 12.03.01 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:

бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
1Б2А	Подворчан Юрию Александровичу

Тема работы:

Экспериментальное исследование структуры пенобетона на микротомографе «Орел-МТ	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	9729/С от 11.12.2015

Срок сдачи студентом выполненной работы:	7.06.2015
--	-----------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	3 различных образца пенобетона
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	Необходимо провести серию экспериментов по исследованию структуры пенобетона на микротомографе «Орел-МТ»; провести оценку распределения пор по размерам; разработать и проверить алгоритм оценки однородности пенобетона по пористости.
Перечень графического материала)	1.Матрицы 3.Гистограммы
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.	Чистякова Наталья Олеговна
Социальная ответственность	Мезенцева Ирина Леонидовна

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	10.09.15
--	----------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
в. н. с. Лаборатории № 40 ИНК ТПУ г. Томск	Осипов Сергей Павлович	К. Т. Н		10.09.2015

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1Б2А	Подворчан Юрий Александрович		10.09..2015

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
1Б2А	Подворчан Юрию Александровичу

Институт	ИНК	Кафедра	ФМПК
Уровень образования	Бакалавриат	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	1. Стоимость ресурсов для исследования влияния механической активации прекурсоров на дисперсность ферритовых порошков.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	2. Нормы и нормативы расходования ресурсов
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения при помощи технология QuaD
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	2. Планирование научно-исследовательских работ: - структура работ в рамках научного исследования; - определение трудоемкости выполнения работ; - разработка графика проведения научного исследования; - бюджет научно-технического исследования (НТИ).
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. План-график проведения НИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Заведующий кафедрой менеджмента	Чистякова Наталья Олеговна	кандидат экономических наук		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1Б2А	Подворчан Юрий Александрович		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
1Б2А	Подворчан Юрию Александровичу

Институт	ИНК	Кафедра	ФМПК
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Приборостроение

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объектом исследования при выполнении ВКР является пенобетон. Рабочим местом при проведении исследования является лаборатория.
--	---

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Производственная безопасность 1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности: 1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:	1.1 Вредными факторами при работе в лаборатории являются: повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны; повышенный уровень шума. 1.2. Опасными факторами при работе в лаборатории являются: электрический ток.
2. Экологическая безопасность:	Пенобетон является экологически чистым материалом, который не содержит вредных химических веществ и соединений.
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	Возможны такие чрезвычайные ситуации, как: пожары, ситуации природного характера. Рассмотрены меры безопасности
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:	Соблюдение законов (налоговое законодательство, трудовой и гражданский кодексы). Руководитель (ответственный) принимает обязательства выполнения и организации правил эвакуации и соблюдение требования безопасности в помещении, а также контроль над исправностью работы в помещении.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Мезенцева Ирина Леонидовна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1Б2А	Подворчан Юрий Александрович		

Министерство образования и науки Российской Федерации

федеральное государственное автономное образовательное учреждение

высшего образования

**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт неразрушающего контроля

Направление подготовки (специальность) приборостроение

Уровень образования бакалавриат

Кафедра Физических методов и приборов контроля качества

Период выполнения _____ (осенний / весенний семестр 2015/2016 учебного года)

Форма представления работы:

бакалаврская работа

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:	01.06.2016
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
23.12.2015	<i>Составление обзора литературы</i>	
18.01.2016	<i>Исследование распределения пор по размерам образца №1</i>	
15.02.2016	<i>Сравнительный анализ распределений пор по размерам для всех образцов пенобетона</i>	
14.03.2016	<i>Оценка степени однородности томографических изображений</i>	
28.03.2016	<i>Оформление результатов исследований</i>	
11.04.2016	<i>Написание раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»</i>	
25.04.2016	<i>Написание раздела «Социальная ответственность»</i>	
03.05.2016	<i>Защита Учебно-исследовательской работы студентов</i>	
16.04.2016	<i>Написание раздела «Заключение»</i>	
01.06.2016	<i>Оформление ВКР</i>	

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
в. н. с. Лаборатории №40 ИНК ТПУ г.Томск	Осипов С.П.	к. т. н.		

СОГЛАСОВАНО:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ФМПК	Суржиков А. П.			

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 84 с., 20 рис., 28 табл., 20 источников, 4 прил.

Ключевые слова: неразрушающие методы контроля, строительные материалы, пенобетон, пористость, плотность, рентгеновская вычислительная томография, проекции.

Объектом исследования является томографические изображения трех образцов пенобетона, полученные на микротомографе «Орел-МТ».

Цель работы – экспериментальное исследование порового пространства пенобетона по томографическим изображениям, полученным на микротомографе «Орел-МТ».

В процессе исследования проводилась оценка пор по размерам для одного образца пенобетона. Оценка степени однородности изображений, сравнительный анализ распределений пор по размерам проводились для всех образцов пенобетона.

В результате исследования разработан алгоритм оценки степени однородности материала, по его томографическому изображению, установлено, что образец пенобетона, содержащий термомодифицирующую торфяную добавку ТМТ 600, выгодно отличается по структуре от других образцов пенобетона.

Степень внедрения: разработанный алгоритм оценки степени однородности и методы математически-статистического анализа распределения пор по размерам были применены для исследования порового пространства пенобетона.

Область применения: разработка технологий новых строительных материалов, неразрушающий контроль.

В будущем планируется автоматизация процесса исследований.

Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки

Определения

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями:

пенобетон: Ячеистый бетон, имеющий пористую структуру за счёт замкнутых пор (пузырьков) по всему объёму, получаемый в результате твердения раствора, состоящего из цемента, песка, воды и пенообразователя.

пористость: Доля объёма пор в общем объёме пористого тела.

рентгеновская вычислительная томография (компьютерная томография): Метод неразрушающего послойного исследования внутреннего строения объекта, основанный на просвечивании объекта контроля рентгеновским излучением под разными углами и последующей компьютерной обработке полученной информации.

микротомография: Томография с микронным и субмикронным пространственным разрешением.

структура: Пространственное распределение фрагментов в объекте исследования.

пора: Полость в пенобетоне, заполненная газом.

несплошность: Нарушение однородности материала.

неразрушающий контроль (НК): Контроль природной среды, веществ, материалов и изделий без нарушения их целостности и не приводящий к потере их работоспособности.

дефект: Каждое отдельное несоответствие установленным нормам и требованиям.

полутоновое изображение: Одноцветное изображение, имеющее множество значений тона.

бинарное изображение (двухуровневое, двоичное): Двухцветное цифровое изображение без полутонов.

пиксель: Элемент двумерного цифрового изображения.

воксел: Элемент объёмного изображения.

Сокращения:

ОК – объект контроля;

СМ – строительные материалы;

НМК – неразрушающие методы контроля;

РВТ – рентгеновская вычислительная томография;

НТИ – научно-техническое исследование;

ГОСТ – государственный стандарт;

ПК – персональный компьютер;

ЧС – чрезвычайная ситуация;

ЭМП – электромагнитное поле.

Оглавление

Введение	10
1. Обзор литературы	14
1.1. Развитие бетонной и пенобетонной промышленности	15
1.2. Классификация пор в пенобетоне	15
1.3. Характеристика несплошностей бетона, модели пористых тел	16
1.4. Компьютерная микротомография, микротомограф «Орёл-МТ»	22
2. Объект и методы исследования	26
2.1. Образцы пенобетона	26
2.2. Алгоритм оценки степени однородности изображений	27
3. Экспериментальные исследования	30
3.1. Оценка распределения пор по размерам для первого образца	30
3.2. Сравнительный анализ распределений пор по размерам для всех образцов пенобетона	34
3.3. Оценка степени однородности изображений	37
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	41
4.1. Технология QuaD	41
4.2. Планирование научно-исследовательских работ	43
4.3. Определение трудоемкости выполнения работ	44
4.4. Разработка графика проведения научного исследования	45
4.5. Бюджет научно-технического исследования	50
4.6. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	58
5. Социальная ответственность	61
5.1. Введение	61
5.2. Производственная безопасность	61
5.3. Экологическая безопасность	65
5.4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях	65

5.5. Организационные мероприятия обеспечения безопасности	66
Список публикаций	68
Заключение	69
Список используемых источников	70
Приложения	72
Приложение А Размеры пор в пикселях для образцов пенобетона	72
Приложение Б Технические характеристики микротомографа «Орёл-МТ»	76
Приложение В Типичные томографические изображения пенобетона	77
Приложение Г Матрицы значений яркости по локальным областям для образцов пенобетона	80

Введение

В настоящее время пенобетоны являются одними из самых популярных строительных материалов, который используется в классическом и монолитном домостроении. Пенобетоны обладают рядом свойств, существенно отличающих их от классических бетонов. К таким свойствам относятся: высокая тепло- и звукоизоляция, небольшая удельная потребность в цементе, малая плотность и простота механической обработки [1, 2]. Основной характеристикой пенобетонов является их пористость, определяющая перечисленные выше свойства. Потребительские свойства пенобетона зависят не только от среднего значения пористости, но и от характера распределения пор по размерам, а также от степени однородности упомянутых показателей по объему материала. Структура пенобетонов в традиционных подходах исследуется послойно визуально-измерительными методами или способами [3], основанными на анализе цифровых оптических изображений. Традиционные методы исследования структуры материалов сводятся к их послойному срезанию, потому их отличает крайне низкая производительность и искажение структуры поверхностного и приповерхностного слоя, обусловленное механическими воздействиями. В настоящее время рентгеновская вычислительная томография становится основным методом исследования структуры разнообразных материалов, в том числе бетонов и пенобетонов. [4–7] Анализ черно-белых изображений твердых тел применяют при возможности выделения элементов по яркости на полутоновом изображении объекта. Для осуществления такой операции используют преобразование полутонового изображения в бинарное с помощью устанавливаемого оператором яркостного окна.

Цель работы – экспериментальное исследование порового пространства пенобетона по томографическим изображениям, полученным на микротомографе «Орел-МТ»

Задачи:

1. Изучение актуальной литературы по структуре бетонов, пенобетонов, классификация пор в пенобетоне, характеристики несплошностей бетона и моделей пористых тел.

2. Экспериментальные исследования по оценке распределения пор по размерам для образца пенобетона, сравнительный анализ распределений пор по размерам для всех образцов пенобетона, оценка степени однородности томографических изображений, разработанным алгоритмом.

На VI Всероссийской научно-практической конференции студентов и молодых ученых «Неразрушающий контроль: электронное приборостроение, технологии, безопасность», в рамках секции №1 «современные системы и технологии в неразрушающем контроле» была представлена статья - «Экспериментальное исследование структуры пенобетона на микротомографе «Орёл-МТ»

1 Обзор литературы

1.1 Развитие бетонной и пенобетонной промышленности

В начале 20 столетия бетон становится одним из самых популярных строительных материалов, определяющий уровень развития научно-технического прогресса. Мировой объём его применения достиг двух миллиардов кубометров в год. Из-за того что бетон имеет широкое применение открываются новые свойства материала, он становится все больше популярным в строительной среде, конструкции из бетона получают новые решения. А если к этому прибавить такие отличительные свойства бетона как: простота технологии изготовления и переработки, доступность, малая энергоёмкость, экологическая безопасность и эксплуатационная надежность, становится очевидным интерес к нему, увеличение требований со стороны строительных организаций и постоянное стремление к его совершенствованию.

В связи с этим, сейчас, в строительстве применяется огромное число разновидностей бетона. Процесс создания новых методик изготовления, новых видов идет до сих пор, совершенствуется технология производства бетонных работ.

Изначально бетон применялся исключительно для монолитных конструкций. Позднее отечественные строители доказали, что в климатических условиях России замена ряда монолитных конструкций сборными позволяет повысить темпы возведения зданий и сооружений, сделать бетон более индустриальным материалом, а строительство – круглогодичным. Главным периодом мощного развития сборного железобетона в стране явились 1955–1985 гг., когда в СССР была создана промышленность сборного железобетона, далеко опередившая промышленность США, Англии, Франции и Германии.

21 век ознаменовался возвратом на территорию России монолитного домостроения – более экономичного и «гибкого» способа возведения [1, 2]. Последние 20 лет XX веке в лабораториях мира велись и ведутся в настоящее

время настойчивые работы по исследованию причинно-следственной связи свойств пенобетона и его структуры, процессов структурообразования. Появились эффективные модификаторы для вяжущих бетонов, различные добавки и наполнители, армирующие волокна, новые технологии, новые теории структурообразования [3], активно развиваются процессы моделирования, компьютерного проектирования структур будущих бетонов, автоматизированные системы управления технологическими процессами.

Наблюдается смещение приоритета в развитии бетонов от устаревших путей совершенствования структуры и составов в сторону совершенствования технологии их получения.

1.2 Классификация пор в пенобетоне

Установлено, что прочность и деформативность цементного камня, а в ещё большей степени проницаемость, морозостойкость и морозосолеустойкость оказываются в сильной зависимости не только от кристаллической решётки отдельных кристаллов новообразований, но и от размеров и конфигурации. Большое влияние на эти свойства оказывает характер пористости – структура порового пространства, под которой понимается число, размеры, характер распределения пор и капилляров, пронизывающих тело бетона.

В таблице 1.1 приведена классификация пор [13] по различным критериям, а внешний вид – на рис. 1.1.

Таблица 1.1 – классификация пор в бетоне

Название критерия	Виды
Форма поперечного сечения	ровные, трубчатые, бутылкообразные, клиновидные, замкнутые, щелевые и их комбинации
По протяжённости	прямые, извилистые, петлеобразные;
По непрерывности	открытые (каналообразующие), тупиковые (открытые с одной стороны), условно закрытые (капилляры, не выявленные данным методом определения параметров поровой структуры)

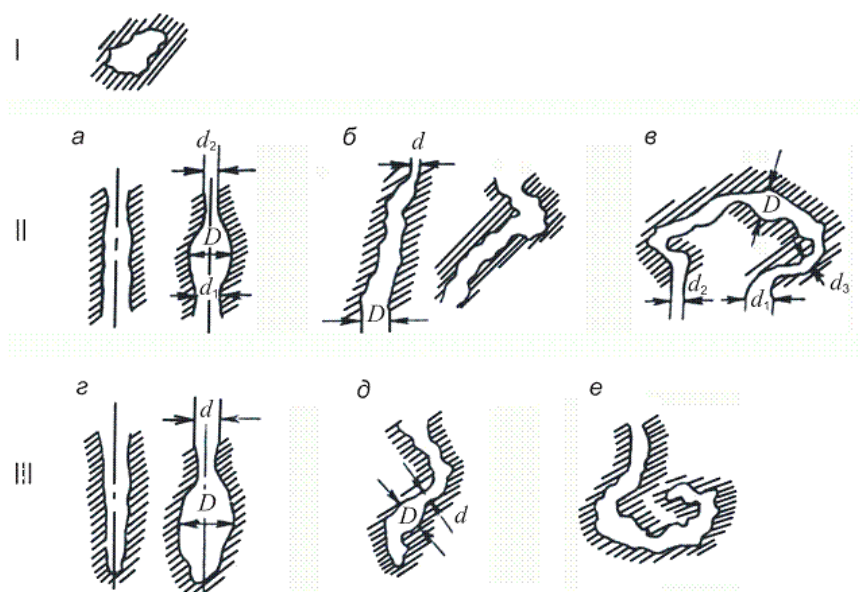


Рисунок 1.1 – Формы пор в бетоне [13]:

I – закрытые; II – открытые каналообразующие: а – прямые; б – червеобразные;
в – петлеобразные; III – тупиковые поры: г – прямые; д – червеобразные;
е – петлеобразные

При характеристике структуры пор возникла необходимость разделения пор по размерам. И хотя в настоящее время общепринятой методики такого деления пор по размерам нет, качественные различия в характере капиллярных явлений позволили академику В.А. Лыкову обосновать деление всех капилляров по радиусу r на 3 группы [16]:

$r < 5 \cdot 10^{-9}$ м (5 нм) микрокапилляры;

$5 \cdot 10^{-9} < r < 10^{-7}$ м (5–100 нм) переходные поры;

$r > 10^{-7}$ м (> 100 нм) макрокапилляры.

В результате адсорбции паров воды из воздуха стенки капилляра покрываются слоем влаги толщиной около 0,1 мкм. [13] Если радиус капилляра меньше этой величины, то капилляр может быть полностью заполнен жидкостью в результате сорбции ее паров независимо от того, есть ли у капилляра дно (рис. 1.2.а) или он сквозной (рис. 1.2.б). При радиусе капилляров более 0,1 мкм мениски не смыкаются и капиллярная конденсация может происходить только в несквозных капиллярах [13] (рис. 1.2.а).

