

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное образовательное бюджетное учреждение
высшего профессионального образования
«Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства»
(ПГУАС)

В.С. Демьянова, А.Д. Гусев

**ЭФФЕКТИВНЫЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ**

Пенза 2013

УДК 691.328

ББК 38.33

Д32

Монография разработана в рамках проекта «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства – региональный центр повышения качества подготовки высококвалифицированных кадров для строительной отрасли», выполненного по заданию Министерства образования и науки Российской Федерации (конкурс «Кадры для регионов»)

Рецензент – академик РААСН, доктор технических наук, профессор В.П. Селяев

Демьянова В.С.

Д32

Эффективные строительные материалы с использованием техногенных отходов: моногр. / В.С. Демьянова, А.Д. Гусев. – Пенза: ПГУАС, 2013. – 128 с.

ISBN 978-5-9282-0941-4

Рассмотрены научные основы, методологические и технологические аспекты получения эффективных строительных материалов с использованием техногенных отходов.

Монография предназначена для научных и инженерно-технических работников научно-исследовательских, проектных и строительных организаций, а также для аспирантов и студентов, обучающихся по направлениям 270100 «Строительство», 280700 «Техносферная безопасность».

ISBN 978-5-9282-0941-4

© Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства, 2013

© Демьянова В.С., Гусев А.Д., 2013

НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

ГОСТ Р 54096. Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Взаимосвязь требований Федерального классификационного каталога отходов и Общероссийского классификатора продукции

ГОСТ 8407-89. Сырьё вторичное резиновое. Покрышки и камеры шин. Технические условия.

ГОСТ Р ИСО 4000. Шины для легковых автомобилей

ГОСТ 28588. Резина. Подготовка проб и образцов для испытаний

ГОСТ 270 (СТ СЭВ 2594–80). Резина. Метод определения упругопрочностных свойств при растяжении

EN 544. Качественные характеристики битумной черепицы по классу 1 к резино-битумным кровлям (Kerabit, Ruflex и др.)

ГОСТ 9128-2009. Смеси асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон

ГОСТ 2678-94. Материалы рулонные кровельные и гидроизоляционные. Методы испытаний

ГОСТ 10923-93. Рубероид. Технические условия

ГОСТ 10296. Изол. Технические условия

ГОСТ 10178. Портландцемент и шлакопортландцемент. Технические условия

ГОСТ 8736-93. Песок для строительных работ. Технические условия.

ГОСТ 8267-97. Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия

ГОСТ 24211. Добавки для бетонов и строительных растворов. Общие технические условия

ГОСТ 10181. Смеси бетонные. Общие требования к методам испытаний

ГОСТ 26633. Бетоны тяжелые и мелкозернистые. Технические условия

ГОСТ 10180. (СТ СЭВ 3978-83) Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам

ГОСТ 12730. Бетоны. Методы определения водопоглощения

ГОСТ 12730. Бетоны. Методы определения показателей пористости

ГОСТ 13087. Бетоны. Методы определения истираемости

РТМ 17-02. Руководящие технические материалы по проектированию и изготовлению сталефибробетонных конструкций на фибре

СНиП 52-01-2003. Бетонные и железобетонные конструкции.

ВСН 56. Проектирование и основные положения технологий производства фибробетонных конструкций

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

АТК – автотранспортный комплекс
ОТС – отходы транспортных средств
ПП – продукты переработки
ИАШ – изношенные автомобильные шины
ТБО – твердые бытовые отходы
ГШ – гальванические шламы
ВМР – вторичные материальные ресурсы;
НСМ – нерудные строительные материалы
РК – резиновая крошка
ОК – отсеvy камнедробления
ПСМ – промышленность строительных материалов
РЧ – резиновая черепица
СФБ – сталефибробетон
ВПБ – высокопрочный бетон
ВКБ – высококачественный бетон
КОМД – комплексные органоминеральные добавки
ДН – дисперсный наполнитель
СП – суперпластификатор
МК – микрокремнезем
 V_d – водоредуцирующее действие
В – класс по прочности на сжатие
 V_t – класс по прочности на осевое растяжение
W – марка по водонепроницаемости
D – марка по средней плотности
 $R_{b,n}$ – нормативное сопротивление бетона сжатию.
R и ε – прочность и относительное удлинение при разрыве резиновой черепицы

ВВЕДЕНИЕ

Производство строительных материалов – отрасль потребления не только природного сырья, но и техногенных отходов. В этой связи особое значение приобретает разработка новых строительных материалов на основе техногенных отходов, экономическая эффективность которых существенно возрастает при использовании децентрализованного накопления отходов. Решение этой актуальной проблемы связано с задачей ресурсосбережения во многих регионах, обладающих такими отходами. Массовое накопление отходов производства и потребления свидетельствует об отсутствии или несовершенстве технологических процессов переработки, низком и нерациональном использовании отходов в качестве вторичных материальных ресурсов и определяет необходимость решения экологических задач.

В настоящее время серьезную озабоченность вызывают увеличивающиеся отходы транспортных средств (ОТС), в частности изношенные автомобильные шины (ИАШ), которые географически децентрализованы и являются местным техногенным сырьем практически всех регионов РФ. Из известных способов утилизации наиболее простым является использование в некоторых странах автомобильных шин в качестве компонента топлива. Однако этот способ существенно ухудшает экологическое состояние региона из-за значительного выделения при сжигании серного ангидрида. В России ежегодно образуется свыше 1 млн т шин, а перерабатывается всего лишь 20 % из них. Анализ существующих методов переработки свидетельствует о том, что наиболее эффективным и менее энергозатратным является механическая переработка шин, обеспечивающая отдельное извлечение компонентов переработки, таких, как резиновая крошка, металлокорд, текстиль. Использование продуктов переработки шин способствует дальнейшему развитию простого, экологически чистого способа переработки автомобильных шин, которые накапливаются во всех регионах РФ, а также экономических и технологических решений по их утилизации.

Научных публикаций по вопросам применения продуктов переработки изношенных автомобильных шин в промышленности строительных материалов недостаточно, что не позволяет оценить эксплуатационную надежность и экономическую эффективность производства строительных материалов на их основе. Кроме того, существующие технологии переработки ИАШ требуют изучения физико-механических свойств продуктов переработки с целью последующего использования их в композиционных строительных материалах. Для решения этих вопросов необходимы всесторонние исследования технологических процессов изготовления, изучение эксплуатационных свойств строительных материалов, совершенствование и дальнейшее развитие их конструктивных решений с

целью достижения экономического эффекта и обеспечения возможности применения продуктов переработки ИАШ при производстве строительных материалов.