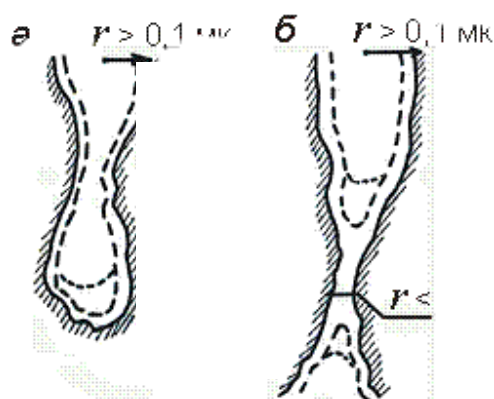


Рисунок 1.2 – Заполнение капилляров водой: *а* – тупикового; *б* – сквозного

Микрокапилляры с радиусами меньше 0,1 мкм могут заполняться за счет сорбции паров из окружающей среды и образования плёнок на стенках.

Макрокапилляры с радиусами больше 0,1 мкм могут быть заполнены жидкостью только при непосредственном контакте с ней. Кроме того, особенностью макрокапилляров является то, что они не только не сорбируют влагу из влажного воздуха, а наоборот, отдают первоначально находившуюся в них влагу в атмосферу.[13] Возможны и другие классификации пор в бетоне. В таблице 1.2 приведена расширенная классификация пор в бетоне с указанием авторов и методов определения размеров пор.

Таблица 1.2 – Классификация пор[13,17]

Размеры пор, нм	Группы пор	Авторы классификации	Метод определения размеров пор
Менее 0,6	Ультрамикропоры Небольшие внутренние Межкристаллические Межслоевые	Брунауэр Михаил Кондо Фельдман	Водонасыщение То же Адсорбция воды Адсорбция воды и всасывание геля
0,6–1,5	Микропоры Поры геля Адсорбционные Большие внутренние Внутрикристаллические	Брунауэр Пауэрс Фельдман Михаил Пауэрс, Кондо, Михаил	Электронная микроскопия То же Адсорбция метанола Адсорбция азота и метанола То же
1,5–10	Мезопоры Поры между частицами геля	Брунауэр Пауэрс, Кондо, Михаил	Ртутная порометрия То же
Более 100	Макропоры	Брунауэр, Пауэрс, Кондо, Михаил	Ртутная порометрия

При исследовании свойств цементного камня поры, имеющиеся в нём, разделяются на несколько уровней и подуровней [17].

Структура порового пространства пенобетона является определяющей составляющей поровой структуры и характерных особенностей и свойств материала. Структуру порового пространства пенобетона необходимо оценивать в целом с учётом с различными видами дефектов. При этом разнообразие размеров в структуре становится более широким.

Систематизация результатов многочисленных исследований структуры порового пространства бетона позволила Н.А. Мощанскому [18] все поры и неплотности бетона разделить по их происхождению:

а) крупные каверны и пустоты, образовавшиеся при недостаточно тщательной укладке жёстких и малопластичных смесей;

б) небольшие поры в цементном камне и бетоне, образовавшиеся при перемешивании и укладке или при искусственном вовлечении воздуха с помощью специальных добавок (газобетон, пенобетон, бетон с воздухововлекающими добавками);

в) мелкие поры и капилляры, возникающие в межзерновом пространстве цементного камня и раствора вследствие испарения слабо связанной воды;

г) щели и рыхлые места в верхней части горизонтальных швов при укладке массивов, возникающие вследствие внешнего расслаивания бетонной смеси;

д) несплошности под зёрнами относительно крупных частиц заполнителя, возникающие вследствие внутреннего расслоения раствора;

е) щели и микрощели усадочного порядка, возникающие в бетоне при значительном температурном или влажностном градиенте;

ж) тончайшие микропоры гидратированных оболочек цементных зёрен (поры геля), возникающие вследствие контракционных явлений при гидратации.

Контракция (стяжение) – явление уменьшения абсолютного объёма системы: цемент плюс вода.

1.3 Характеристика несплошностей бетона, модели пористых тел

Учитывая наиболее типичные размеры несплошностей и их долю в общем объёме бетона, Н.А. Мощанский даёт их характеристику (таблица 1.3.).

То есть пористость бетона представлена хаотически распределёнными капиллярами переменного сечения, образовавшимися в результате вовлечения воздуха при перемешивании и укладке бетонной смеси. Общий объём пор в затвердевшем цементном камне по разным источникам составляет 8–35 %, в плотном бетоне – 6–20 %, а в бетонах с пористой структурой она может достигать до 75–85 %.

Таблица 1.3 – Характеристика несплошностей бетона[18]

Виды пор и несплошностей	Основные причины образования несплошностей	Типовые размеры	Вероятный процент от объёма бетона	Характер
Каверны	Плохая усадка	1–50 см	0–5	Открытые
Воздушные				
а) естественные	Неизбежное вовлечение воздуха при смешивании и укладке	0,1–5 мм	1–3	В большинстве замкнутые
б) пенобетона	Воздух, искусственно введённый с пеной	0,1–5 мм	30–90	То же
в) газобетона	Искусственно введённый газ	0,01–1 мм	10–50	То же
г) от вовлеченного воздуха	Воздух, искусственно введённый с добавками	5–25 мкм	3–10	То же
Воздушно-водяные поры после испарения	Испарение слабосвязанное	1–50 мкм	10–15	В большинстве открытые
Поры и щели горизонтальных швов	Послойное расслаивание	1–50 мкм	1–2	То же
То же под зёрнами крупного заполнителя	Межзерновое расслаивание	0,01–0,1 мкм	0,1–1	То же
Щели разрыва:				
а) температурные	Резкий и значительный температурный перепад	1–20 мм	0–1	Открытые
б) усадочные	Перепад влажности	1–5 мм	0–0,1	То же
Поры геля	Контракция (стяжение)	5–20 мкм	0,5–1,0	В основном замкнутые

Поскольку расположение капилляров в бетоне, как и в ряде других пористых тел, представляет очень сложную картину, для описания структуры порового пространства и механизма переноса флюидов через бетон разными авторами [13] были предложены различные модели (рисунок 1.3). Каждая модель безусловно имеет определенные недостатки, но может использоваться для моделирования определенных процессов.

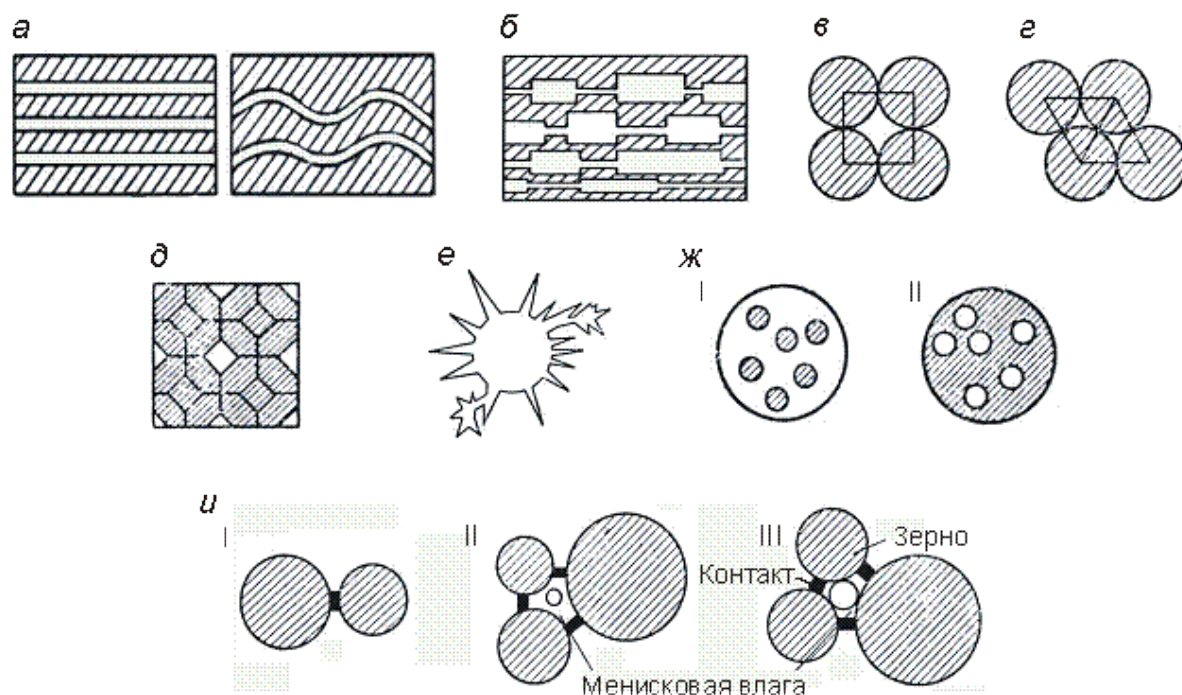


Рисунок 1.3 – Упрощенные модели капиллярно-пористых тел:

а – «идеальный» грунт; *б* – модель Адзуми; *в*, *г* – модели «фиктивного» грунта;

д – модель Власова; *е* – модель Дубинина; *ж* – модель Вигтса;

и – модели спаянных кристаллов

Совершенствование технологии производства бетонов приводит к тому, что основной объём пор и несплошностей остаётся всё же в цементном камне. Это обусловило выводы ряда исследователей, что некоторые свойства бетона определяются лишь структурой цементного камня. Но и при этом условии в цементном камне существует достаточно большой объём пор различных размеров [3]:

а) поры геля – микропоры (менее 100 нм);

б) капиллярные поры – микропорами (от 100 нм до 10 мкм), расположенные между агрегатами частиц геля;

в) воздушные поры и пустоты (от 50 мкм до 2 мм) – полости, заполненные воздухом, засосанным в цементное тесто вследствие вакуума, вызванного контракцией, вовлечённые в тесто при изготовлении или усадке, а также при добавлении специальных воздухововлекающих веществ, оставшихся в тесте вследствие его недоуплотнения.

Пористая структура геля, как самого важного продукта гидратации цемента, оказывает влияние на механические свойства, проницаемость и морозостойкость цементного камня. Вода, заполняющая поры геля, имеет с твердой фазой адсорбционную связь, так как адсорбционный слой воды имеет толщину до 0,15 мкм.[17] Вода геля не замерзает при низкой температуре (по некоторым данным при минус 78 °С [3] и даже минус 190 °С [19]), т. е. не переходит в лёд при самых сильных морозах и, следовательно, поры геля не сказываются на морозостойкости цементного камня и бетона. Вода, адсорбированная в порах, уменьшает живое сечение и без того малых гелевых пор, поэтому водопроницаемость цементного геля весьма мала.

Часть воды затворения, неуместившаяся в порах геля, располагается вне геля и образует капиллярные поры. Они имеют большой диаметр и доступны для воды при обычных условиях насыщения. При значительном объёме капиллярных пор, пронизывающих цементный камень, бетон имеет низкую морозостойкость, большую проницаемость, плохо сопротивляется химической коррозии и не защищает надёжно стальную арматуру [3].

Таким образом, деление пор по размерам необходимо для регулирования свойств бетона. Этим объясняется большое количество предложенных классификаций пор. Однако для описания структуры порового пространства цементного камня этого ещё недостаточно. Помимо радиуса или диаметра пор в качестве характеристик структуры порового пространства можно использовать объём пор, удельную поверхность и распределение объёмов по размерам.

Для характеристики объёма порового пространства используют интегральные параметры: истинную (или полную), открытую (или кажущуюся), условно замкнутую пористость.

Под истинной (полной) пористостью понимают суммарный объём порового пространства материала, высушенного при температуре 25 °С в вакууме при остаточном давлении 0,5 мм ртутного столба. Наиболее простым способом определения истинной пористости n_n является расчётно-экспериментальный метод Ле-Шателье, основанный на определении плотности высушенного материала и плотности вещества.

Под открытой (кажущейся) пористостью понимается суммарный объём всех пор (капилляров) материала, соединяющихся между собой и с поверхностью материала и доступных определению данным методом испытания. Эта характеристика позволяет получить, хотя и относительные, но достаточно информативные данные о структуре порового пространства цементного камня и бетона.

Под условно-замкнутой пористостью понимается разность между истинной и открытой пористостью, то есть объём пор, недоступных данному методу определения.

Из дифференциальных параметров наиболее часто применяют функцию распределения объёма пор по размерам и различные условные размеры, такие как средний, эффективный, гидравлический, максимальный и тому подобные радиусы пор. Кроме того, к дифференциальным могут быть отнесены параметры, определяющие геометрические характеристики пор: форма и взаимное расположение пор и капилляров, их прямолинейность, извилистость, замкнутость, просветность и т. д. [17].

Из всех названных параметров наиболее важными и информативными являются истинная и кажущаяся интегральные и дифференциальные пористости. Они наиболее чувствительны к изменениям технологических параметров и оказывают наибольшее влияние на свойства бетона.

1.4 Компьютерная микротомография, микротомограф «Орёл-МТ»

В настоящее время для получения различных характеристик структуры твердых тел широко используется количественный анализ их изображений с помощью цифровых комплексов РЭМ-микроЭВМ.

Компьютерная микротомография – один из достаточно новых и универсальных и представительных методов для изучения объемного строения практически любых материалов и объектов. Результаты пространственного изучения различных объектов и материалов могут быть как дополнительными данными к существующим традиционным показателям, так и поставщиком новейшей, не доступной ранее информации.

В классической геометрии томосинтеза объект контроля предполагается расположенным между плоскостью источников и плоскостью регистрации, которые параллельны друг другу (см. рисунок 1.4.)

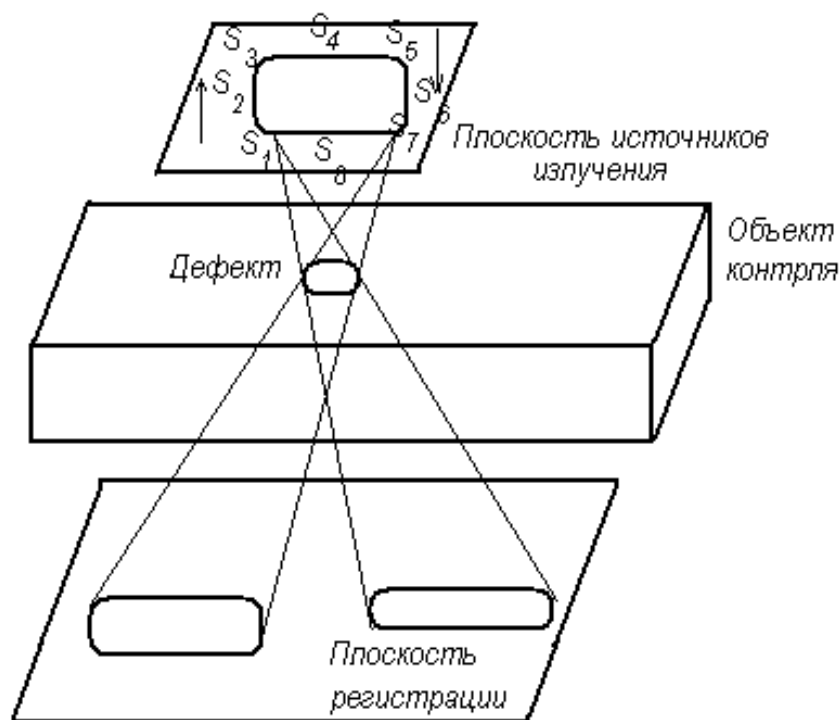


Рисунок 1. 4 – Классическая геометрия томосинтеза

Положение произвольной точки пространства определяется ее радиус-вектором $\mathbf{r}(x, y, z)$, здесь x, y, z – декартовы координаты. Ось z перпендикулярна плоскости регистрации и, таким образом, x, y – координаты на плоскости. Начало координат находится на плоскости регистрации ($z = 0$).

N фиксированных положений источника излучения на плоскости источника ($z = F$, где F – фокусное расстояние) соответствуют N проекциям на плоскости регистрации. Положение произвольного сечения объекта определяется параметром z ($z < F$) – "глубиной залегания".[20]

Первый патент принадлежащий аналоговой томографии и томографу патент - Е. Бокажа [20], (1921 г.). На основе патента построен томограф, источником зондирующего излучения которого являлась - рентгеновская трубка, а регистратором излучения -рентгеновская пленка, движутся навстречу друг другу по подобным траекториям в параллельных плоскостях. При этом “радиусы” траекторий подбирались в соответствии с глубиной залегания некоторого выделенного плоского сечения (параллельного плоскостям траекторий) внутри объекта таким образом, что изображение выделенного сечения, на котором лежат точки пересечения осей зондирующего пучка, на регистраторе будет неподвижным. Изображение же любой другой плоскости объекта будет смещаться при движении пары источник-регистратор. Поэтому на регистраторе зафиксируется сумма четкого изображения выделенной плоскости объекта (так называемого “фокального сечения”) и размытого изображения остальных сечений.