В связи с этим перспективным направлением является изучение отходов различных отраслей промышленности, разработка на их основе комплексных, сбалансированных по составу модифицирующих компонентов с целью получения эффективных ресурсосберегающих строительных материалов. Создание эффективных многокомпонентных строительных материалов требует качественно нового подхода к экспертной оценке выбора природного и техногенного сырья, модифицирующих добавок, предусматривающего проведение системного анализа при проектировании строительных материалов с использованием продуктов переработки ИАШ.

Глава 1. ЗАРУБЕЖНЫЙ И ОТЕЧЕСТВЕННЫЙ ОПЫТ ПРОИЗВОДСТВА И ПРИМЕНЕНИЯ РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ

1.1. Масштабы образования и накопления техногенных отходов

Экономическое развитие стран мира, рост народонаселения сопровождаются увеличением объемов отходов производства и потребления. Расширение видов антропогенной деятельности человека приводит к появлению новых отходов [53, 64, 135]. Как известно, функционирование любого предприятия и отрасли в целом сопровождается образованием отходов [190]. В основном это нетоксичные отходы добывающей и перерабатывающей промышленности, а также промышленные отходы, относящиеся к III и IV классам опасности (табл. 1.1). Как правило, указанные отходы могут рассматриваться как технологичное и экономичное вторичное сырье в смежных областях промышленности, их утилизация при условии соблюдения природоохранного законодательства является экономически и экологически целесообразной [5, 49, 54, 62, 64, 84].

Т а б л и ц а 1 . 1

Масштабы образования отходов в России

Наименование отхода	Образование, млн т	Уровень использования, %
Отходы добычи и обогащения	2 700–3 200	34,1-35,8
Лом черных металлов	33,5-35,6	81,2-82,9
Золы и шлаки ТЭС	29,8-31,8	9,6-11,1
Галитовые отходы	29,4-30,6	13,7-14,6
Шлаки доменные	17,7-18,5	71,9-73,8
Древесные отходы	14,4-15,9	50,1-54,2
Фосфогипс	14,0-15,6	4,0-6,1
Шлаки сталеплавильные	7,4-8,6	40,1-42,8
Макулатура	3,8-4,4	30,9-32,8
Пиритные огарки	1,5-1,8	39,8-43,2
Шины изношенные	1,0-1,2	9,1-11,2
Щелоки сульфитные	0,95-1,1	66,4-69,8
Полимерные отходы	0,7-0,8	10,2-11,9
Стеклобой	0,6-0,69	32,5-36,6
Текстильные отходы	0,37-0,42	49,5-51,2
Отработанная серная кислота	0,29-0,32	82,8-84,3
Ртутьсодержащие отходы	0,004-0,005	40,5-42,6

Значительное накопление отходов производства и потребления свидетельствует о низком и нерациональном использовании отходов в качестве вторичных материальных ресурсов (ВМР).

Вместе с тем сегодня известно применение отдельных отходов производства и потребления в качестве вторичных материальных ресурсов во многих отраслях промышленности. Степень и масштабы рециклинга отходов определяются следующими факторами: характеристикой отходов как загрязнителей окружающей среды, их ресурсной ценностью и конкретными экономическими условиями региона, определяющими рентабельность использования отходов в производстве в качестве вторичного материального ресурса [127, 135, 138]. Традиционные виды вторичного сырья, легко поддающиеся сбору и переработке, – лом и отходы металлов, отходы полимеров, макулатуры, текстиля. Напротив, сложные многокомпонентные отходы, такие, как твердые бытовые отходы (ТБО), а также отходы с примесями перерабатываются недостаточно. К ним относятся также смешанные отходы и отходы, загрязненные нефтепродуктами, нефтепродукты, осадки и шламы очистных сооружений, отходы упаковки из ламинированной бумаги, изношенные автомобильные шины (ИАШ), гальванические шламы (ГШ) и т.д. (табл. 1.2).

Т а б л и ц а 1 . 2

Доля вторичного сырья в производстве промышленной продукции

Наименование промышленной продукции	Наименование использованного вторичного сырья	Доля вторичного сырья в производстве промышленной продукции, %
Сталь	Лом черных металлов	25,5-27,9
Картонно-бумажная продукция	Макулатура	17,0-19,1
Продукция из термопластичных полимеров	Дробленка, агромелат, гранулят из отходов термопласта	4,2-4,6
Резинотехнические изделия	Крошка резиновая, регенерат	3-4
Нерудные строительные материалы (щебень, гравий, песок)	Отходы добычи и обогащения, шлаки металлургические, золы и шлаки ТЭС	3-4

Очевидно, что основной задачей научно-технического прогресса в области использования техногенных отходов в качестве вторичного сырья является обеспечение полной переработки отходов производства и потреб-

ления в полезные для общества материалы и изделия с целью исключения их негативного воздействия на окружающую среду, рационального использования природного сырья с получением наибольшего экономического эффекта [20, 48, 152, 181].

Из всего многообразия отходов были выделены отходы автотранспортного и горнодобывающего комплексов, что обусловлено прогрессирующим ростом их образования и накопления [64, 84, 141].

Одними из наиболее распространенных отходов автотранспортного комплекса являются отходы транспортных средств (ОТС), в частности, **изношенные автомобильные шины**, количество которых ежегодно увеличивается [69, 76, 106, 121, 193] в результате роста автомобилизации в мире. Изменение численности мирового и российского парков автомобилей представлено на рис. 1.1.

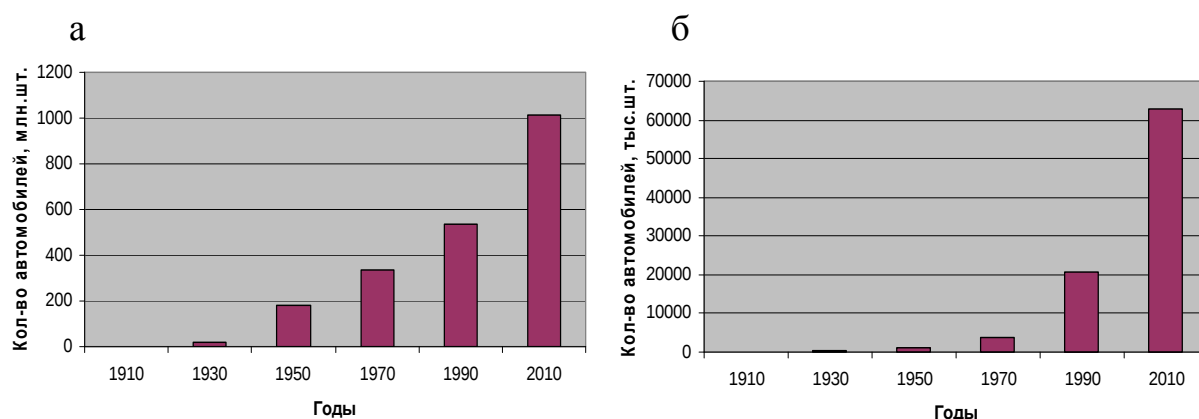


Рис. 1.1. Изменение численности парка автомобилей:
а – мирового; б – российского

Как следует из рис.1.1,б, темп роста российского автомобильного парка – один из самых высоких в мире [64, 141].