Классическая томография позволяет решить проблему выделения заданного слоя объекта лишь частично, поскольку информация от других слоев все же присутствует на томограмме в виде низкочастотного фона. Ее существенным недостатком явилось то обстоятельство, что за полный цикл облучения формировалась лишь одна томограмма, соответствующая выделяемому сечению. Для его преодоления Цидес дес Плантес (1932 г.) [20] предложил методику, названную им “сериескопией” и позволяющую по набору теневых изображений (рентгенограмм) объекта контроля путем их суммирования (с надлежащим сдвигом каждой рентгенограммы, соответствующим глубине залегания выделяемого сечения) формировать множество томограмм сечений объекта, параллельных плоскости регистрации.

Он так же создал устройство, позволяющее при помощи мощного негатоскопа просвечивать несколько рентгенограмм, создавая томограмму, при этом сдвиг рентгенограмм регулировался с учетом глубины залегания выделяемого слоя посредством механического привода. Однако, при помощи самого мощного негатоскопа можно просветить 4-5 рентгенограмм. Поэтому в настоящее время подобные операции сложения проекций выполняются цифровым образом на компьютерах.[20]

На рисунке 1.5 показана установка «Орёл», использующая метод томографии. В верхней левой части установки расположен детектор рентгеновского излучения на основе люминесцентного экрана и CCD-матрицы, перемещающийся в горизонтальной плоскости. В центре кадра столик для крепления объектов контроля, также перемещающийся в горизонтальной плоскости. Подробные характеристики микротомографа «Орёл-МТ» в **приложении Б**

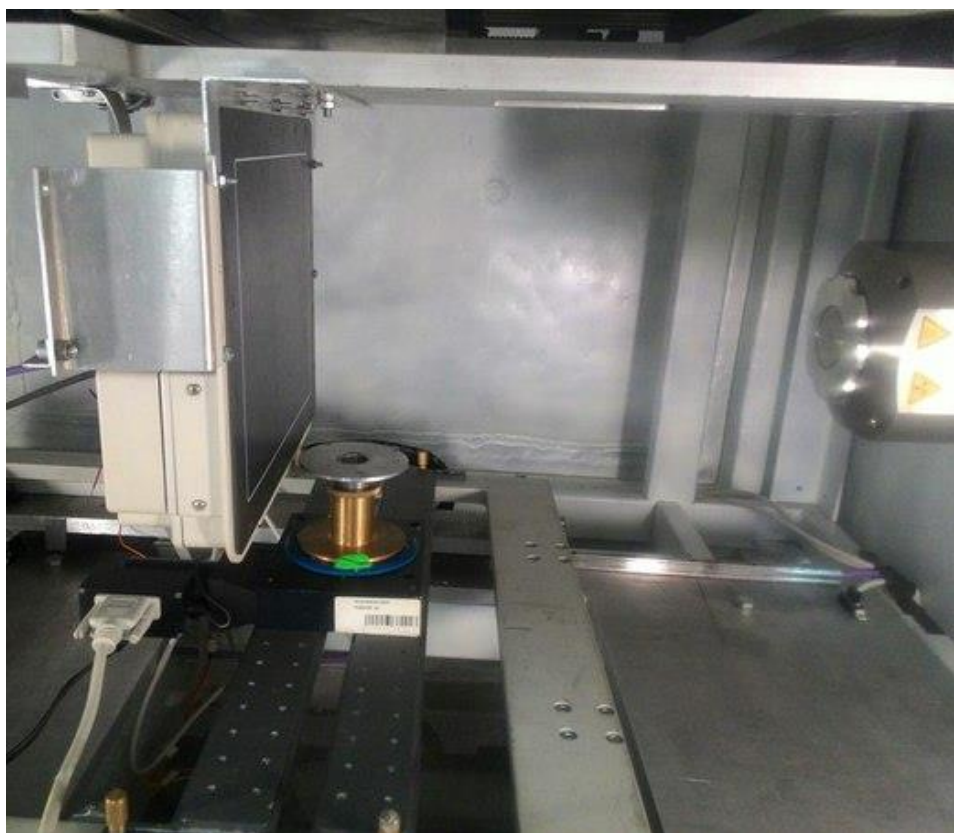


Рисунок 1.5 – Установка «Орёл-МТ»

2 Объект и методы исследования

2.1 Образцы пенобетона

В качестве объектов для испытаний были выбраны три образца пенобетона, представленные на рисунке 2.1 изготовленные в лабораторных условиях на кафедре строительных материалов ТГАСУ.

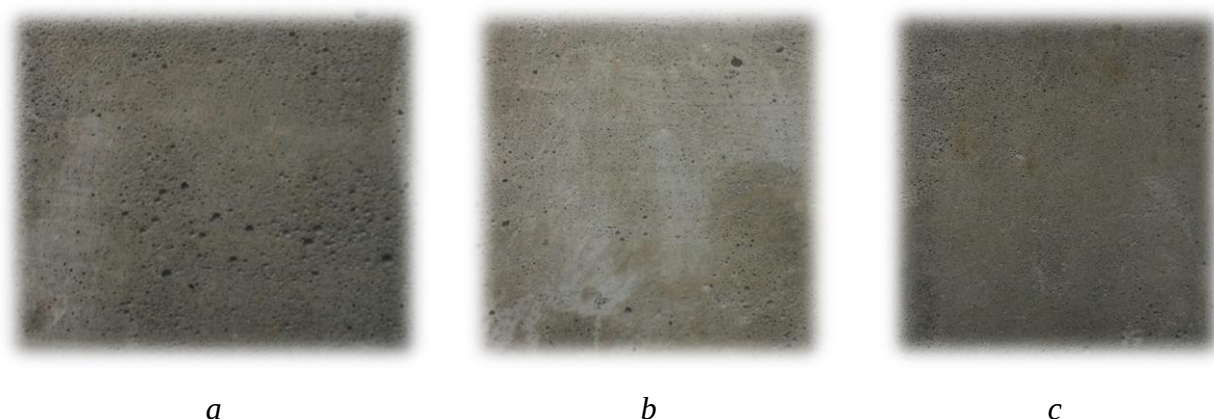


Рисунок 2.1 – Образцы пенобетона:

a – образец № 1; *b* – образец № 2; *c* – образец № 3

Первый образец пенобетона соответствует [8], он является контрольным и не содержит добавок. Во втором образце 20 % цемента заменено золой уноса ТЭЦ–5 г. Новосибирск [9]. Третий образец содержит термомодифицирующую торфяную добавку ТМТ 600 [10]. В процессе выполнения работы была проведена серия экспериментов на микротомографе «Орёл-МТ» с целью оценки внутренней послойной структуры испытуемых образцов пенобетона.

Размер вокселя не превысил 77 мкм. На рисунке 2.2 приведены типовые изображения слоев различных образцов пенобетона. На изображениях значительной плотности соответствуют светлые тона, а менее плотным фрагментам – темные оттенки.

Для исследования распределения пор по размерам в пределах одного слоя образца № 1 и сравнительного анализа распределения пор по размерам

всех трех образцов применены статистические методы обработки экспериментальных данных.

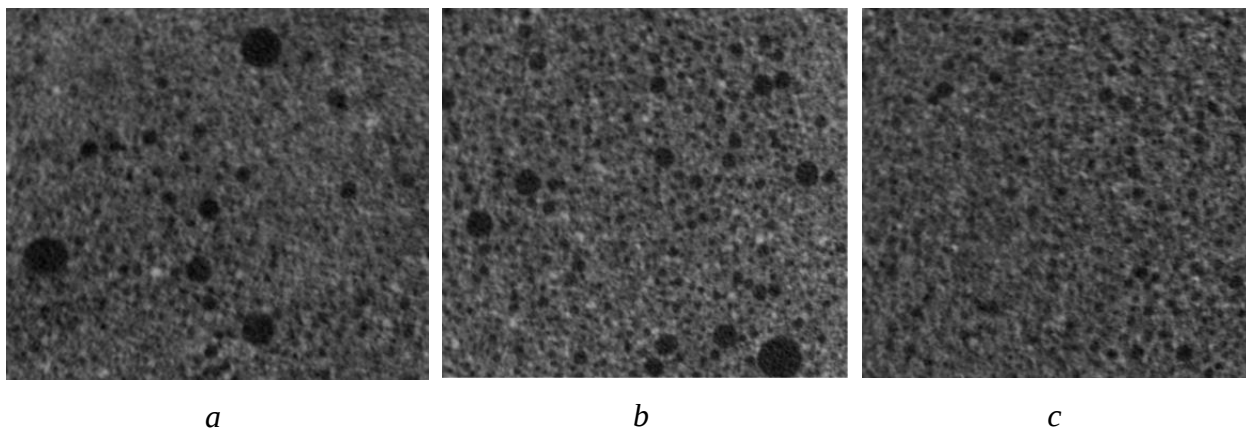


Рисунок 2.2 – Типичные изображения слоев, полученные методом РВТ:

a – образец № 1; b – образец № 2; c – образец № 3

Для оценки степени однородности пенобетона используется положения алгоритма, описанного ниже.

2.2 Алгоритм оценки степени однородности изображений

Будет исследовать степень однородности структуры пенобетона по тону изображения слоя пенобетона, полученного методом рентгеновской вычислительной томографии. Необходимо выбрать конкретные информативные параметры для оценки степени однородности.

Уровень градации серого цвета (полутон) gr можно рассматривать в качестве случайной величины. Случайная величина gr принимает значения в диапазоне от 0 до 255. Значение $gr=0$ соответствует поре, а $gr=255$ – максимально возможной плотности материала. Исходя из указанного допущения, к информативным параметрам цифровых полутоновых оптических изображений следует отнести gr_a – среднее значение полутона (уровня серого) по локальной области a , $a \in A$, здесь A – множество точек максимальной области интереса. Указанных характеристик недостаточно, так как среднее значение характеризует лишь меру положения случайной величины. В качестве дополнительной характеристики можно использовать

одну из мер рассеяния случайной величины – ее среднеквадратическое отклонение. Для рассматриваемой задачи информативной будем применять σgr_a – среднеквадратические отклонения полутона (уровня серого) по локальным областям $a, a \in A$.

Алгоритм оценки степени однородности базируется на вычислении изменения совокупности информативных параметров полутоновых изображений, полученных методом рентгеновской вычислительной томографии, по мере уменьшения площадей локальных областей a . Из теоретических соображений локальная область может изменяться от A до области размером $1 \times 1 \text{ pix}^2$. Однако на практике размер минимальной области ограничен размером зерна. Наиболее практично рассматривать множество точек максимальной области интереса A и локальные множества a в форме квадратов размерами $n_A \times n_A \text{ pix}^2$ и $n_a \times n_a \text{ pix}^2$ соответственно.

Выражения для оценки информативных параметров для полутоновых изображений имеют вид:

$$gr_a = \frac{\sum_{(i,j) \in a} gr_{i,j}}{\dim a}, \quad \sigma gr_a = \sqrt{\frac{\sum_{(i,j) \in a} (gr_{i,j} - gr_a)^2}{\dim a - 1}} \quad (2.1)$$

здесь $\dim a = n_a \times n_a$ – количество точек в локальной области $a \in A$.

Приведем основу алгоритма, которая включает в себя исходные данные, ограничения, последовательность действий.

К исходным данным относится само изображение I , множество A , минимальный размер локального множества $a - n_{a \min}$, количество шагов по изменению размера локального множества k_a .

Перечислим последовательность действий алгоритма.

1. Обнуляем счетчик номеров этапов алгоритма $k=0$.
2. Вычисляем gr_A и σgr_A для изображений слоев объекта.
3. Увеличиваем номер этапа $k = k+1$.

4. Проверяем условие $k > k_a$, если условие выполняется, то заканчиваем расчеты для испытуемого слоя и переходим к пункту сравнения и анализа (пункт 8).

5. В соответствии с выбранным подходом определяем число локальных множеств на k -ом этапе алгоритма $n_a(k)$ и размер локальных множеств для текущего этапа $a(k)$.

6. Формируем матрицы информативных параметров k -го этапа gr_{lmk} и σgr_{lmk} для изображений слоев объекта.

7. Переход к пункту 2.

8. Этап сравнения и анализа. Последовательно сравниваем значения информативных параметров, полученных на этапах обработки. Для удобства использования данный этап дополняется блоком визуализации.

Изложенный выше алгоритм легко может быть реализован на любом языке программирования высокого уровня или в системах математических вычислений, например, в MathCad.

3 Экспериментальные исследования

3.1 Оценка распределения пор по размерам для образца № 1

В ходе исследования были выбраны 5 слоев исследуемого 1 образца пенобетона, в программе JMicroVision 1.2.7 были замерены размеры пор, размеры занесенные в таблицу 3.1. Интерфейс программы и пример измерения пор представлены на рисунке 3.1.

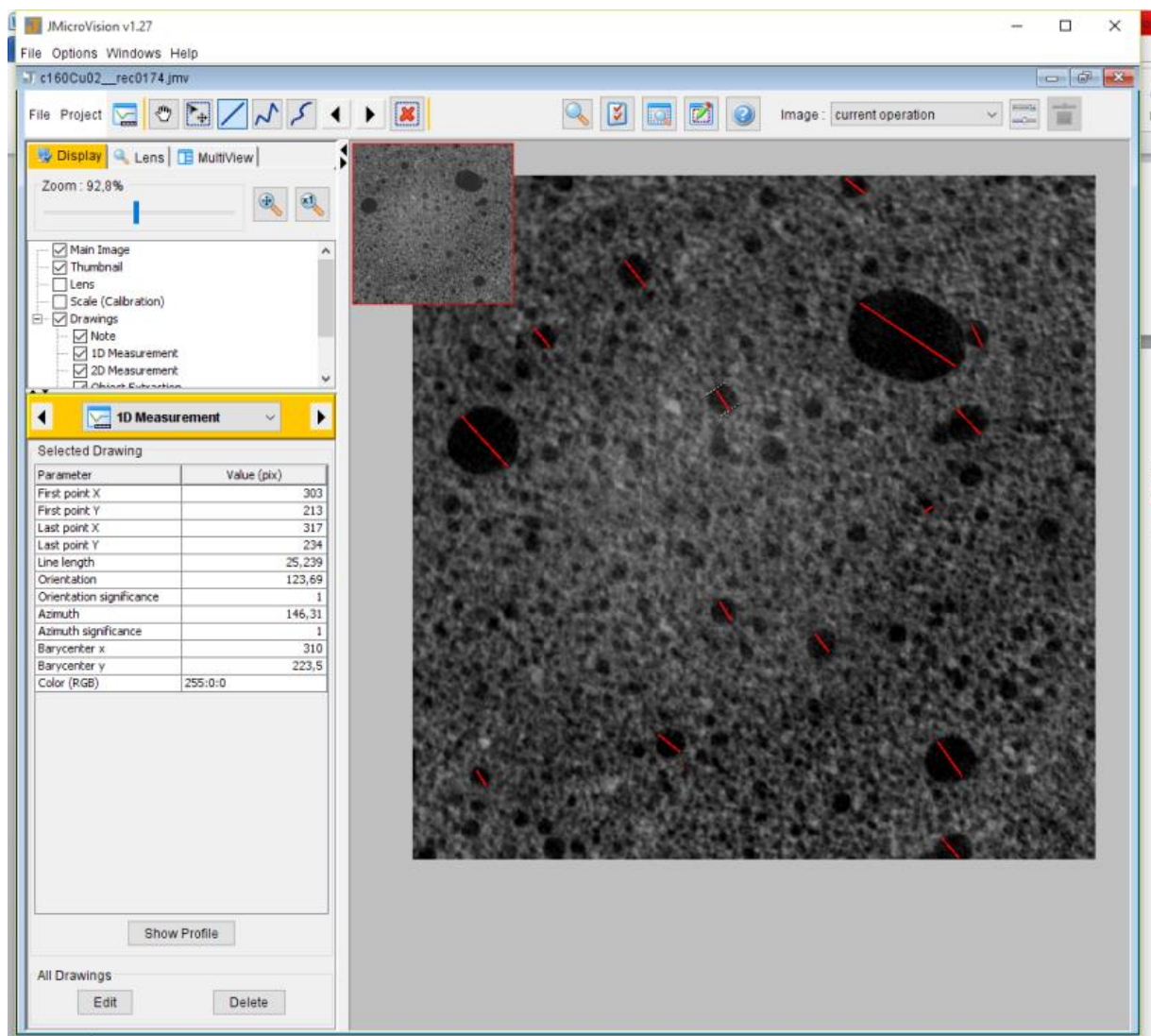


Рисунок 3.1 – Интерфейс программы и пример измерения размера пор

В зависимости от размеров пор, поры были разделены на группы, и отсортированы в порядке возрастания размера поры, от минимального значения к максимуму. Данные по размеру пор представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Распределение пор по размерам. Образец 1. Слой 1.

Размер пор в пикселях	0–25	21–30	31–70	>71
Число пор	4	8	4	1

В программе Excel построена гистограмма распределения количества пор по размерам – рисунок 3.2.