Первая в мире резиновая шина была получена Робертом Уильямом Томсоном в 1846 г. С этого момента началось их активное производство и использование, загрязнение ими окружающей среды. Согласно ориентировочным данным, в Европе ежегодно образуется около 2 млн т шин, в США – 2,8 млн т, в России – 1 млн т [76, 190, 201].

Вследствие высокой стойкости к воздействию внешних факторов, изношенные шины длительное время загрязняют окружающую среду. Места их скопления служат средой обитания и размножения грызунов и насекомых, являющихся разносчиками различных заболеваний, особенно в регионах с жарким климатом. Кроме того, шины обладают высокой пожароопасностью, а продукты их неконтролируемого сжигания оказывают крайне вредное влияние на окружающую среду (ОС). По данным авторов,

при сжигании 1 т изношенных автошин в атмосферу выделяется свыше 700 кг сажи и токсичных газов [32, 201]. Наиболее вредными канцерогенами являются полиароматические углеводороды, в частности бензапирен, которых в шинах обнаружено свыше 15 соединений [1, 70, 138]. Переработка изношенных шин как альтернатива захоронению, сжиганию и т.д. имеет важное народнохозяйственное значение, заключающееся в высвобождении земель, ранее занятых под хранение автошин, получении вторичного высококачественного сырья и его повторном использовании для снижения потребления невозобновляемых природных ресурсов. В связи с этим разрабатываемая в настоящее время концепция эколого-экономического устойчивого развития цивилизации предусматривает решение экологических проблем путем использования изношенных автомобильных шин, являющихся одним из самых многотоннажных отходов потребления (табл. 1.3) [44, 76, 200].

Т а б л и ц а 1 . 3

Количество утильных шин в Европе, США и Японии
и способы их переработки

Страна	Объем образования, тыс. т.	Вывезено на свалку, %	Получение энергии, %	Восстановление протектора, %	Получение резиновой крошки, %	Экспорт, %	Прочее, %
Германия	550	2	38	18	15	18	9
Великобритания	450	67	9	18	6	-	-
Франция	425	52	10	13	6	19	-
Италия	330	53	14	27	-	6	-
США	2800	59	22	9	9	3	1
Япония	840	8	43	9	12	25	3
Россия	900	96	-	1	3	-	-

По данным ассоциации «Шиноэкология», годовая суммарная производственная мощность реально действующих в России предприятий по переработке изношенных шин составляет не более 95 тысяч тонн (рис. 1.2) [63, 106].

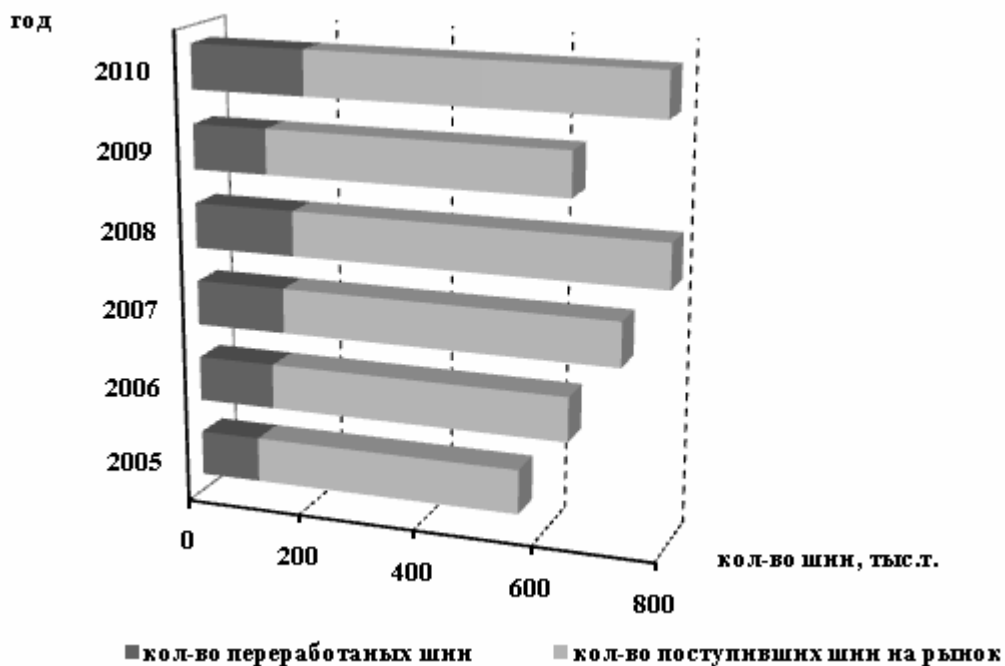


Рис. 1.2. Численность автомобильных шин

Отходы добычи полезных ископаемых. В процессе добычи нерудных каменных материалов, как правило, образуются отходы камнедробления, а добыча некоторых нерудных материалов, в частности мелких строительных песков, требует рационального их использования. Сегодня деятельность предприятий горнодобывающей промышленности привела к накоплению в отвалах свыше 5 млрд м³ пород, из которых, по разным оценкам специалистов, осваивается не более 9–13 % [30, 105]. Поэтому к числу важнейших проблем промышленности нерудных строительных материалов (НСМ) относится поиск рынков сбыта отсевов камнедробления (ОК) или продуктов их переработки. Так, по ориентировочным расчетам, выход отсевов камнедробления фракций 0-10 мм составляет 20-35 % от общей добычи каменных пород. Не случайно в последнее десятилетие появился термин «техногенное месторождение» [114]. Из размещенных в многочисленных отвалах скальных пород около 1 млрд м³ отходов пригодно для выпуска щебня [31]. Реализация отсевов камнедробления на карьерах не превышает 30-40 % от их производства. Между тем использование отсевов дробления является существенным фактором экономического роста предприятий нерудной промышленности [105]. Опыт отечественных и зарубежных предприятий добычи нерудных строительных материалов свидетельствует о возможности расширения номенклатуры НСМ [62, 84]. По данным [80, 84], номенклатуру НСМ Орского карьероуправления можно расширить до 10 видов, Каменногорского – до 8 и т.д. В мелких отсевах камнедробления преобладают высокопрочные фракции щебня, что обу-

словлено обогащением материала по прочности. Не случайно в зарубежной практике производства современных высокопрочных и особовысокопрочных бетонов используется щебень с крупностью зерен не более 10 мм [80].

В последние годы в России интерес к переработке техногенных отходов возрастает [5, 61, 76, 94, 96, 109, 151]. Это обусловлено появлением программ регионального уровня по сортировке и рециклингу отходов. Создание подобных программ позволяет снизить экономическую и экологическую напряженность в регионе, но, к сожалению, не позволяет привлечь «здоровый» бизнес к решению существующей проблемы [32, 58, 62, 141, 156]. Одной из главных причин, сдерживающих использование техногенных отходов, является, во-первых, непостоянство состава и свойств этого вида вторичного сырья, что затрудняет получение стабильно высокого качества готовой продукции, во-вторых – отсутствие нормативной и законодательной базы [72, 75, 76].

1.2. Теоретические предпосылки получения эффективных строительных материалов с использованием продуктов переработки изношенных автомобильных шин

Повторное вовлечение в производство отходов в условиях реализации концепции «промышленного метаболизма» является важнейшей экологической и социальной проблемой всех развитых стран мира [74, 179]. Однако без дополнительной переработки и подготовки техногенных отходов, как правило, не удастся получить высокоэффективные строительные материалы. Это обусловлено как нестабильностью состава отходов, так и наличием в их составе возможных примесей и включений, роль которых оказывается не всегда положительной. С целью обеспечения требуемого качества разрабатываемых на базе отходов ресурсосберегающих строительных материалов и значительного снижения экологического загрязнения необходимо иметь полную диагностическую информацию о составе, агрегатном состоянии, физико-механических и санитарно-гигиенических характеристиках отходов и т.д. Рассмотрим теоретические предпосылки использования некоторых техногенных отходов при создании предлагаемых в настоящей монографии эффективных строительных материалов.

Теоретические предпосылки использования резиновой крошки при производстве эффективных резинотехнических строительных материалов. Резиновые изделия ввиду своего химического строения (трехмерная химическая сетка) долгое время считались неперерабатываемыми [1, 2, 50, 119, 136]. В последние десятилетия появился ряд технологий по переработке резинотехнических изделий в различные виды продуктов. В России, как и во всем мире, существует несколько методов переработки

изношенных автошин: сжигание, механическая переработка, пиролиз и др. [3, 5, 74, 75, 94, 95, 142, 156, 161, 174].

Особый интерес вызывает механическая переработка шин, позволяющая максимально сохранить физико-механические и химические свойства материала. В результате нее образуются резиновая крошка, металлокорд и текстиль [27, 126, 137, 180]. При этом механическую переработку необходимо классифицировать по температуре, способу и методам воздействия на колесо. В зависимости от температуры переработки процесс измельчения резин подразделяется на измельчение при низких температурах и измельчение при положительных температурах. Низкотемпературное (криогенное) измельчение позволяет перевести измельчаемый полимер в псевдохрупкое состояние и сохранять его в течение всего процесса измельчения [3, 26, 193, 198]. Измельчение резины, находящейся в хрупком состоянии, происходит как с поверхности, так и по всему объему. В связи с этим наличие микродефектов при переводе резинового полимера в хрупкое состояние способствует появлению первичных очагов разрушения. При разрушении эластомеров в условиях глубокого холода сохраняются основные закономерности измельчения хрупких тел, а степень дисперсности получаемого продукта возрастает с увеличением энергонапряженности аппарата, используемого для измельчения. При низкотемпературном криогенном разрушении связь энергозатрат и дисперсного состава получаемого продукта описывается законом Риттингера [101].

Измельчение резин высокоскоростным резанием в условиях нормальных температур сопровождается хрупким, псевдохрупким и высокоэластическим разрушением [28, 128]. Доля материала, подвергающаяся деформированию при резании, сравнительно невелика и сосредоточена в непосредственной близости от режущей кромки ножа [21]. Определяющее влияние на процесс резания при этом оказывает состояние измельчаемого материала. При постоянной скорости движения ножа разрушение резин подчиняется основным закономерностям, характерным для механического разрушения эластомеров. При скорости резания 2,5-30 м/с и температуре 20...100 °С имеет место высокоэластический механизм разрушения, а удельное усилие резания, в зависимости от скорости деформации и температуры, описывается степенной функцией Аррениуса [21].

Разрушение при воздействии деформаций всестороннего сжатия и сдвига, реализуемом в большинстве случаев на аппаратах валкового типа, носит псевдохрупкий характер и происходит при наибольшей относительно растягивающей деформации [65, 136, 167]. На примере вулканизаторов СКИ-3 установлено, что в процессе измельчения на вальцах происходит деструкция резинового гранулята [3, 41], а кинетика деструкции определяется вязкоупругими свойствами материала [43]. Аналогичное воздействие, всестороннее сжатие и сдвиг на материал, происходит при упруго-

деформационном методе измельчения (УДИ) [21]. Реализация упругодеформационного воздействия с использованием аппаратов УДИ достигается специальной комбинацией измельчающих элементов, установленных на шнеках экструдера. Отмеченный метод позволяет совместить в одном цикле процесса измельчения введение добавок и химическую обработку материала. По данным авторов [191], изучавших УДИ ненаполненных сшитых эластомеров, с ростом температуры измельчения наблюдается падение деформационно-прочностных свойств вулканизаторов. Уменьшение прочности обусловлено термофлуктуационным механизмом разрушения. При анализе измельчения ненаполненных вулканизаторов установлено, что чем меньше эластичность исходного вулканизата, тем больше дисперсность получаемого измельченного материала. Данная зависимость прослеживается как при увеличении степени сшивания материала, так и с ростом температуры [41, 180].

По данным авторов [43], процесс экструзионного измельчения необходимо проводить при максимально возможных частотах вращения шнеков и скорости подачи материала не менее 200 г/мин. Интервал оптимальных температур процесса УДИ составляет 80...140 °С. При более низких температурах значительно возрастают энергозатраты на измельчение, а при более высоких – интенсивно протекают процессы деструкции, что приводит к значительному снижению выхода порошков тонких фракций.

В процессе механической переработки автошин происходит окисление поверхности резиновой крошки, а наличие кислородсодержащих оксидных групп на поверхности частиц крошки ухудшает адгезионное взаимодействие между наполнителем и полиолефиновой полимерной матрицей. Применение резиновой крошки имеет значительное ресурсосберегающее значение. В настоящее время разработан ряд модифицирующих добавок, способных повысить адгезионное взаимодействие между компонентами композитов [2, 203].

Таким образом, известные сегодня технологии переработки автомобильных шин позволяют получать резиновую крошку, различающуюся дисперсностью, формой и морфологическим строением поверхности, что затрудняет ее применение в композиционных кровельных материалах в связи со сложностью прогнозирования характеристик конечной продукции и требует детального изучения влияния основных свойств получаемой крошки на физико-механические и эксплуатационные показатели разрабатываемого кровельного материала.