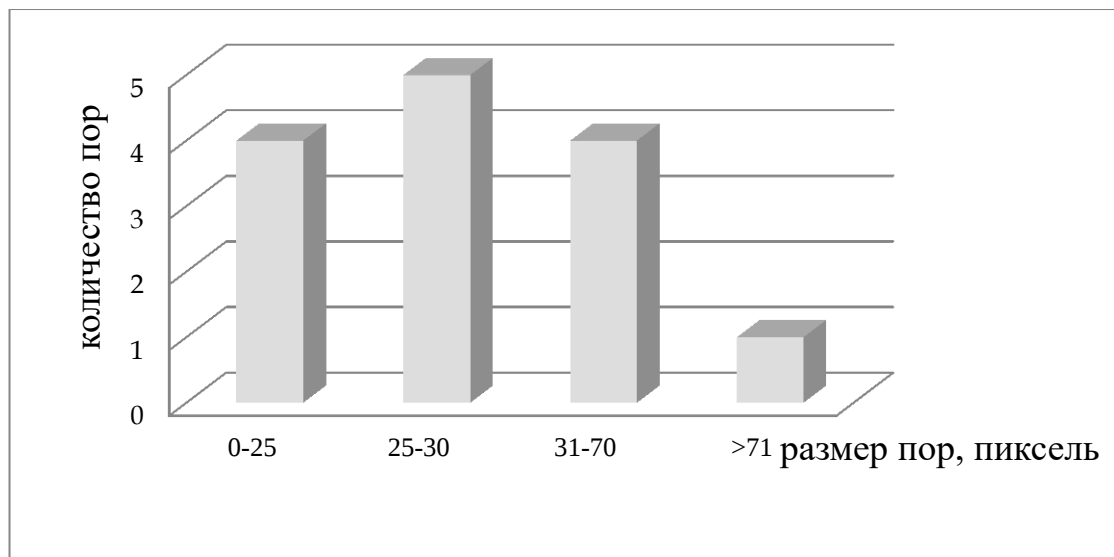


Рисунок 3.2 – Распределение пор по размерам образец 1. Слой 1

Размеры пор в пикселях для всех 5 слоев в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Размеры пор в пикселях для 5 слоев 1 образца.

1 слой	2 слой	3 слой	4 слой	5 слой
18	19	18	15	15
22	22	20	21	17
24	24	22	22	18
24	25	26	23	23
25	25	25	24	24
25	26	26	24	24
26	26	26	25	25
26	27	27	26	26
27	35	35	27	27
33	38	38	32	29
35	42	42	34	30
44	44	44	45	44
68	55	55	70	69
115	66	85	110	90
	70	89		
	110	119		

Аналогичные этапы исследований были проделаны для 4-х последующих слоев, данные распределения пор по размерам представлены в таблицах 3.3, 3.4, 3.5, 3.6.

Таблица 3.3 – Распределение пор по размерам. Образец 1. Слой 2

Размер пор в пикселях	0– 25	25– 30	31– 70	>71
Число пор	3	5	7	1

Таблица 3.4 – Распределение пор по размерам. Образец 1. Слой 3

Размер пор в пикселях	0– 25	25– 30	31– 70	>71
Число пор	3	5	5	3

Таблица 3.5 – Распределение пор по размерам. Образец 1. Слой 4

Размер пор в пикселях	0– 25	25– 30	31– 70	>71
Число пор	6	3	4	1

Таблица 3.6 – Распределение пор по размерам. Образец 1. Слой 5

Размер пор в пикселях	0– 25	25– 30	31– 70	>71
Число пор	6	3	2	1

Из анализа данных, приведенных на рис.3.7. можно сделать вывод об относительной близости распределений пор по размерам для различных слоев. Этот вывод является качественным, так как объемы анализируемых выборок незначительны.

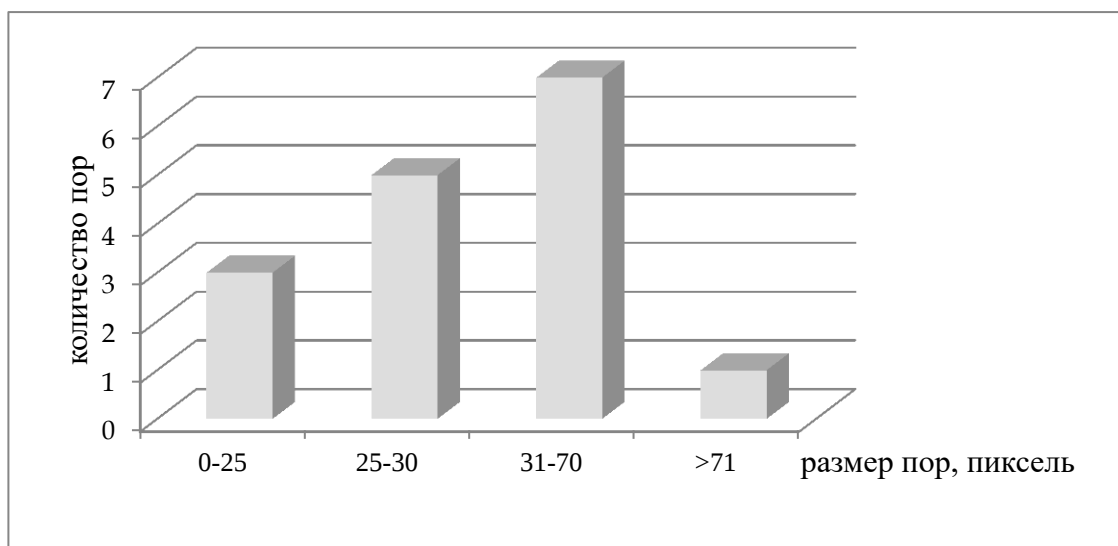


Рисунок 3.3 – Распределение пор по размерам образец 1. Слой 2

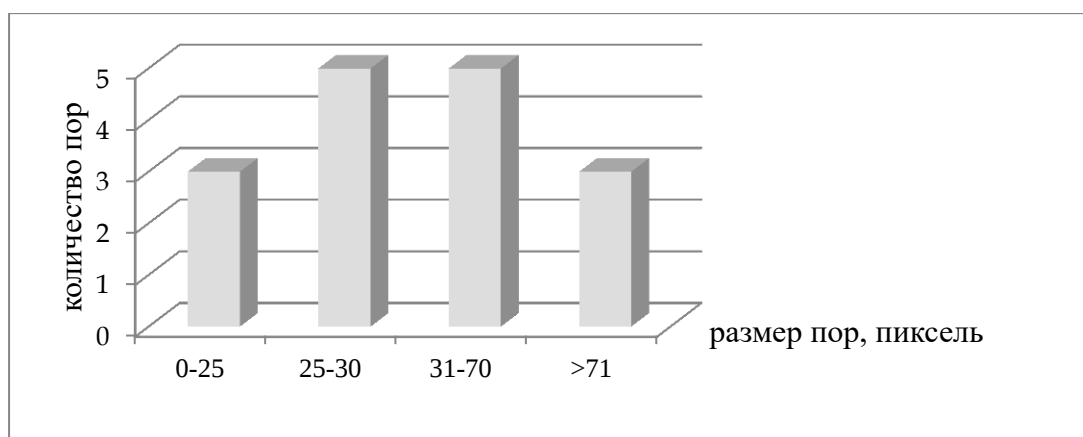


Рисунок 3.4 – Распределение пор по размерам образец 1. Слой 3

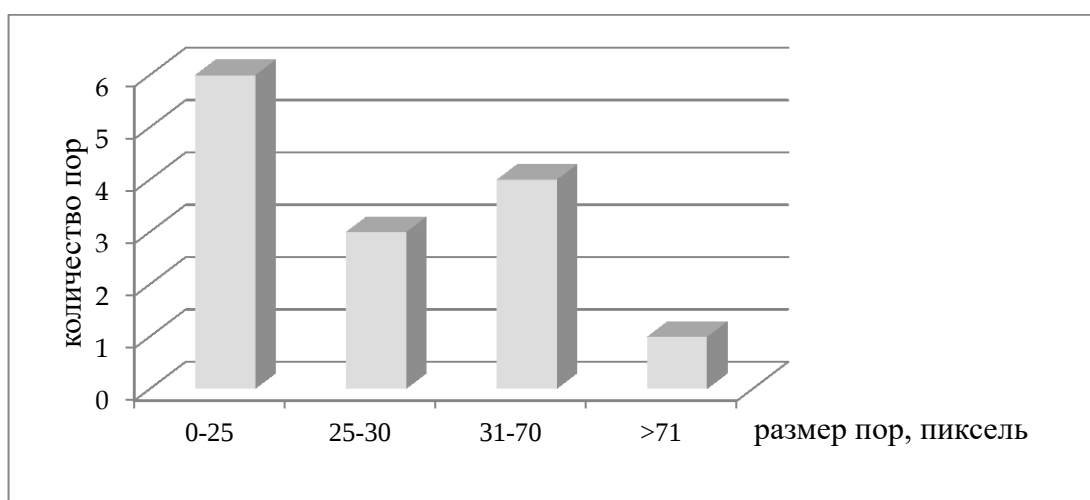


Рисунок 3.5 – Распределение пор по размерам образец 1. Слой 4

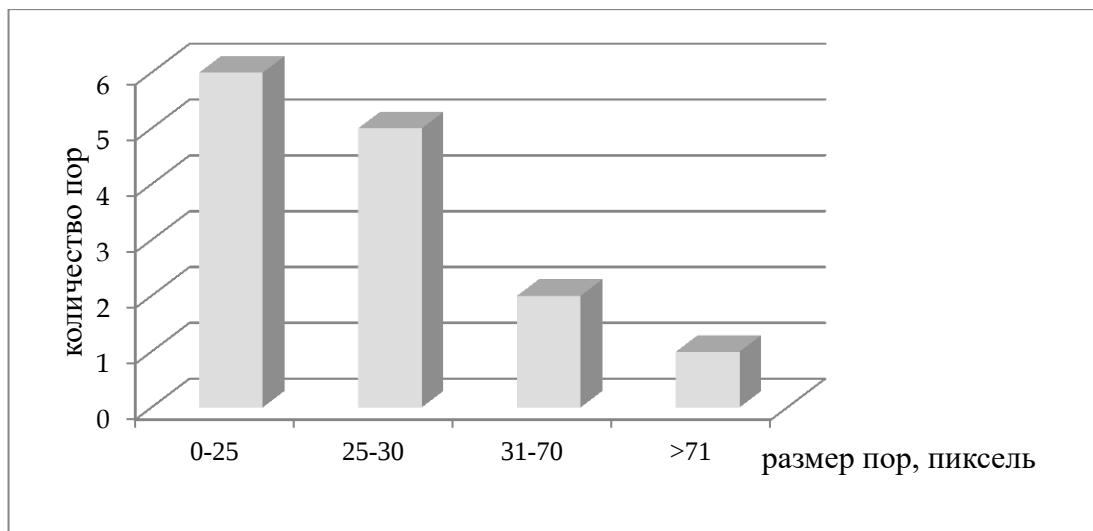


Рисунок 3.6 – Распределение пор по размерам образец 1. Слой 5

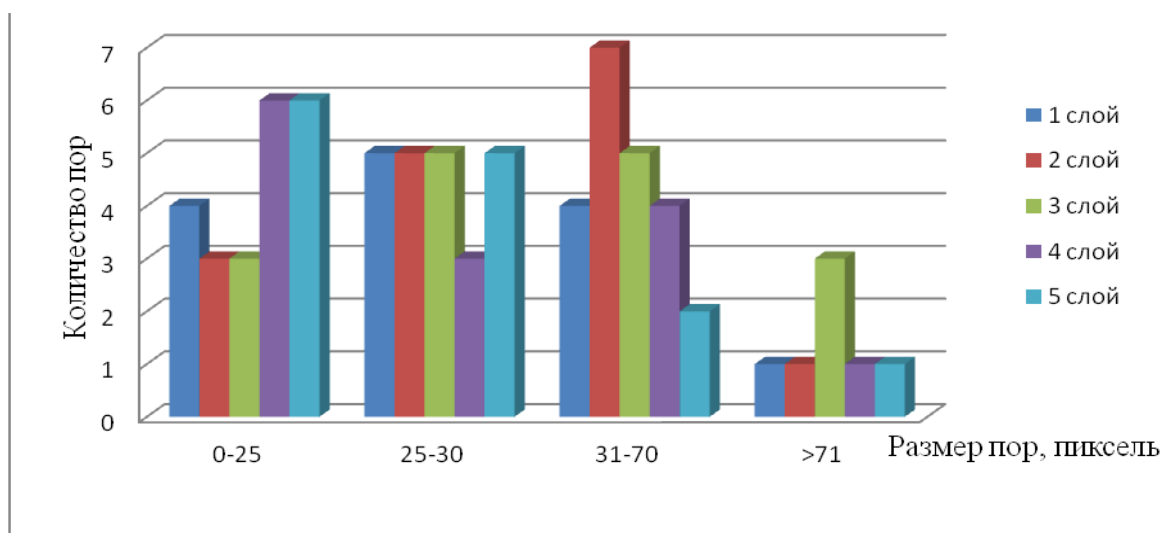


Рисунок 3.7 – Распределение пор по размерам образец 1. Слои 1–5

3.2 Сравнительный анализ распределений пор по размерам для всех образцов пенобетона.

Для сравнения распределений пор по размерам также использовалась программа JMicroVision 1.2.7. Объем выборки ограничивали сотней пор. Максимальный размер около 120 пикселей, что соответствует 9,2 мм. Поры размером, меньшим 15 пикселей (1,15 мм), в анализ не вовлекались. В

зависимости от размеров поры были разделены на 5 группы, данные по числу пор представлены в Приложение А.

Таблица 3.7 – Распределение пор по размерам. Образец 1.

Размер пор в пикселях	15-30	31-40	41-50	50-80	>80
Число пор	22	37	17	15	9

В программе Excel построена гистограмма распределения количества пор по размерам (рисунок 3.8).

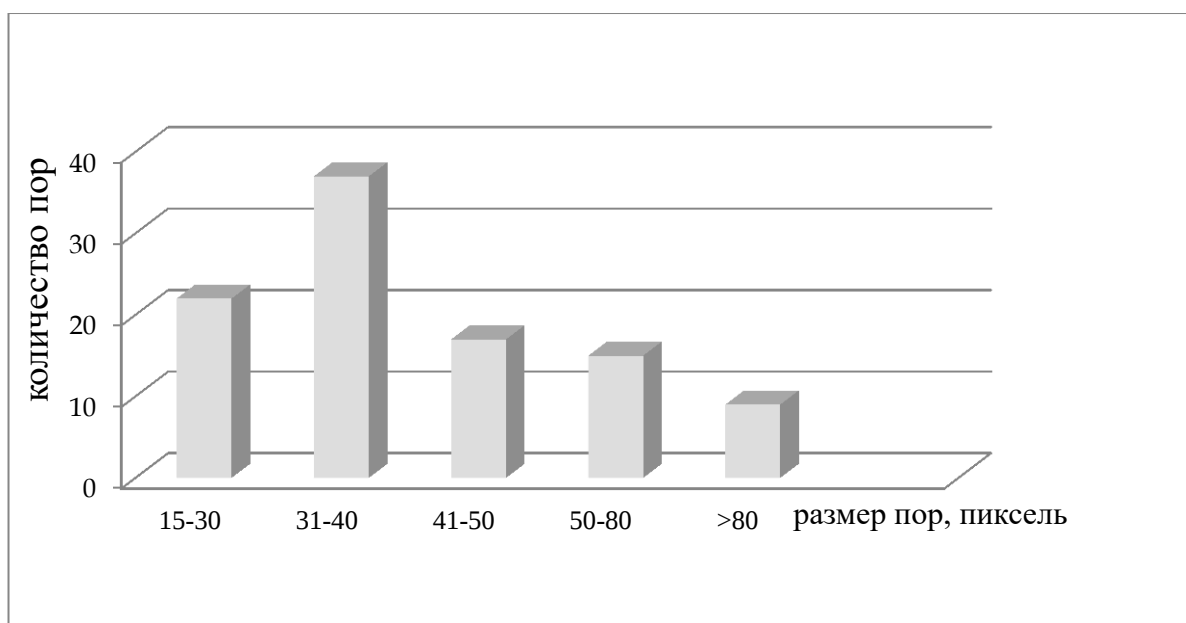


Рисунок 3.8 – Распределение пор по размерам образец 1

Далее были проведены аналогичные операции для 2, 3 образцов. Из соответствующих столбцов таблицы

Полученные данные количества пор от их размеров были занесены в таблицы 3.8.,3.9. На их основе построены гистограммы распределения пор по размерам для образцов 2,3 (рисунки 3.9., 3.10.)