Теоретические предпосылки получения дисперсно-армированных бетонов с использованием техногенных отходов. В настоящее время в теории и практике строительного материаловедения накоплен значительный объем научных данных о процессах структурообразования, твердения вяжущих материалов и бетонов на их основе, в том числе с использо-

ванием модифицирующих добавок. Рассмотрены механизмы действия многих из них [9, 13, 15, 22, 68, 91, 97, 130, 165]. Однако механизм комплексного влияния многокомпонентных добавок из отходов различных производств в технологии дисперсно-армированных бетонов требует дополнительного изучения.

Свойства бетона определяются его структурой. Процесс формирования структуры бетона включает несколько этапов: выбор сырья, проектирование состава, приготовление, укладка и уплотнение бетонной смеси, схватывание и твердение бетона. Для получения высококачественной структуры необходимо осуществлять активное управление структурообразованием бетона на всех технологических процессах.

Основными факторами, определяющими физико-механические и эксплуатационные свойства цементного камня и дисперсно-армированных бетонов на его основе, в том числе с использованием отходов, являются вид используемой фибры, показатели качества цементов и заполнителей, вид и количество вводимых органических и минеральных добавок, а также технологические режимы приготовления фибробетона. Перечисленные факторы оказывают неоднозначное действие на конечные свойства дисперсно-армированного бетона [15–18, 24, 79, 117, 118, 120]. Особое значение при этом имеет прочность сцепления в контактной зоне между цементной матрицей и армирующими волокнами [25, 83, 148, 183, 196, 205].

Цемент является полиминеральным материалом. Структура затвердевшего цементного камня состоит из кристаллических элементов различных размеров и конфигурации. В соответствии с законами физики твердого тела и вероятностно-статистической теорией прочность подобных материалов зависит от размеров структурных элементов, характера пористости (применительно к цементному камню) и прочности контактов между элементами твердой фазы. По данным [15], при уменьшении поперечного размера нитевидных кристаллов этtringита прочность их повышается. С уменьшением среднего размера кристаллов прочность цементного камня возрастает. Применение химических добавок и различных режимов твердения позволяет в заметных пределах изменять размеры кристаллов и пор в цементном камне и, соответственно, его прочность [18]. Поэтому для получения дисперсно-армированных бетонов высокой прочности особое значение имеет создание плотной тонкозернистой структуры цементного камня.

С химической точки зрения основным компонентом жидкой фазы твердеющего портландцемента, обуславливающим его влияние на свойства сталефибробетонов, является гидроксид кальция. В связи с этим немаловажное значение имеет определение оптимальных соотношений между фазами алита и белита в вяжущем материале дисперсно-армированного бетона. Повышенное содержание алита в портландцементе поло-

жительно сказывается на защите металлической арматуры и, соответственно, стальных фибр от коррозии. Снижение содержания алита и повышение количества белитовой составляющей в портландцементе уменьшает, как правило, интенсивность агрессивного влияния среды гидратации цемента по отношению к стеклянным волокнам [38, 147].

Заметное влияние на структуру и свойства бетона оказывает заполнитель [62, 80]. С введением заполнителя возрастает вероятность появления крупных дефектов, в первую очередь в контактной зоне между заполнителем и цементным камнем. С повышением прочности бетона влияние качества заполнителей на его структуру и физико-механические свойства увеличивается. Вместе с тем для каждого вида заполнителя имеется предельное значение прочности бетона, превышение которого на данном заполнителе экономически не целесообразно, так как незначительное повышение прочности бетона сопровождается значительным увеличением расхода цемента. Как правило, такой предел наступает, когда прочность на растяжение бетона приближается к прочности заполнителя.

С увеличением содержания заполнителя и уменьшением крупности возрастает водопотребность бетонной смеси. Введение суперпластификаторов или комплекса “суперпластификатор – микрокремнезем – активизирующий компонент” позволяет существенно снизить водопотребность бетонной смеси, уплотнить и улучшить структуру бетона и соответственно повысить его прочность без изменения общих закономерностей влияния заполнителя на свойства бетонной смеси и бетона [16, 73].

Согласно зарубежным данным, максимальная крупность заполнителя для производства высокопрочного дисперсно-армированного бетона не должна превышать 8–25 мм, чаще всего до 12 мм, при прочности 140–300 МПа для различных марок бетонов. Использование малой крупности заполнителя в сочетании с тонкой стальной фиброй диаметром не более 0,15–0,4 мм и длиной 5,5–10,0 мм существенно повышает однородность высокопрочного дисперсно-армированного сталефибробетона [59]. Для саморастекающихся и самоуплотняющихся бетонных композиций с суперпластификаторами предпочтительны фракции 3–10 мм [91]. Это обусловлено низким гравитационным фактором, вызываемым уменьшением сил трения между остроугольными контактами мелкого щебня и силой тяжести.

Актуальным направлением в получении высококачественных бетонов, отличающихся широким спектром функциональных возможностей, является использование комплексных добавок, в том числе на основе отходов [22, 23, 67, 93]. Основным компонентом таких добавок являются тонкодисперсные добавки – наполнители, обладающие высокими пуццоланическими свойствами [29, 54, 92]. К ним относятся микрокремнеземы, дегидратированные каолины, активные высокодисперсные золы, не содержащие в своем составе несгоревших остатков и др. [98, 162]. Из

техногенных отходов заслуживают внимания измельченные отходы бетона. Являясь полиминеральными по составу и содержащими известняк, гранит, гидраты клинкерных минералов и остаточный клинкерный фонд, измельченные отходы определяют их использование в тонкомолотом виде в качестве наполнителей бетона. Значительное количество отходов бетона образуется после разборки старых зданий, реконструкции дорожных «одежд», на заводах ЖБИ и пр. [20]. Как было показано ранее, в качестве тонкодисперсных наполнителей дисперсно-армированных бетонов высокой прочности применяются измельченные отходы энергетической и металлургической промышленности, кварцевые пески, доломиты, известняки и карбонаты, отходы от производства бетона, имеющиеся практически во всех регионах РФ [30, 45, 80]. Наиболее эффективно использование данных добавок в сочетании с супер- и гиперпластификаторами и армирующими элементами.

Применение тонкодисперсных микронаполнителей позволяет максимально реализовать разжижающее действие суперпластификаторов, снизить расход воды при одинаковой гравитационной текучести в дисперсных системах в 10–15 раз по сравнению с обычными суспензиями. По данным авторов, введение стальных волокон в такие бетоны в количестве 2,0–2,5 % по объему обеспечивает достижение прочности при растяжении 15–19 МПа, прочности на изгиб – 50 МПа при прочности на сжатие 180–200 МПа [4, 9, 77]. В последние десятилетия при производстве бетонов нового поколения реализуется концепция использования реакционно-активных мономинеральных и полиминеральных тонкодисперсных порошков на основе горных пород [55, 77, 81, 87, 88, 89].

Наиболее эффективно применение в бетонах не отдельных модификаторов, а, в зависимости от назначения бетонов и предъявляемых к ним требований, специально подобранных комплексов (КОМД). Обязательным компонентом комплексов чаще всего является суперпластификатор, к которому добавляются воздухововлекающие, или антивоздухововлекающие, или микрогазообразующие добавки, расширяющие добавки, добавки, управляющие структурообразованием, в частности кинетикой схватывания и твердения, волокнистые добавки, активные минеральные компоненты и супертонкие наполнители, наноэлементы и пр. Состав комплекса должен соответствовать заданным свойствам бетонов и выбранной технологии. Комплексные органоминеральные добавки (КОМД) получают, объединяя в единую систему органический и минеральный компоненты, обладающие конкретным модифицирующим эффектом [15, 22, 97]. Многокомпонентность комплексных добавок и, как следствие, многокомпонентность бетонной смеси обеспечивает возможность эффективно управлять процессами структурообразования на всех этапах технологии приготовления бетона, а требуемые технологические свойства бетонной смеси и эксплуатационные

характеристики бетона обеспечиваются как высокими функциональными показателями самих компонентов, так и их комбинацией [14, 15, 60].

Использование органоминеральных добавок в порошкообразном виде облегчает их введение в бетонную смесь. За счет синергетического действия компонентов органоминеральной добавки при значительном сокращении расхода воды создаются стесненные контактные условия, при которых происходит интенсивное формирование прочности бетона [12, 55, 91]. Многокомпонентность современных высококачественных сталефибробетонов требует системного подхода к выбору исходных компонентов, в том числе отходов [15, 18, 55, 194].

Комплексные органоминеральные добавки (КОМД) обеспечивают повышение физико-механических и эксплуатационных характеристик фибробетона за счет упрочнения цементирующей матрицы. Обеспечение качественных показателей сталефибробетона достигается сочетанием высокой прочности стальной проволоки и высокопрочной цементной матрицы. Анализ данных свидетельствует о том, что наибольшее применение находят три вида армирующих волокнистых материалов: волокна (фибры) в виде коротких отрезков стальной проволоки, волокна на основе полипропилена и стекловолокно [100, 164]. С целью улучшения качественных показателей бетонных изделий могут быть использованы углеродные волокна, которые не подвергаются коррозии в гидратирующемся цементе, способствуют повышению прочности цементного камня на растяжение и модуля его упругости [107]. Фактором, сдерживающим применение углеродных волокон, является их цена, значительно превышающая стоимость стальных и стеклянных волокон. В связи с этим использование их в качестве арматуры требует специального обоснования. Практический интерес представляют волокна органического происхождения [25]. Однако, по мнению многих специалистов, возможности применения в качестве армирующего материала волокон асбеста ограничены из-за относительно малой длины этих волокон и трудностей их распушки. Необходимо учитывать также ограниченность природных запасов высококачественных асбестов, что повышает интерес специалистов к поиску новых видов эффективных армирующих материалов [25, 49].

Как известно, эксплуатационные и технологические характеристики сталефибробетона определяются показателями применяемых фибр [11, 33, 158, 164, 168, 206]. Установлено, что более длинные фибры при одинаковом диаметре склонны к комкованию на всех этапах приготовления бетона: загрузке, транспортировке, выгрузке, дозировке, подаче в смеситель и перемешивании смеси. Соответственно, чем меньше длина фибр при прочих равных условиях, тем меньше их склонность к образованию комков. Чем больше длина фибр, тем больше усилие, необходимое для их выдергивания из тела затвердевшего бетона, и тем выше сопротивление

сталефибробетона растяжению. С уменьшением диаметра фибры повышается эффективность армирования бетона. Введение волокон в бетонную смесь понижает ее подвижность. В работах [81, 82, 86] приводится пример успешного применения тонкой металлической фибры (микрофибры), диаметр которой составляет 0,1–0,2 мм, а длина не превышает 12 мм. В целом, фибробетон выгодно отличается от традиционных видов бетона, имея в несколько раз более высокие, по сравнению с ним, прочность на растяжение, ударную и усталостную прочность, водонепроницаемость, морозостойкость, трещиностойкость и др. По показателю работы разрушения бетон с использованием стальной фибры превосходит обычный бетон в 15–20 раз [39, 111], что обеспечивает его высокую технико-экономическую эффективность при применении в конструкциях [39, 169].

Методологические основы применения измельченных строительных песков в производстве сталефибробетона. Зерновой состав измельченной тонкозернистой фракции песка находится в пределах 0,1–0,6 мм. Удельная поверхность такого песка не превышает 400 см²/г. Актуальность использования измельченных тонких строительных песков обусловлена присутствием в их составе преобладающего количества кварца, значительно активизирующего свои свойства при помоле, что способствует возрастанию поверхностной энергии и увеличению реакционно-химической активности дисперсных частиц кварца. Применение измельченного кварца в смеси с цементом способствует значительному повышению водоредуцирующего действия суперпластификаторов. Клинкерный цемент при затворении его водой образует суперколлоидные частицы, слабо поддающиеся диспергированию суперпластификаторами. В то же время частицы горных пород, в независимости от диаметра, не видоизменяются в воде в течение длительного времени. Поэтому добавление к цементу измельченного кварцевого песка позволяет увеличить реологическое воздействие суперпластификатора. Благодаря высокой водоредуцирующей эффективности суперпластификатора в тонких прослойках воды интенсивно протекают реакции гидратации, гидролиз минералов цементного клинкера, взаимодействие гидролизной извести (портландита) с тончайшими частицами кварцевого песка с образованием тоберморитоподобной фазы и ксонотлита. Указанное обеспечивает возможность использования измельченных строительных песков, содержащих активную форму аморфизированного SiO₂, в качестве дисперсных наполнителей цементных композиций [78].

1.3. Опыт применения техногенных отходов в промышленности строительных материалов

В последние годы интерес к использованию при производстве строительных материалов побочных продуктов и техногенных отходов различных отраслей промышленности возрастает [80, 181, 184]. Достаточно широко рассмотрены основные направления обработки и утилизации осадков сточных вод, отражены процессы биотермического компостирования осадков, их обезвоживания, минерализации и корректировки состава, представлены конкретные примеры обработки осадков сточных вод в условиях очистных сооружений и объектов размещения отходов Самарской области [183].

Известно использование в строительстве шламов гальванического производства. Отходы химической очистки вод ТЭС, АЭС, шахтных вод составляют значительную сырьевую базу для предприятий строительной керамики. Огромное количество карбонатных шламов химводоочистки образуется на предприятиях энергетики. Городская ТЭЦ средней мощности сбрасывает около 15–20 т шлама в сутки. В ряде работ представлены результаты исследования влияния дозировок карбонатного шлама на цементные материалы, модифицированные солевыми и шламовыми отходами предприятий энергетики [122, 154, 157, 171]. Приведены возможные пути использования минеральных шламов и сплавов солей предприятий химической, фармацевтической и микробиологической, машиностроительной и других отраслей промышленности в качестве эффективных добавок цементных композиций [172, 178]. Широкое распространение получили пластификаторы на основе щелоков из сибирских пород древесины.