Таблица 3.8 – Распределение пор по размерам. Образец 2

Размер пор в пикселях	15–30	31–40	41–50	50–80	>80
Число пор	23	36	21	10	10

Таблица 3.9 – Распределение пор по размерам. Образец 3

Размер пор в пикселях	15–30	31–40	41–50	50–80	>80
Число пор	61	30	7	2	0

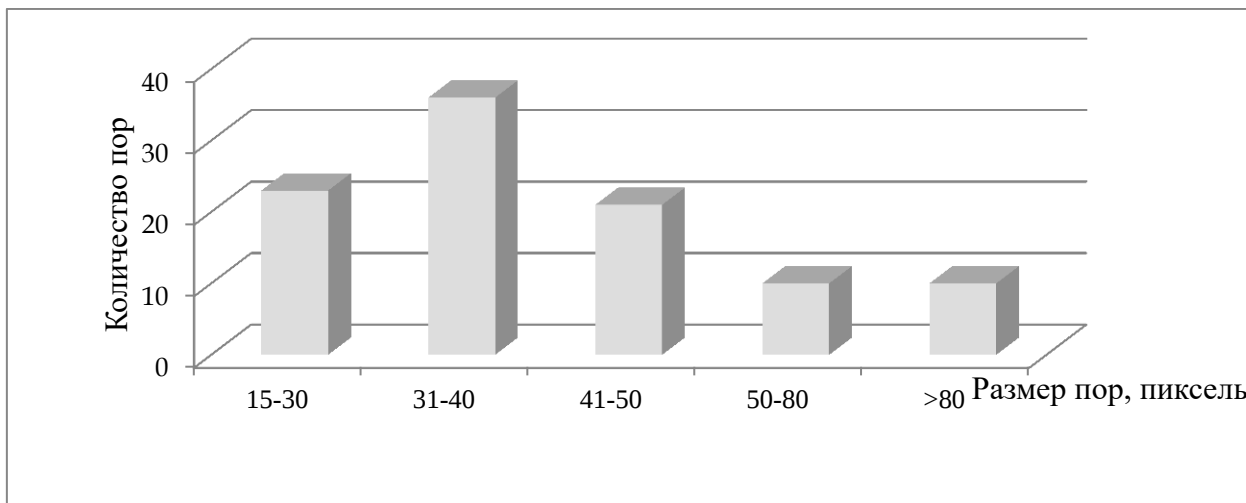


Рисунок 3.9 – Распределение пор по размерам образец 2

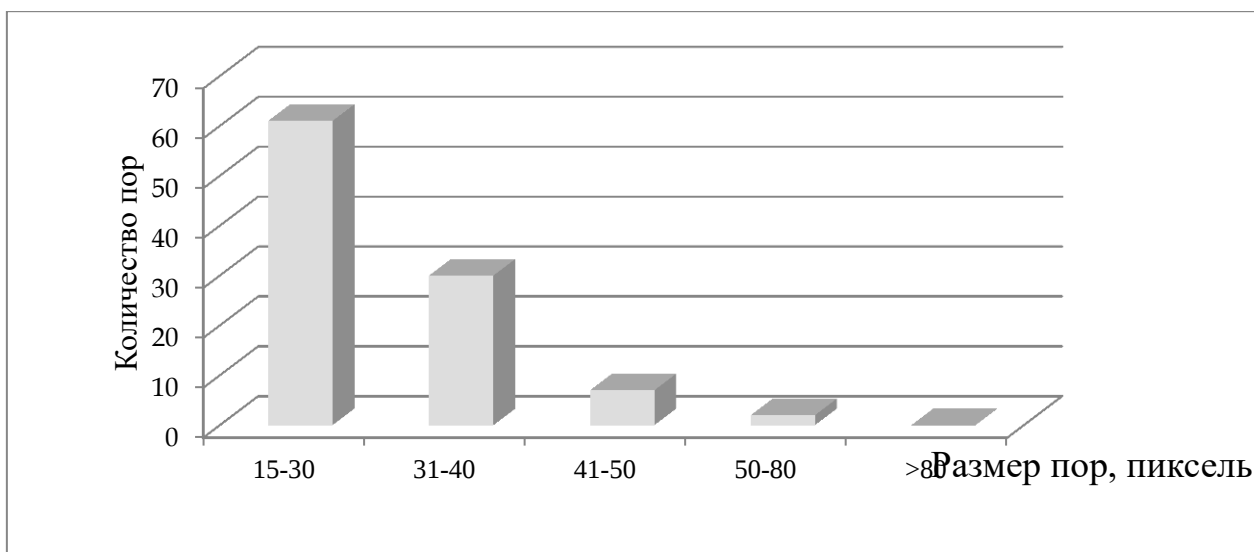


Рисунок 3.10 – Распределение пор по размерам образец 3

Из анализа данных, приведенных на рис.3.11. можно сделать вывод о схожести распределений пор по размерам для образцов пенобетона № 1 и № 2. В третьем образце преобладают поры диаметром 2 и менее миллиметра. Это означает, что образец пенобетона, содержащий термомодифицирующую торфяную добавку ТМТ 600, выгодно отличается по структуре от других образцов пенобетона.

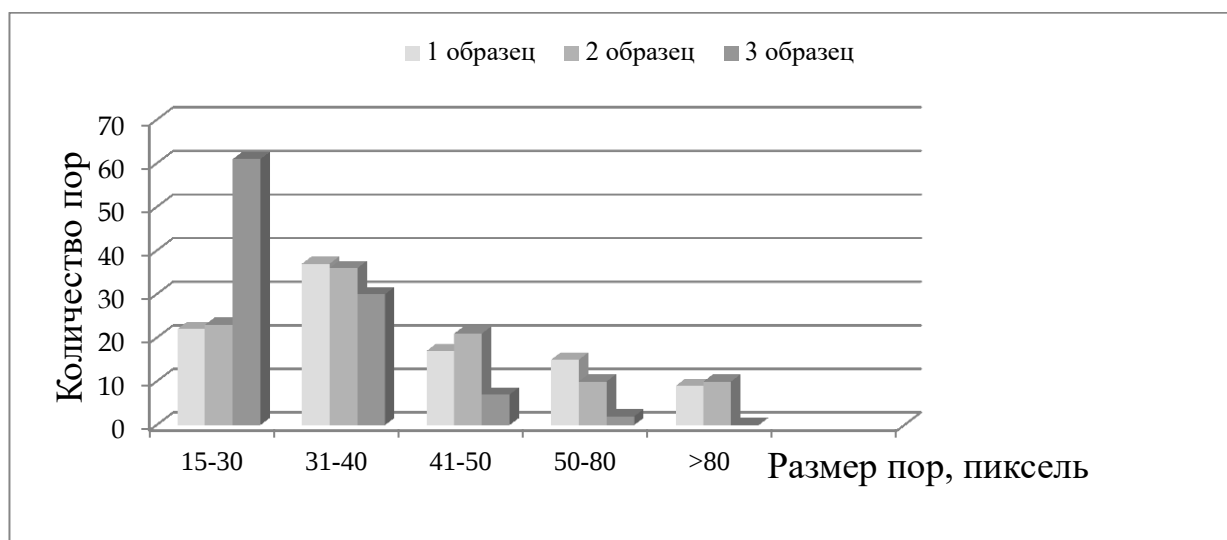


Рисунок 3.11 – Распределение пор по размерам для 3х образцов

3.3 Оценка степени однородности изображений

Для иллюстрации возможностей и особенностей алгоритма, рассмотренного в разделе 2, был обработан ряд изображений, приведенных в приложении В.

Был использован подход к уменьшению размеров локальных множеств, основанный на уменьшении линейного размера локального множества на каждом этапе в два раза. Выбор в пользу этого подхода был сделан потому, что обладает большей производительностью и меньшим объемом информации для конечного анализа степени однородности изображений слоев ОК по полутонам.

В качестве объектов для испытаний алгоритма были выбраны по одному слою каждого образца пенобетона (рисунок 3.12).

В таблице 3.10 приведены результаты применения алгоритма из предыдущего раздела. Результатами применения алгоритма являются средние значения яркости по локальным областям для первого образца.

В таблице 3.10 полужирным начертанием голубого цвета выделены значения яркости, существенно превышающие средний уровень. Это означает, что в указанных областях наблюдаются ярко выраженные уплотнения, что свидетельствует о недостаточно равномерном распределении пенообразователя. Красным же отмечены области с повышенной пористостью. Аналогичные матрицы для второго и третьего образца пенобетона представлены в приложении В.

Представление информации об однородности в виде матрицы позволяет количественно оценить значение яркости полутонового изображения и, следовательно, пористости пенобетона. Следует отметить определенную сложность процесса поиска участков с повышенной пористостью. Для устранения этой сложности было принято решение визуализировать полученную информацию. Для визуализации используется графическое представление информации из матрицы. Красным цветом на изображениях обозначается повышенная пористость, если яркость ниже некоторого порога, заданного заранее потребителем. В роли потребителя выступает, как правило, исследователь, разрабатывающий технологию производства пенобетона, отличающегося большей степенью однородности по пористости.

На рисунке 3.13 *a, b, c* показаны визуализированные результаты восстановления одного слоя каждого исследуемого образца методом рентгеновской вычислительной томографии. Из анализа данных, приведенных на рисунке 3.13 можно сделать вывод о наличии локальных зон повышенной пористости в первом и втором образцах, начиная с размерного уровня 6 мм и менее. Здесь под размерным уровнем понимается размер локальной области. Такого размера локальной области для анализируемого вида строительных материалов можно считать достаточным. Во втором образце зон с повышенной пористостью меньше. В третьем образце зоны повышенной пористости до размерного уровня 6 мм отсутствуют, следовательно, его структура более однородна.

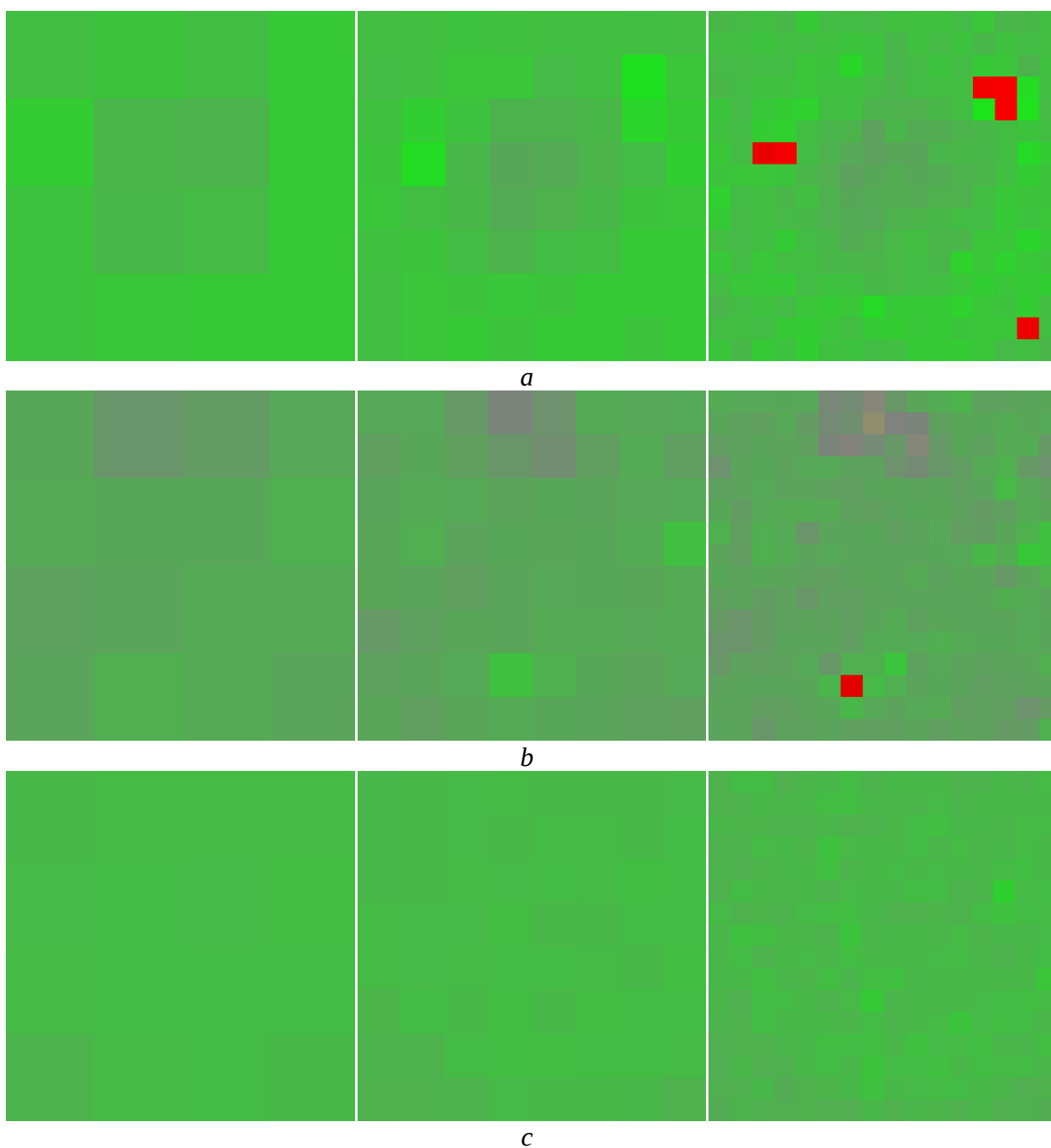


Рисунок 3.13 – Визуализированные изображения для оценки степени однородности:

a – образец № 1; *b* – образец № 2; *c* – образец № 3

Анализ результатов проведенных исследований свидетельствует об эффективности и удобности предлагаемого алгоритма оценки однородности пенобетонов по пористости.

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

4.1 Технология QuaD

Технология QuaD (QUalityADvisor) представляет собой гибкий инструмент измерения характеристик, описывающих качество новой разработки и ее перспективность на рынке и позволяющие принимать решение целесообразности вложения денежных средств в научно-исследовательский проект.

В основе технологии QuaD лежит нахождение средневзвешенной величины следующих групп показателей:

- 1) Показатели оценки коммерческого потенциала разработки:
 - влияние нового продукта на результаты деятельности компании;
 - перспективность рынка;
 - пригодность для продажи;
 - перспективы конструирования и производства;
 - финансовая эффективность;
 - правовая защищенность.
- 2) Показатели оценки качества разработки:
 - динамический диапазон;
 - вес;
 - ремонтпригодность;
 - энергоэффективность;
 - долговечность;
 - эргономичность;
 - унифицированность;
 - уровень материалоемкости разработки.

Для сравнения выбран визуально-оптический метод исследований и исследований методом РВТ. Выбранные показатели для оценки конкурентоспособности метода показаны в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы	Максимальный балл	Относительное значение (3/4)	Средневзвешенное значение (5x2)
Показатели оценки качества разработки					
1.Функциональная мощность	0,15	80	100	0,8	0,12
2. Надежность	0,15	90	100	0,9	0,135
3. Безопасность	0,15	90	100	0,9	0,135
4. Простота эксплуатации	0,1	60	100	0,6	0,06
Показатели оценки коммерческого потенциала разработки					
5. Конкурентоспособность	0,3	90	100	0,9	0,27
6. Перспективность рынка	0,05	40	100	0,4	0,02
7. Финансовая эффективность научной разработки	0,1	60	100	0,6	0,06
Итого	1				

Оценка качества и перспективности по технологии QuaD определяется по формуле:

$$П_{ср} = \sum B_i \cdot B_i, \quad (4.1)$$

где P_{cp} – средневзвешенное значение показателя качества и перспективности научной разработки;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – средневзвешенное значение i -го показателя.

$$P_{cp} = 0,15 \cdot 80 + 0,15 \cdot 90 + 0,15 \cdot 90 + 0,1 \cdot 60 + 0,3 \cdot 90 + 0,05 \cdot 40 + 0,1 \cdot 60 = 12 + 13,5 + 13,5 + 6 + 27 + 2 + 6 = 80$$

Показатель $P_{cp} = 80$ говорит о том, что разработка считается перспективной и ее следует развивать.

4.2 Планирование научно-исследовательских работ

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Для выполнения научных исследований формируется рабочая группа, в состав которой могут входить научные сотрудники и преподаватели, инженеры, техники и лаборанты, численность групп может варьироваться. По каждому виду запланированных работ устанавливается соответствующая должность исполнителей.

В данном разделе был составлен перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования структуры пенобетона. Проведено распределение исполнителей по видам работ. Исполнителям в данном исследовании стали студент и научный руководитель.

Примерный порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в табл. 4.2.

Таблица 4.2 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей.