В настоящее время свыше 30 % бетонов и растворов изготавливаются с применением химических добавок [90, 103, 172, 177, 178]. Известно использование отходов производства антибиотиков, положительно влияющих на некоторые свойства строительных растворов и бетонов [103]. С целью повышения сульфатостойкости и кислотостойкости цементных бетонов предложены модифицирующие добавки, кольматирующие структуру бетона и ограничивающие проникание агрессивной среды внутрь материала [177]. Одним из основных и наиболее материалоемких направлений утилизации стеклянного боя [90] является производство ячеистого эффективного жесткого теплоизоляционного материала, на основе которого производят плиты, балки и полуцилиндры. Из боя строительного и тарного стекла получают новый вид пористого заполнителя для легких бетонов – гранулированное пеностекло с насыпной плотностью 160–220 кг/м³, прочностью при сжатии в цилиндре 0,6–1,1 МПа. Гранулы отличаются водостойкостью, морозостойкостью и биостойкостью. На их основе производят теплоизоляционные легкобетонные плиты плотностью 500–700 кг/м³ для

ограждающих строительных конструкций. С использованием тяжелого оптического стекла получены бетоны для защиты от радиации [90].

Применение резиновой крошки при производстве строительных материалов. Резиновая крошка и мелкодисперсные резиновые порошки используются в качестве компонентов резиновых смесей [52, 66, 173, 174]. При этом получают резины, по ряду технических свойств зачастую превосходящие материалы, не содержащие регенераты. В настоящее время известны модифицирующие добавки, повышающие адгезионное взаимодействие между компонентами резинополимерных композитов [10, 41, 203].

Впервые идея переработки старой резины в резиновую крошку была запатентована Паркером в 1846 году, но широкое её применение началось с конца 40-х годов XX века в производстве подошвенных пластин. С тех пор производство и потребление резиновой крошки росли, улучшалось её качество, разрабатывались новые технологии её получения [19, 36, 129].

Возможная область применения резиновой крошки (РК) и порошка из изношенных автомобильных шин охватывает десятки отраслей хозяйства, включая гражданское, промышленное и дорожное строительство, производство клеев и красок, обувную, текстильную, автомобильную промышленность [2, 10]. Особой областью продуктов переработки являются сорбционные возможности порошка, прошедшего специальную финишную обработку, обеспечивающую высокую поглощающую способность нефтепродуктов – до 350-450 г/г пудры как в жидких, так и сыпучих средах.

Долгое время считалось, что наиболее перспективным направлением является использование резиновых порошков в качестве заменителя дорожного битума. Начиная с середины 50-х годов прошлого века велись многочисленные исследования совместного применения резины с битумами и асфальтами с целью ее утилизации и придания вяжущим материалам эластичных свойств. Разрабатывались многочисленные технологические схемы и методы так называемого «сухого» введения частиц резиновой крошки в асфальтобетонные смеси в процессе их изготовления, прямого использования резинового гранулята как наполнителя в дорожно-строительных материалах (асфальтобетонных покрытиях). Считалось, что это простое и низкзатратное направление применения утильной резины [10, 51, 123, 160]. В России были построены экспериментальные участки дорог и аэродромов (в Пензенской области дорожное полотно «Городище–Никольск» протяженностью 8 км с использованием резиновой крошки) [140]. На первом этапе экспериментально построенные участки дорог характеризовались достаточно высокими показателями, но в дальнейшем покрытия разуплотнялись и разрушались. Наблюдалось «выкрашивание» резинового порошка из состава асфальтовых покрытий, который в практически неизменном виде разносился ветром, загрязняя окрестности [160, 166].

Незначительное применение в производстве нашел «сухой» метод изготовления асфальтобетонов для нижних слоев и слоев оснований, где проблема разуплотнения и «выкрашивания» резиновой крошки решалась за счет перекрытия верхними плотными слоями. В литых асфальтобетонных смесях «сухое» введение резинового гранулята также оказалось возможным без явных отрицательных последствий [160]. В свою очередь, при «мокроем» способе модификации, основанном на разложении и девулканизации резины в битумах при воздействии повышенных температур, происходит выброс токсичных веществ, содержащихся в резине, а новообразования в виде жидких низкомолекулярных каучуковых фрагментов пластифицируют битум и снижают адгезию вяжущего, понижая сдвиговые показатели асфальтобетона и его водостойкость. Мелкодисперсная сажа из резины, попадая в битум, становится источником центров кристаллизации, резко понижает стабильность вяжущих, устойчивость к старению, что приводит к деградации свойств [124]. Введение в битумы различными способами высокодисперсного резинового гранулята с сильно развитой модифицированной поверхностью также не оправдало себя. Использование таких высокоактивных добавок существенно изменяет привычные приемы обращения с вяжущими на основе битума, резко сокращает их срок хранения.

В нашей стране исследования по введению резиновой крошки в многочисленные битумоминеральные смеси и дорожный битум проводились Н.В.Горелышевым, А.И.Лысихиной, Г.К.Сюньи, И.М.Руденской, Б.М.Слепой и многими другими. Использование резиновой крошки в асфальтобетонных смесях повышает долговечность покрытий, улучшает их фракционные свойства, что позволяет снизить расход высокопрочного трудношлифуемого щебня, уменьшить вероятность появления вторичных трещин на поверхности дорожного покрытия. Утверждается, что максимальная крупность резинового гранулята должна быть не более 1 мм, а наибольшая плотность составов асфальтобетона обеспечивается при крупности частиц резиновой крошки не более 0,63 мм. Оптимальное содержание резиновой крошки в дорожном битуме составляет 5-7 % по массе [139].

Последующий анализ опыта применения резинового порошка в асфальтобетонных смесях свидетельствует о неудовлетворительных физико-механических показателях, недостаточной адгезии вяжущего по сравнению со смесями, изготовленными в соответствии с нормами ГОСТ 9128 (без содержания резиновой крошки). Все это приводит к затруднениям при укладке и самопроизвольному разуплотнению и разрушению уложенных верхних слоев покрытий [173].