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение темы проекта	Научный руководитель
	2	Анализ актуальности темы	
Выбор направления исследования	3	Поиск и изучение материала по теме	Студент
	4	Выбор направления исследований	Научный руководитель, Студент
	5	Календарное планирование работ	
Теоретические исследования	6	Изучение литературы по теме	Студент
	7	Изучение исследований, посвященных поровому пространству пенобетона	
Практические исследования	8	Экспериментальные исследования пенобетона на микротомографе	Студент
	9	Изучение результатов проведенного исследования	
Оценка полученных результатов	10	Анализ результатов	Научный руководитель, студент
	11	Заключение	Научный руководитель, студент

4.3 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудовые затраты в большинстве случаях образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования. Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от

множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ожі}$ используется следующая формула:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5}, \quad (4.2.)$$

где $t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.;

t_{mini} – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

t_{maxi} – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i}, \quad (4.3)$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, раб.дн.;

$t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.;

$Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

4.4 Разработка графика проведения научного исследования

При выполнении дипломных работ студенты в основном становятся участниками сравнительно небольших по объему научных тем. Поэтому наиболее удобным и наглядным является построение ленточного графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта.

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками,

характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ. Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{кал}, \quad (4.4)$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;
 T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях;
 $k_{кал}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}}, \quad (4.5)$$

где $T_{кал} = 365$ – количество календарных дней в году;
 $T_{вых} = 104$ – количество выходных дней в году;
 $T_{пр} = 14$ – количество праздничных дней в году.

$$k_{кал} = \frac{366}{365 - 105 - 14} = 1,48$$

Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе T_{ki} округляем до целого числа. Все рассчитанные значения сводим в таблицу (табл.4.3.).

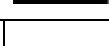
Таблица 4.3 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоемкость работ									Исполнители	Длительность работ в рабочих днях			Длительность работ в календарных днях		
	t _{min} , чел-дни			t _{max} , чел-дни			t _{ож} , чел-дни				T _{pi}			T _{ki}		
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3		Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Составление и утверждение темы проекта	1	1	1	3	3	3	1,8	1,8	1,8	Руководитель	2	2	2	3	3	3
Анализ актуальности темы	1	1	1	3	3	3	1,8	1,8	1,8	Руководитель	1	1	1	2	2	2
Поиск и изучение материала по теме	1	1	1	5	5	5	2,6	2,6	2,6	Студент	1	1	1	2	2	2
Выбор направления исследований	1	2	2	3	4	4	1,4	2,8	2,8	Студент, руководитель	1	2	2	2	3	3
Календарное планирование работ	1	1	1	3	3	3	1,8	1,8	1,8	Руководитель	2	2	2	3	3	3
Изучение литературы по теме	7	7	7	14	14	14	9,8	9,8	9,8	Студент	10	10	10	15	15	15
Изучение исследований по теме	5	6	6	8	9	9	6,2	7,2	7,2	Студент, руководитель	3	4	4	5	6	6

Продолжение таблицы Таблица 4.3

Название работы	Трудоемкость работ									Исполнители	Длительность работ в рабочих днях T_{pi}			Длительность работ в календарных днях T_{ki}		
	t_{min} , чел-дни			t_{max} , чел-дни			$t_{ож}$, чел-дни				Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3							
Экспериментальное исследование	3	5	5	5	7	7	3,8	5,8	5,8	Студент, руководитель	4	6	6	6	9	9
Изучение результатов исследования	1	2	3	3	4	5	1,8	2,8	3,8	Студент, руководитель	2	3	4	3	5	6
Анализ результатов	1	2	2	2	3	3	1,4	3	3	Студент, Руководитель	2	3	3	3	5	5
Заключение	1	1	1	4	4	4	2,2	2,2	2,2	Студент, руководитель	2	2	2	3	3	3

На основе таблицы 4.3 строим план график рис.4.1.

№ Ра- бот	Вид работ	Исполнители	Т _{кп} , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ								
				Март			апрель			май		
				1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	Составление и утверждение темы проекта	Руководитель	3									
2	Анализ актуальности темы	Студент, Руководитель	2		 							
3	Поиск и изучение материала по теме	Студент, Руководитель	2			 						
4	Выбор направления исследований	Руководитель	2									
5	Календарное планирование работ	Руководитель	3									
6	Изучение литературы по теме	Студент	15									
7	Изучение исследований по теме	Студент, руководитель	5					 				
8	Экспериментальное исследования	Студент, руководитель	6						 			
9	Изучение результатов исследования	Студент, руководитель	3							 		
10	Анализ результатов	Студент, Руководитель	3								 	
11	Заключение	Студент, руководитель	3									 



- Руководитель;



- студент;

Рисунок 4.1. – Календарный план-график проведения ВКР по теме

4.5 Бюджет научно-технического исследования

Расчет материальных затрат НТИ. Данная статья включает стоимость всех материалов, используемых при разработке проекта:

- приобретаемые со стороны сырье и материалы, необходимые для создания научно-технической продукции;
- покупные материалы, используемые в процессе создания научно-технической продукции для обеспечения нормального технологического процесса и для упаковки продукции или расходуемых на другие производственные и хозяйственные нужды (проведение испытаний, контроль, содержание, ремонт и эксплуатация оборудования, зданий, сооружений, других основных средств и прочее), а также запасные части для ремонта оборудования, износа инструментов, приспособлений, инвентаря, приборов, лабораторного оборудования и других средств труда, не относимых к основным средствам, износ спецодежды и других малоценных и быстроизнашивающихся предметов;
- покупные комплектующие изделия и полуфабрикаты, подвергающиеся в дальнейшем монтажу или дополнительной обработке;
- сырье и материалы, покупные комплектующие изделия и полуфабрикаты, используемые в качестве объектов исследований (испытаний) и для эксплуатации, технического обслуживания и ремонта изделий – объектов испытаний (исследований);

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i + N_{расхi}, \quad (4.6)$$

где m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

$N_{расхi}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м² и т.д.);

C_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м² и т.д.);

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Величина коэффициента (k_T), отражающего соотношение затрат по доставке материальных ресурсов и цен на их приобретение, зависит от условий договоров поставки, видов материальных ресурсов, территориальной удаленности поставщиков и т.д. Транспортные расходы принимаются в пределах 15-25% от стоимости материалов. Материальные затраты, необходимые для данной разработки, заносим в таблицу 4.4.

Таблица 4.4 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество			Цена за ед., руб.			Затраты на материалы (Z_m), руб.		
		Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
Бумага	Лист	100	100	150	1,2	1,4	1,2	138	161	207
Картридж для принтера	Шт.	1	1	2	1000	1000	1000	1150	1150	2300
Пенобетон	Кг.	1	1,5	2	5000	5000	5500	5750	8625	12650
Итого								7038	9936	15157

Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ. В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стендов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по конкретной теме.

Определение стоимости спецоборудования производится по действующим прейскурантам, а в ряде случаев по договорной цене. Расчет затрат по данной статье заносится в таблицу 4.5.

При приобретении спецоборудования необходимо учесть затраты по его доставке и монтажу в размере 15% от его цены. Стоимость оборудования, используемого при выполнении конкретного НТИ и имеющегося в данной научно-технической организации, учитывается в калькуляции в виде амортизационных отчислений.

Таблица 4.5 – Расчет бюджета затрат на приобретение оборудования для научных работ.

№ п/п	Наименование оборудования	Количество единиц оборудования			Цена единицы оборудования, тыс. руб.		Общая стоимость оборудования, тыс. руб.			
		Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
1	Рентгеновский аппарат XWT 160-ТС	1	1	1	3000	3000	3000	3693	3693	3693
2	Детектор – панель PaxScan- 2520V	1	1	1	3000	3000	3000	3693	3693	3693
Итого:								6000	6000	6000

Основная заработная плата исполнителей темы. В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 –30 % от тарифа или оклада. Расчет основной заработной платы сводится в табл. 4.6.

Таблица 4.6 – Расчет основной заработной платы

№ п/п	Наименование этапов	Исполнители по категориям	Трудоемкость, чел.-дн.			Заработная плата, приходящаяся на один чел.-дн., тыс. руб.			Всего заработная плата по тарифу(оклад), тыс. руб.		
			Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
1	Составление и утверждение темы проекта	Руководитель	1,8	1,8	1,8	1,46	1,46	1,46	2,63	2,63	2,63
2	Анализ актуальности темы	Студент, Руководитель	1,8	1,8	1,8	1,71	1,71	1,71	3,1	3,1	13,1
3	Поиск и изучение материала по теме	Студент, Руководитель	2,6	2,6	2,6	1,71	1,71	1,71	4,5	4,5	4,5
4	Выбор направления исследований	Руководитель	1,4	2,8	2,8	1,46	1,46	1,46	2	4	4
5	Календарное планирование работ	Руководитель	1,8	1,8	1,8	1,46	1,46	1,46	2,63	2,63	2,63
6	Изучение литературы по теме	Студент	9,8	9,8	9,8	0,25	0,25	0,25	2,45	2,45	2,45
7	Изучение исследований по теме	Студент, руководитель	6,2	7,2	7,2	1,71	1,71	1,71	6,95	5,53	7,9

Продолжение таблицы 4.6

№ п/п	Наименование этапов	Исполнители по категориям	Трудоемкость, чел.-дн.			Зароботная плата, приходящаяся на один чел.- дн., тыс. руб.			Всего зароботная плата по тарифу(оклад), тыс. руб.		
			Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
8	Экспериментальное исследование	Студент, руководитель	3,8	5,8	5,8	1,71	1,71	1,71	6,5	9,9	9,9
9	Изучение результатов исследования	Студент, руководитель	1,8	2,8	3,8	1,71	1,71	1,71	3,1	4,8	6,5
10	Анализ результатов	Студент, Руководитель	1,4	3	3	1,71	1,71	1,71	2,4	5,1	5,1
11	Заклучение	Студент, руководитель	2,2	2,2	2,2	1,71	1,71	1,71	3,8	3,8	3,8
Итого									40,06	48,44	62,51

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НТИ, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату:

$$З_{зп} = З_{осн} + З_{доп}, \quad (4.7)$$

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

$З_{доп}$ – дополнительная заработная плата (12-20 % от $З_{осн}$).

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

$$З_{\text{осн}} = T_p \cdot З_{\text{дн}}, \quad (4.8)$$

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

T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн. ;

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$З_{\text{дн}} = \frac{З_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}}, \quad (4.9)$$

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

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

$F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб.дн.

Таблица 4.7 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Студент
Календарное число дней	366	366
Количество нерабочих дней		
- выходные	118	118
- праздничные		
Потери рабочего времени		
- отпуск	48	48
- невыходы по болезни		
Действительный годовой фонд рабочего времени	200	200

Месячный должностной оклад работника:

$$З_{\text{м}} = З_{\text{тс}} * (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) * k_{\text{р}}, \quad (4.10)$$

где $З_{\text{тс}}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{\text{пр}}$ – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от $З_{\text{тс}}$);

k_d – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5 (в НИИ и на промышленных предприятиях – за расширение сфер обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия: 15- 20 % от $Z_{тс}$);

k_p – районный коэффициент, равный 1,3 (для города Томска).

Таблица 4.8 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	$Z_{тс}$, тыс. руб.	$k_{пр}$	k_d	k_p	Z_m , тыс. руб.	$Z_{дн}$, тыс. руб.	T_p , раб. дн.	$Z_{осн}$, тыс. руб.
Руководитель	28,925	0,3	0,3	1,3	63,548	8,56	16	136,96
Студент	5,708	0	0	1,3	7,42	0,44	35	15,4
Итого $Z_{осн}$								152,36

Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления). В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников. Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} * (Z_{осн} + Z_{доп}), \quad (4.11)$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

На 2016 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%. На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2016 году водится пониженная ставка – 27,1%

Таблица 4.9 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, тыс. руб		
	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
Руководитель	94,16	111,28	136,96
Студент	11,04	11,5	16,1
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	27,1		
Итого			
Исполнение 1	28,45		
Исполнение 2	33,27		
Исполнение 3	41,48		

Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта. Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы (темы) является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Таблица 4.10 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, тыс.руб.			Примечание
	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	
1. Материальные затраты НТИ	7038	9936	15157	
2. Затраты на спецоборудование для научных работ	6000	6000	6000	

Продолжение таблицы 4.10

Наименование статьи	Сумма, тыс.руб.			Примечание
	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	105,2	122,78	152,36	
4. Отчисления во внебюджетные фонды	28,45	33,27	41,48	
5. Накладные расходы	981,38	984,96	991,12	16% от суммы 1-4
6. Бюджет затрат НТИ	7115,03	7141,06	7185,7	Сумма ст. 1-5

4.6 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп } i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (4.12)$$

где $I_{\text{финр}}^{\text{исп } i}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения;

$\Phi_{\max}$ – максимальная стоимость исполнения научно- исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в размах (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в размах (значение меньше единицы, но больше нуля).

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_{pi} = \sum a_i * b_i, \quad (4.13)$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта исполнения разработки;

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

b_i – балльная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания.

Таблица 4.11 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии	Весовой коэффициент параметра	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
1.Функциональная мощность	0,15	4	4	4
2. Надежность	0,15	5	5	5
3. Безопасность	0,15	5	4	4
4. Простота эксплуатации	0,1	4	5	5
5. Конкурентоспособность	0,3	5	5	5
6. Перспективность рынка	0,05	4	3	4
7. Финансовая эффективность научной разработки	0,1	5	5	5
Итого:	1			

$$I_{p1} = 4 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,1 + 5 \cdot 0,3 + 4 \cdot 0,05 + 5 \cdot 0,1 = 4,75$$

$$I_{p2} = 4 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,1 + 5 \cdot 0,3 + 3 \cdot 0,05 + 5 \cdot 0,1 = 4,65$$

$$I_{p3} = 4 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,1 + 5 \cdot 0,3 + 4 \cdot 0,05 + 5 \cdot 0,1 = 4,7$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{\text{исп1}} = \frac{I_{p1}}{I_{\text{финр}}^{\text{исп1}}}, I_{\text{исп2}} = \frac{I_{p2}}{I_{\text{финр}}^{\text{исп2}}} \text{ и т.д.} \quad (4.14)$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта ($\mathcal{E}_{\text{ср}}$):

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{исп1}}}{I_{\text{исп2}}} \quad (4.15)$$

Таблица 4.12 – Сравнительная эффективность разработки

Показатели	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
Интегральный финансовый показатель разработки	0,99	0,99	1
Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,75	4,65	4,7
Интегральный показатель эффективности	4,78	4,69	4,7
Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,02/1,01	0,98/0,99	0,98/1,01

Проведя расчет энерго- и ресурсоэффективности и сравнив различные исполнения приходим к выводу, что исполнение № 1 является наилучшим вариантом.

5.Социальная ответственность

5.1.Введение

Данная выпускная квалификационная работа заключается в исследование порового пространства пенобетона. Объектом исследования при ее выполнении является изображения пенобетонных блоков, полученных на микротомографе "Орёл-МТ", а рабочей зоной – лабораторная комната в центре реконструктивной томографии.

Для исследований необходимы томографические изображения слоёв пенобетона, эти изображения были получены до начала выполнения ВКР в связи с этим, в данном разделе рассмотрим только те возможные вредные и опасные факторы, которые могут возникнуть во время проведения исследования в лабораторной комнате.

5.2.Производственная безопасность

Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения.

Объектом исследования являются томографические изображения стандартных пенобетонных блоков. Математически-статистический анализ изображений проводится за компьютером в лаборатории центра. Соответственно при этом следует рассмотреть такие вредные факторы, как повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны и повышенный уровень шума, от систем вентиляции и агрегатов, работающих в соседних лабораториях центра.

Рассмотрим такой вредный фактор как повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны. Микроклимат производственных помещений – это климат внутренней среды этих помещений, который определяется действующими на организм сочетаниями температуры, влажности и скорости движения воздуха, а также температуры окружающих поверхностей. Оптимальные микроклиматические условия обеспечивают общее и локальное ощущение теплового комфорта в течение 8-часовой рабочей

смены, не вызывают отклонений в состоянии здоровья и создают предпосылки для высокой работоспособности.

Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны должны соответствовать ГОСТ 12.1.005–88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны». Оптимальные и допустимые нормы температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха приведены в таблице 5.1 для категории Ib, к ней относятся работы с интенсивностью энергозатрат 121 - 150 ккал/ч (140 - 174 Вт), производимые сидя, стоя или связанные с ходьбой и сопровождающиеся некоторым физическим напряжением.

Таблица 5.1 – Оптимальные и допустимые нормы микроклимата в рабочей зоне производственных помещений (по ГОСТ 12.1.005–88)

Период года	Температура, °С					Оптимальная влажность, %		Скорость движения, м/с	
	Оптимальная	Допустимая на рабочих местах				Оптимальная	Допустимая не более	Оптимальная не более	Допустимая не более
		Верхняя		Нижняя					
		Пост.	Не пост.	Пост.	Не пост.				
Холодный	22-24	25	26	21	18	40-60	75	0,1	0,1
Теплый	23-25	28	30	22	20	40-60	70	0,1	0,1

Из таблицы 5.1 видно, что в анализируемой лабораторной комнате параметры микроклимата соответствуют нормам.

Микроклимат комнаты поддерживается на оптимальном уровне системой водяного центрального отопления, естественной вентиляцией, а также дополнительным прогревом в холодное время года.

Следующий вредный фактор - повышенный уровень электромагнитного поля. Электромагнитные волны представляют собой взаимосвязанные колебания электрических и магнитных полей, составляющих единое

электромагнитное поле, распространяющееся в пространстве с конечной скоростью.

Негативное воздействие ЭМП на человека выражается в виде торможения рефлексов, изменения биоэлектроактивности головного мозга, нарушения памяти, развития синдрома хронической депрессии, понижения кровяного давления, замедления сокращений сердца, изменения состава крови в сторону увеличения лейкоцитов и уменьшения эритроцитов, нарушений в печени и селезенке, помутнения хрусталика глаза, выпадения волос, ломкости ногтей. К ЭМП чувствительны также иммунная и репродуктивная системы.

Человеческий организм всегда реагирует на электромагнитное поле. Однако, для того чтобы эта реакция переросла в патологию и привела к заболеванию необходимо совпадение ряда условий – в том числе достаточно высокий уровень поля и продолжительность облучения. Поэтому, при использовании бытовой техники с малыми уровнями поля и/или кратковременно ЭМП(электромагнитное поле) бытовой техники не оказывает влияния на здоровье основной части населения. Потенциальная опасность может грозить лишь людям с повышенной чувствительностью к ЭМП и аллергикам, также зачастую обладающим повышенной чувствительностью к ЭМП.

Критерием безопасности для человека, находящегося в электрическом поле (ЭП) промышленной частоты 50 Гц, принята напряженность этого поля. Нормы установлены СанПиН 2.2.4.1191-03 .Пребывание в ЭП напряженностью до 5 кВ/м включительно допускается в течение рабочего дня. Поэтому особых средств защиты не требуется.

Повышенный уровень шума. Шум - звуковые колебания в диапазоне слышимых частот, способные оказать вредное воздействие на безопасность и здоровье работника.

Шум на рабочем месте оказывает раздражающее влияние на работника, повышает его утомляемость, а при выполнении задач, требующих внимания и сосредоточенности, способен привести к росту ошибок и увеличению продолжительности выполнения задания. Длительное воздействие шума влечет

тугоухость работника вплоть до его полной глухоты. Внезапные шумы высокой интенсивности, даже кратковременные (взрывы, удары и т.п.), могут вызвать как острые нейросенсорные эффекты (головокружение, звон в ушах, снижение слуха), так и физические повреждения (разрыв барабанной перепонки с кровотечением, поражения среднего уха и улитки).

Нормы шума должны соответствовать СН 2.2.4/2.1.8.562-96 «Санитарные нормы. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки».

Оценка шума на рабочем месте заключается в сопоставлении результата измерения нормируемой величины с гигиеническим нормативом и принятия на основе этого решения о соответствии или несоответствии условий труда на данном рабочем месте безопасным с точки зрения шумового воздействия на работника.

Во время работы систем вентиляции или агрегатов в соседних лабораториях центра, возникает повышенный уровень шума. В данном случае этот шум в лаборатории является непостоянным и его характеристикой является эквивалентный (по энергии) уровень звука, измеряемый в дБА. Эквивалентный уровень звука на рабочих местах для легкой физической трудовой деятельности и напряженности легкой степени равны 80 дБА по СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Защита от шума и уменьшение его действия на организм к минимуму представляли собой уход лаборанта из помещения во время работы мельницы-активатора. Также в случае необходимости у лаборанта должно быть такое средство индивидуальной защиты, как беруши.

Вероятность получения травмы в результате механического воздействия отсутствует. В рабочей зоне не используются источники механического травмирования, грузоподъемные устройства, сосуды под давлением или транспортные средства.

Поражение электрическим током может произойти только при использовании неисправного оборудования, прикосновения к неизолированным контактам электросети, находящиеся под напряжением.

В целях обеспечения безопасности от всех перечисленных вредных факторов, ведется инструктаж по технике безопасности.

5.3 Экологическая безопасность

Данное исследование проводится на образцах пенобетона. Пенобетон является экологически чистым материалом, который не содержит вредных химических веществ и соединений. Исследование проводится радиационным методом неразрушающего контроля, на микротомографе, полученные изображения слоев пенобетона представляются сразу в электронном виде в результате таких исследований вред окружающей среде не наносится.

5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Чрезвычайные ситуации относятся к совокупности опасных событий или явлений, приводящих к нарушению безопасности жизнедеятельности.

Основными причинами возникновения чрезвычайных ситуаций являются, во-первых, внутренние, к которым относятся: сложность технологий, недостаточная квалификация персонала, проектно-конструкторские недоработки, физический и моральный износ оборудования, низкая трудовая и технологическая дисциплина. Во-вторых, внешние чрезвычайные ситуации, - это стихийные бедствия, неожиданное прекращение подачи электроэнергии, воды, технологических продуктов и т.д.

Пожарная безопасность предусматривает обеспечение безопасности людей и сохранения материальных ценностей предприятия на всех стадиях его жизненного цикла. Основными системами пожарной безопасности являются системы предотвращения пожара и противопожарной защиты, включая организационно-технические мероприятия.

Пожарная профилактика – комплекс организационных и технических мероприятий, направленных на обеспечение безопасности людей, на предотвращение пожара, ограничение его распространения, а также на создание

условий для успешного тушения пожара. Успех борьбы с пожаром во многом зависит от его своевременного обнаружения и быстрого принятия мер по его ограничению и ликвидации.

Исходя из установленной номенклатуры обозначений зданий по степени пожароопасности, анализируемое в данной работе помещение относится в категории Г.

Среди организационных и технических мероприятий, осуществляемых для устранения возможности пожара, выделяют следующие меры:

- использование только исправного оборудования;
- проведение периодических инструктажей по пожарной безопасности;
- назначение ответственного за пожарную безопасность помещений предприятия;
- издание приказов по вопросам усиления пожарной безопасности
- отключение электрооборудования, освещения и электропитания по окончании работ;
- курение в строго отведенном месте;
- содержание путей и проходов для эвакуации людей в свободном состоянии.

В лабораторной комнате должны висеть огнетушители, а также силовой щит, который позволяет мгновенно обесточить его. На видном месте в коридорах вывешены инструкции и обязанности сотрудников и план эвакуации в случае пожара. В случаях, когда не удастся ликвидировать пожар самостоятельно, необходимо вызвать пожарную охрану и покинуть помещение, руководствуясь разработанным и вывешенным планом эвакуации.

5.5.Организационные мероприятия обеспечения безопасности

Рабочее место является первичным звеном производства, оно представляет собой определенный участок производственной площади цеха, предназначенный для выполнения одним рабочим порученной работы, специально приспособленный и технически оснащенный в соответствии с характером этой работы. От того, насколько правильно и рационально будет

организовано рабочее место, зависит безопасность и производительность труда. Как правило, каждое рабочее место оснащено основным и вспомогательным оборудованием и соответствующим инструментом. Отсутствие на рабочем месте удобного вспомогательного или нерациональное расположение, захламленность создают условия для возникновения травматизма.

В рабочее место входит: стол и стул лаборанта, персональный компьютер. При работе должны быть предусмотрены перерывы длительностью 20 мин через 1- 2 ч после начала работы, длительностью 30 мин примерно через 2 ч после обеденного перерыва; обеденный перерыв длительностью не менее 40 мин находится примерно в середине рабочего дня. Перерывы должны использоваться для активного отдыха и лечебно-профилактических мероприятий и процедур.

Исследование структуры пенобетона за компьютером не является работой, при которой нужна высокая освещенность. При этом разряд работы будет Vв, для данного разряда требуется освещенность в 200 лк при системе общего освещения. Нормируемое значения $K_{п}=20\%$

Список публикаций:

Кошелева Е. Ю., Подворчан Ю. А., Яруллина А. Р. Адаптация первокурсников к университетской жизни: факторы стресса и механизмы поддержки // Молодой ученый. - 2015 - №. 11(91). - С. 1362-1364.

Подворчан Ю. А. Геймификация образовательного процесса в реализации дополнительной общеразвивающей образовательной программы "Graff- Next" // Ресурсоэффективные системы в управлении и контроле: взгляд в будущее: сборник научных трудов IV Международной конференции школьников, студентов, аспирантов, молодых ученых: в 3 т., Томск, 5-10 Октября 2015. - Томск: ТПУ, 2015 - Т. 3 - С. 56-60.

Заключение

При разработке выпускной работы была изучена актуальная литература по структуре пенобетонов, классификации пор в пенобетоне, характеристикам несплошностей бетона и моделей пористых тел

В ходе выполнения работы были проведены серии экспериментов по исследованию томографических изображений, полученных на микротомографе «Орел-МТ», структуры пенобетона трех различных образцов. В результате исследований в первом образце пенобетона, который являлся контрольным и не содержал добавок, практически на каждом слое присутствуют локальные зоны повышенной пористости, в данном образце, как и во втором (образец в котором 20 % цемента заменено золой) присутствуют поры размером 9.2 мм, что однозначно ухудшает потребительские свойства данного пенобетона. Третий образец содержит термомодифицирующую торфяную добавку ТМТ 600, имеет более однородную пористую структуру, а значит его применение в промышленности будет более целесообразно.

В дальнейшем планируется автоматизация процесса исследования: создание алгоритма и программы, которая будет сегментировать томографическое изображение, выделять и количественно обозначать диаметр пор, строить гистограммы распределения пор по размерам, ограничиваясь только одним слоем, или распределение в пределах всего исследуемого образца.

Список используемой литературы:

1. Баженов Ю.М. Технология бетона: учеб. / Ю.М. Баженов. – М.: Изд-во АСВ, 2003. – 500 с.
2. Технология бетона, строительных изделий и конструкций : учеб. / Ю.М. Баженов [и др.]. – М. : Изд-во АСВ, 2004. – 256 с.
3. Соломатов В.И. Интенсивная технология бетонов / В.И. Соломатов М.К. Тахиров МдТахер Шах. – Совм. Изд-во СССР – Бангладеш. – М. :Стройиздат, 1989. – 264 с.
4. Специальные цементы : учеб.пособие / Т.В. Кузнецова [и др.]. – СПб. : Стройиздат, 1997. – 314 с.
5. Чистов Ю.Д. Элементы нанотехнологии в производстве бетонов на основе минеральных вяжущих веществ / Ю.Д. Чистов, А.С. Тарасов // Строительные материалы, оборудование и технологии 21 века. – 2007. – № 6.
6. Горчаков Г.И. Строительные материалы : учеб. / Г.И. Горчаков. – М. :Высш. шк., 1981. – 160 с.
7. Физико-химические основы формирования структуры цементного камня / под ред. А.Г. Шпыновой. – Львов : Изд-во Львовского гос. ун-та, 1981. – 160 с.
8. Полак А.Ф. Теория гидратации вяжущих веществ / А.Ф. Полак. // Тр. НИИПромстроя, 1976. – С. 54–89.
9. Технология вяжущих веществ / Ю.М. Бутт [и др.]. – М. :Высш. шк., 1965. – 619 с.
10. Волженский А.В. Минеральные вяжущие вещества / А.В. Волженский, Ю.С. Буров, В.С. Колокольников. – М. :Стройиздат, 1979. – 476 с.
11. Калоусек Г.Л. Процессы гидратации на ранних стадиях твердения цемента / Г.Л. Калоусек // VI Международный конгресс по химии цемента. –М. : Стройиздат, 1976. – Т. 2. Кн. 2. – 65–81 с.
12. Ларионова З.М. Формирование структуры цементного камня и бетона / З.М. Ларионова. – М. :Стройиздат, 1971. – 161 с.

13. Ларионова З.М. Фазовый состав, микроструктура и прочность цементного камня и бетона / З.М. Ларионова, Л.В. Никитина, В.Р. Гарашин. – М.: Стройиздат, 1977. – 262 с.
14. Шпынова Л.Г. Микроструктура и прочность портландцементного камня / Л.Г. Шпынова. – Львов : Изд-во Львовского гос. ун-та, 1966. – 102 с.
15. Баженов Ю.М. Технология бетонных и железобетонных изделий / Ю.М. Баженов, А.Г. Комар. – М. :Стройиздат, 1984. – 672 с.
16. Лыков А.В. Теория сушки / А.В. Лыков. – М. :Стройиздат, 1968.
17. Шейкин А.Е. Структура и свойства цементных бетонов / А.Е. Шейкин, Ю.В. Чеховский, М.И. Бруссер. – М. :Стройиздат, 1979. – 344 с.
18. Мощанский Н.А. Плотность и стойкость бетонов / Н.А. Мощанский. – М.: Госстройиздат, 1951. – 176 с.
19. Беркман А.С. Структура и морозостойкость стеновых материалов / А.С. Беркман, И.Г. Мельников. – М.: Госстройиздат, 1962. – 165 с.
20. Хермен Г. Восстановление изображений по проекциям: Основы реконструктивной томографии. пер. с англ. - М.: Мир, 1983. – 352с.

Приложение А

Размеры пор в пикселях для образцов пенобетона

1 образец	2 образец	3 образец
17	18	15
18	18	15
18	18	15
19	19	15
20	20	15
20	23	15
20	24	15
20	25	16
22	25	16
23	25	16
24	25	17
25	25	17
25	26	17
25	27	18
25	27	18
25	28	18
25	28	20
25	28	20
25	28	20
25	28	20
25	28	20
25	28	20
26	29	22
30	29	22
30	30	22
30	30	22
30	30	22

1 образец	2 образец	3 образец
30	30	22
30	30	22
30	30	23
30	30	23
30	31	23
31	31	23
31	31	23
32	31	24
32	31	24
32	32	24
33	32	24
33	32	25
33	33	25
33	33	25
34	34	25
35	34	25
35	34	25
35	35	25
36	35	25
36	35	25
37	36	25
38	36	25
38	36	25
38	37	25
38	37	25
38	37	25
38	38	25
39	38	25

1 образец	2 образец	3 образец
40	38	26
40	39	26
40	40	27
40	40	27
40	40	27
42	43	27
42	44	27
43	44	30
43	45	30
43	45	30
44	45	30
45	45	30
45	45	30
46	45	30
46	45	30
46	46	31
47	46	31
48	47	31
49	47	31
49	47	32
50	48	32
50	48	32
51	48	33
54	48	35
56	48	35
60	49	35
63	60	35
64	62	37

1 образец	2 образец	3 образец
64	64	37
70	65	37
75	68	37
75	72	37
76	75	37
76	76	37
77	76	38
80	80	38
80	82	38
83	84	42
83	90	42
86	94	42
93	94	50
117	94	50
118	95	50
123	100	50
130	100	60
130	120	60

Приложение Б

Технические характеристики микротомографа «Орёл-МТ»

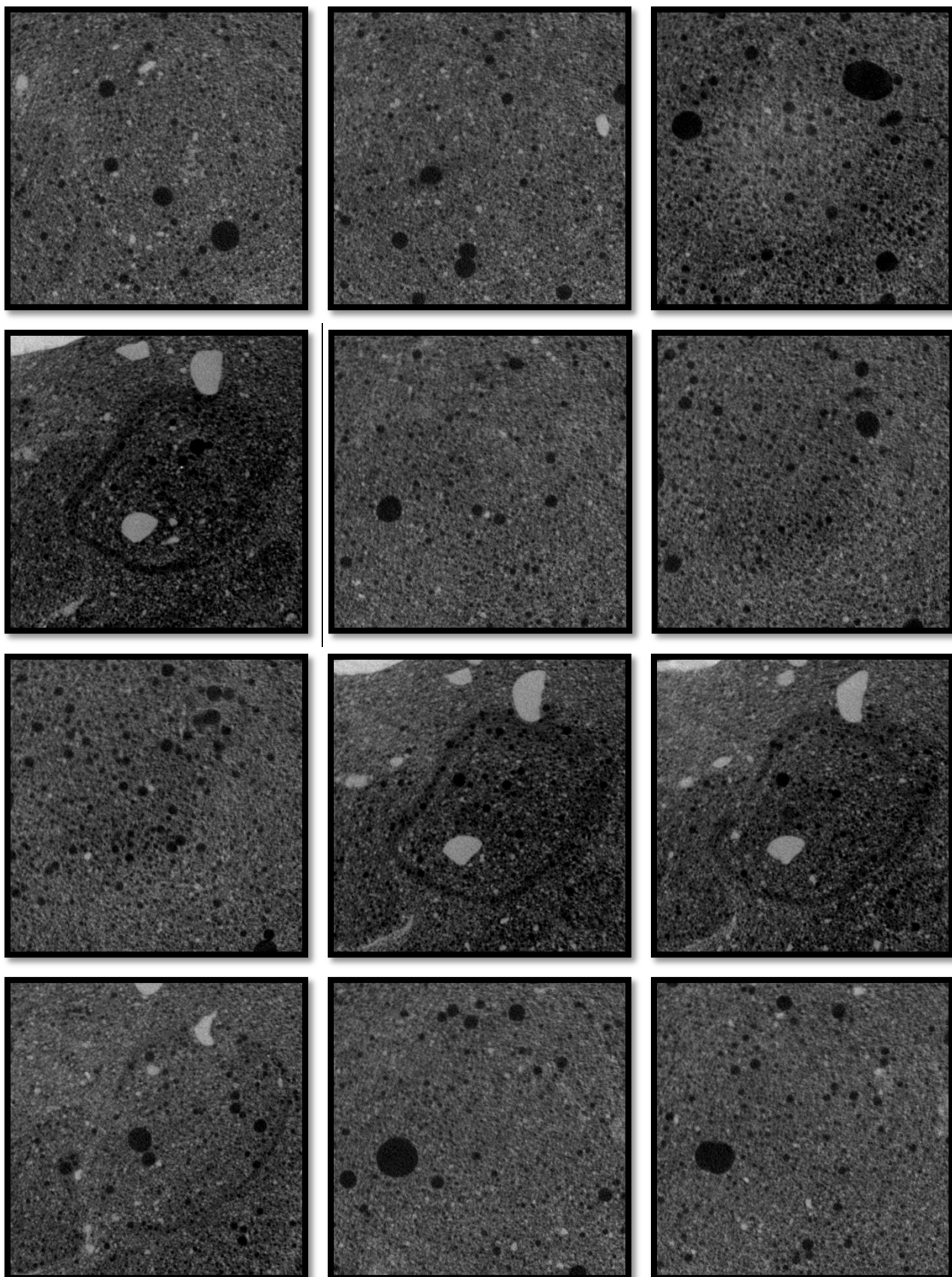
(Справочное)

Основные технические характеристики:	
Простр , разрешение томограммы, мкм	до 5
Толщина объекта, мм	0 ,5–150
Масса объекта, кг	20
Габариты рабочей области, мм	1150×600×550
Рентгеновский аппарат	XWT 160-TC (X-RAY WorX)
Анодное напряжение, кВ	20 –255
Анодный ток, мкА	0 ,05 – 1 ,0
Фокусное пятно, мкм	0 ,9
Детектор – панель	PaxScan-2520V (Varian)
Размер пикселя детектора, мкм	127
Рабочая область детектора, мм	193×242
Размер матрицы, пиксель	1900×1516

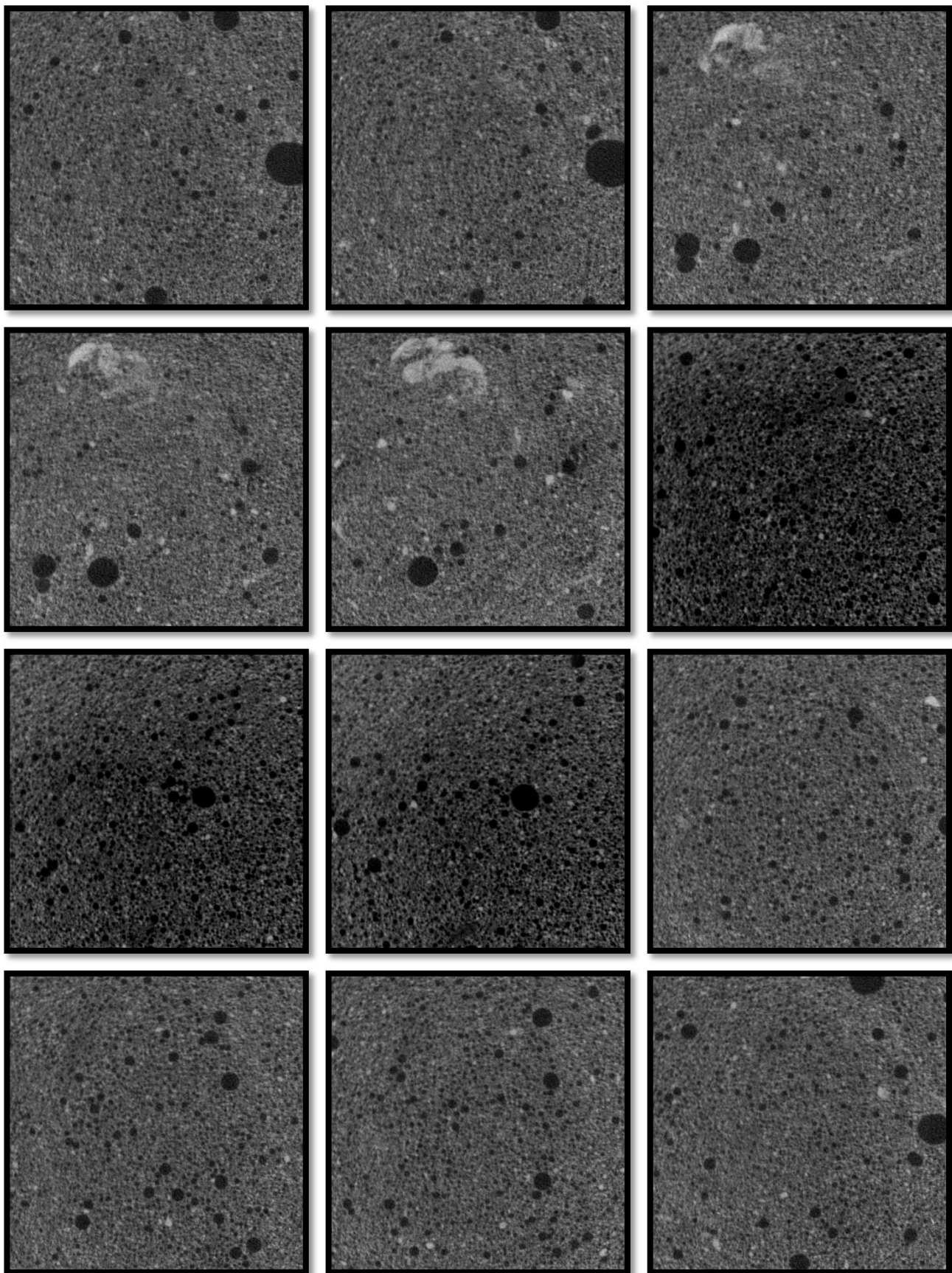
Приложение В

Типичные томографические изображения пенобетона по слоям

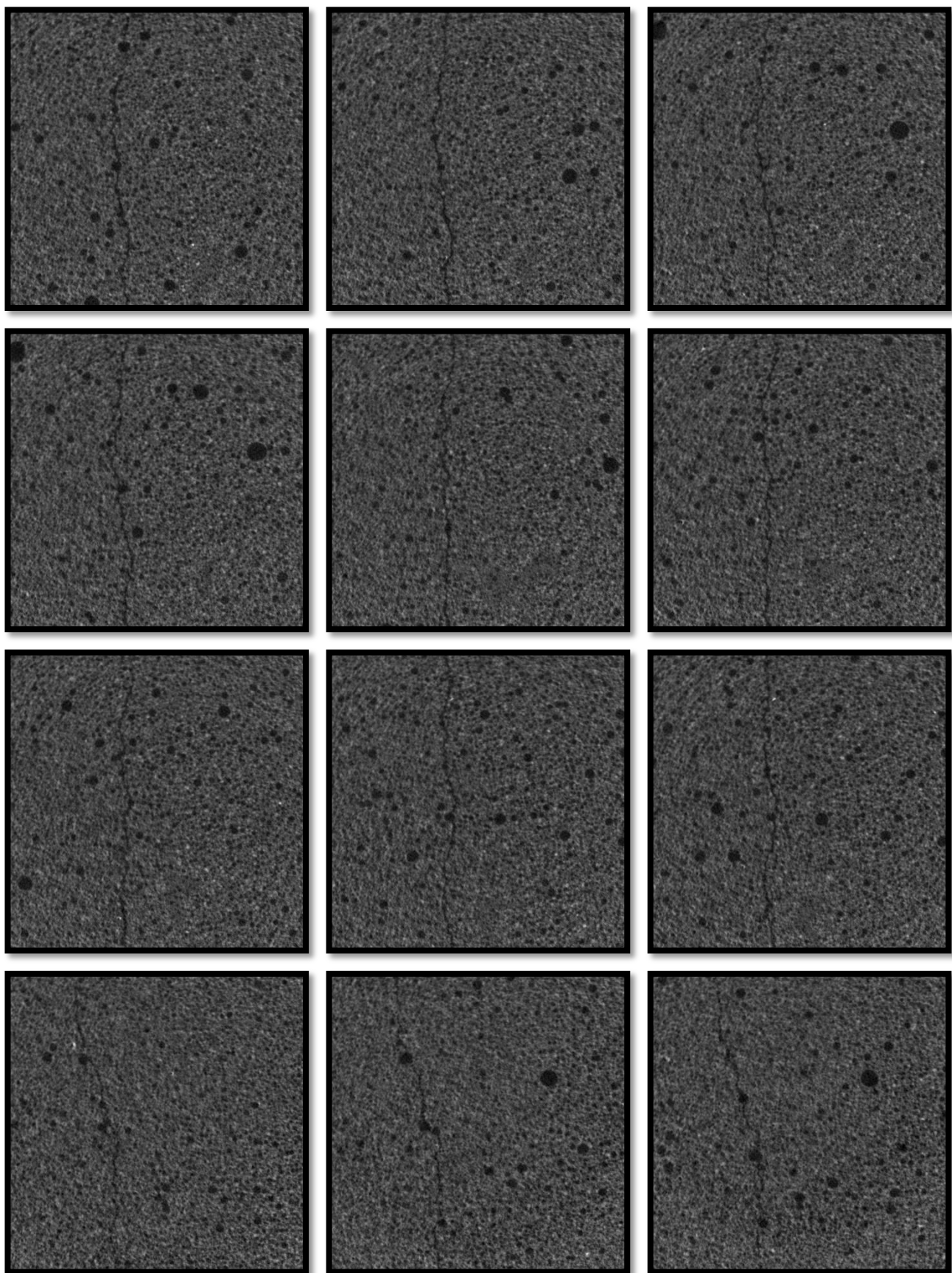
Образец 1



Образец 2



Образец 3



Матрицы значений яркости по локальным областям для образцов пенобетона

k																		
0	24,5																	
1	23,5	27,5																
	23,1	22,4																
2	20,1	29,7	31,7	26,4														
	21	20	20,9	22,3														
	23,3	20,4	19,3	22,3														
	24,7	22,4	25,6	22,4														
3	24,1	17,5	18,5	34,1	31,3	35,9	21,6	23,6										
	20,5	18	21,1	30,4	27,4	31,2	29,7	18,9										
	24,5	17,2	18,1	18,3	18,9	23,3	24,9	20,7										
	20,8	20,5	21,6	22,5	20,5	19,9	18,3	24,3										
	24,6	27,2	25,5	18,6	18,6	18	21,6	27,1										
	23	18,3	18,1	19,3	21,5	20	20,4	20,2										
	25,1	22,2	21,7	25,1	20	20,6	19,7	21,7										
	27,4	25,3	19,9	23,4	27,9	28,4	23,3	25										
4	22,9	27	17,4	17,8	18,8	18,2	24,5	36,8	28,8	35,7	32,4	20,9	18,9	22,9	22,9	27		
	28,4	19,1	19,7	18,5	19,1	19,1	35,6	30,9	27,8	23,6	34,4	43,8	25	21,4	28,4	19,1		
	21,6	20,4	19,1	19,8	24,8	20,3	20	34,7	23,6	20,6	30,3	26,7	29,5	20,5	21,6	20,4		
	21,7	17,6	18,7	17,8	22,6	19,2	18,5	32,7	25,2	23,2	19,1	23,5	24,2	21,3	21,7	17,6		
	25,8	26	16,3	16,3	17,6	18,8	20,6	17,9	18,1	20,9	27,6	21,3	21,6	25,3	25,8	26		
	25,1	22	20,2	19,2	17,9	20,8	18,2	17,7	19	21,3	21,1	23,6	19,4	23,8	25,1	22		
	20,2	25,3	25,9	19,4	16,7	17,9	23,4	17,9	22,7	22,1	18,4	19,7	18,2	20,5	20,2	25,3		
	18,7	20,9	18,6	19,3	17,2	33	21	26,4	20,7	19,8	19,7	22,2	17,7	19,6	18,7	20,9		
	25,3	29,2	20	20,4	18,7	34,7	19,8	22,4	19,3	18,5	19,4	20,3	20,2	22,1	25,3	29,2		
	20,2	22,3	40,5	20,4	17,6	22,7	17,7	17,4	21,1	18,8	18,7	16,2	18,9	25,8	20,2	22,3		
	22,3	23,8	18,9	15,8	17,7	18,3	18,1	19,9	17,4	21,4	21,7	21,7	23,4	22,2	22,3	23,8		
	26,2	22,4	19,7	20,7	18,6	20,7	19,4	22,5	25,1	23,6	18,1	21,5	17	18	26,2	22,4		
	23,6	24,1	24,3	20,4	21,7	25,1	32,1	21,7	20,6	19,9	16,2	20,4	19,1	19,3	23,6	24,1		
	23,8	31,3	24,8	20	20,4	21	21,7	21,1	21,3	21,4	20,2	26,5	22,2	21,2	23,8	31,3		
	31,5	25,6	33,2	20,8	19,7	21	20,3	20,1	30,2	22,3	24,3	29,2	21,1	30,5	31,5	25,6		
25,5	26,1	21,5	23,3	22,1	19,1	23,7	29,2	28,6	28,5	31,7	27,7	19,7	22,2	25,5	26,1			

Образец 3.

k																		
0	24,5																	
1	18,9	17,5																
	20,5	19,5																
2	19,5	17,4	17,9	17,2														
	20,2	18,6	17,2	17,9														
	21,3	18	19,4	18,7														
	22,8	19,8	20,2	20,1														
3	20,8	19,6	17,5	17,2	18,3	19,2	16,1	16,8										
	19,8	17,2	17,1	18,1	18,5	16,3	18	17,7										
	20,3	19,1	16,9	20,2	18,1	16,3	17,9	18,4										
	21,8	20,5	17,6	19,8	16,6	18,5	17,9	17,7										
	22,6	19	17,2	18,2	22,8	18	18,2	19,9										
	22,5	21,8	19,4	18	17,8	19,2	18,8	18,4										
	21,8	23,9	19,4	20,7	22,3	17,8	17,9	19										
	23,8	21,4	18,1	21,8	20,3	19,3	20,8	22,5										
4	23,9	22,5	23,3	18,7	18,5	18,9	17,5	15,1	15,2	16,5	19,5	19,6	17,8	15,6	16,3	17,8		
	20,6	19,1	17,5	18,2	15,3	19,1	19,1	18,7	24,2	16,4	19,7	19,7	15,9	17,5	15,7	18,7		
	21,4	18,2	17,6	18,2	18,4	18,7	17,9	16,9	19,2	18,6	17,9	15,1	17,7	21,2	18,6	18,3		
	22	19,3	16,7	18,1	17,1	17,1	21	18,4	19,1	17,8	16,1	18,8	15,7	18,2	15,1	21,2		
	21,9	20,9	17,9	17,7	19	16,8	22,8	16,1	19,4	20,2	17,7	16	17,7	15,6	16,8	20,9		
	19,7	21,4	24,6	16,5	18,4	15,2	18,5	22,9	19,2	15,8	15,3	17,4	15,9	22	16,7	20,8		
	24,7	22,9	25,6	19,1	18,5	18,2	20,1	19,6	16	19,1	20,9	21	17,4	17,6	17,9	20,5		
	22,7	18,9	21,5	17,5	17,4	18,9	16,5	21,4	15,6	17	16	18,7	20,1	18,4	16,4	18,9		
	22,9	25,1	16,6	18,4	15,3	18	19,8	17,3	27,5	17,5	20,1	17	17,4	18,6	16,5	23,5		
	19,7	24,5	22,5	19,5	19,5	16,3	19,8	17,5	22	20	19,2	17,2	18	21,1	20,7	19		
	25,3	22,7	18,3	21,4	20,4	17,5	18,8	19,4	18,4	17,7	20,8	16,6	17,6	20	20	17,9		
	22,1	20,8	22,3	25,9	19	21,4	19,7	16,3	18,2	18,9	17,4	22	19,9	20	19,6	18,5		
	21,2	22,5	25,4	19,7	18,8	21,6	21,1	21,1	19,9	21,6	16,6	18,6	18,5	17,5	19,8	18,6		
	23,8	22,1	29	21,4	19,2	19,3	22,1	19,4	21,3	20,6	19,1	19	20,3	18,2	17,3	22,3		
	23,8	25,2	24,2	22,2	18	19,1	24,6	18,2	19,6	19,7	19,8	22	21,9	21,6	24	19,3		
	23,9	23,1	19,9	21,2	18,2	19,3	21,7	22,4	21,4	20,9	18	19,3	22,8	19,5	25,8	22,4		