Кроме асфальтобетонных покрытий, рассмотрен ряд других направлений применения резиновой крошки и порошка. Так, предприятиями «Ponar Zywiec» (Польша), «Trendelkamp Technologie» (Германия), ООО

«Термопласт» (Россия) используется порошковая резина с размерами частиц менее 0,1 мм с целью частичной замены ПВХ, различных добавок в полимерных смесях, при производстве термопласт-гранулятов и duroпластов [143]. Кроме того, резиновый гранулят с размерами частиц от 0,2 до 0,45 мм используется в качестве добавки в резиновые смеси (5–20 %) при изготовлении новых автомобильных покрышек, тракторных шин и других резинотехнических изделий (Ярославский шинный завод, Омский шинный завод, Michelin и др.). Применение резинового гранулята с высокоразвитой удельной поверхностью частиц (2500–3500 см²/г), получаемого при механической переработке резинотехнических изделий, повышает стойкость шин к значительным изгибающим воздействиям и ударам, в результате увеличивается срок их эксплуатации [34].

Резиновая крошка с размерами частиц до 0,8 мм используется в качестве добавки при изготовлении резиновой и резиносодержащей обуви (до 30–50 %) и других резинотехнических изделий. При этом свойства таких материалов, полученных с использованием вторичных резин (прочность, деформируемость), практически не отличаются от свойств обычной резины, изготовленной из сырых каучуков [2, 95].

В ОАО «Чеховский регенератный завод» на основе РК с размерами гранул от 2 до 12 мм производятся массивные резиновые плиты для оснастки железнодорожных и трамвайных переездов, отличающиеся длительной эксплуатацией, пониженным уровнем шума, хорошей атмосферостойкостью и современным дизайном. На Тушинском заводе налажено производство жестких панелей из резиновой крошки, изготавливаемых при температурах более 150 °С и давлении до 40 МПа.

Эффективность направления переработки шин и других резинотехнических изделий, ее стратегическая перспективность заключаются не только в снижении накапливающихся объемов изношенных шин, но и в обеспечении подготовки к очередной смене парадигмы первой четверти XXI века, требующей осуществлять производство продукции из возобновляемого ресурса, а не из исчезающего природного углеводородного сырья.

На сегодняшний день предприятия по переработке автошин выпускают в основном материалоемкие напольные покрытия (ООО РегионЭкология-М (г.Саранск), ООО «Эко-Стэп» (г.Тольятти) и др.) с использованием большого количества дорогостоящего полиуретанового связующего (содержание более 15 %). Рентабельность данных предприятий оказывается низкой в связи с высокой себестоимостью конечного продукта [66, 75]. Это приводит к необходимости проведения исследований в области создания эффективных и востребованных строительных материалов на основе резиновой крошки.

Так, огромные темпы строительства в России и за рубежом требуют постоянного развития отрасли производства кровельных материалов. За

последнее десятилетие значительно расширилось количество качественных рулонных и штучных битумно-полимерных и полимерных кровельных материалов [7, 8, 42, 125, 195, 199]. Срок службы таких кровель составляет не менее 20 лет. Использование данных высокоэффективных материалов с повышенными физико-техническими свойствами обеспечивает существенное снижение трудоемкости при устройстве кровель и гидроизоляции.

В нашей стране исследованию различных кровель из рулонных и штучных полимерных, битумных и битумно-полимерных материалов посвящены работы таких выдающихся ученых, как Рыбьева И.А., Поваляева М.И., Владычина А.С., Белевича В.Б., Зельмановича Я.И., Шульженко Ю.П., Бородина В.Н., Воронина А.М. и др. [71, 115, 134, 186, 188, 189].

Одной из проблем, имеющей важнейшее народнохозяйственное значение, является проблема использования при производстве современных эффективных кровельных материалов техногенных отходов [48, 204, 208]. Применение РК в производстве кровельных материалов известно. Резиновые порошки (диаметр до 1,0 мм) используются для изготовления композиционных кровельных материалов, вулканизированных и невулканизированных рулонных гидроизоляционных материалов. Проводились экспериментальные работы в направлении повышения физико-механических и эксплуатационных характеристик рубероида путем добавки резиновой крошки в состав кровельного битума [187, 202]. В России эксплуатируется ряд покрытий, изготовленных с использованием резиновой крошки; это рулонные материалы – изол, бризол. В их состав входят битум, резиновая крошка, асбест и пластификаторы [153]. С середины 80-х годов прошлого века в СССР резиновая крошка достаточно широко использовалась при производстве рулонных материалов на основе полиэтилена [116]. К новым рулонным материалам отечественного производства, полученным с применением резинового гранулята и полиэтилена, относятся безосновные материалы – резинопласты: КИ-1 производства ООО «Эко-Изол-Технологии»; Р-Пласт производства ООО «Трансакция» и др. В их составе используется около 30 % по массе резиновой крошки [102, 131–133].

Оценка возможности применения в качестве армирующих элементов металлокорда. Армирование бетона стальными волокнами производилось в начале прошлого века [100, 108, 111, 113]. Дисперсное армирование позволяет значительно снизить главные недостатки всех видов бетонов – низкую прочность на растяжение и растяжение при изгибе, хрупкость разрушения, уменьшить ползучесть и усадку [9, 25, 145, 146, 149, 150].

При всех приведенных достоинствах по-прежнему важнейшим фактором низкой востребованности фибробетона в строительстве является его высокая исходная цена по сравнению с бетоном или железобетоном. Кроме того, ограниченность и локализация производства тонкой промышленной

фибры в нашей стране увеличивают ее стоимость, что приводит к удорожанию сталефибробетона и отказу от его применения [11, 209]. При этом не учитывается тот факт, что фибробетон обеспечивает экономический эффект за счет более высокой долговечности, эксплуатационной стойкости, увеличения межремонтного ресурса и повышения безопасности сооружений при пожарах и сейсмических воздействиях [12, 13, 40, 170]. В связи с этим актуальной является замена дорогостоящей стальной фибры на отходы промышленности [46, 49]. Необходимо учитывать, что эффективность применения техногенных отходов в качестве армирующих элементов фибробетона зависит от многих факторов: содержания волокон и расстояния между отдельными фибрами, а также соотношения модулей упругости армирующих волокон и бетона [83]. При $E_b/E_6 < 1$ повышаются ударная прочность и сопротивление материала на истираемость. При отношении $E_b/E_6 > 1$ возможно получение фибробетонов с повышенными прочностью на растяжение и трещиностойкостью [158, 164, 194]. Еще одной важной характеристикой является величина сцепления фибр с бетонной матрицей. Для увеличения сцепления рекомендуется использовать фибру периодического профиля с рельефной и деформированной (волнообразной) поверхностью; квадратного или прямоугольного сечения; с переменным по длине сечением, переходящим от прямоугольной к круглой форме, а также гнутые фибры, фибры с отгибами на концах, с различного рода анкерами и т.д.

В табл. 1.4 приведены структурообразующие системы сталефибробетона, обеспечивающие высокие критериальные показатели дисперсно-армированных бетонов [46].

В качестве вторичного сырья для изготовления фибровой арматуры ряд авторов предлагают использовать канаты и тросы, отработавшие свой ресурс на различных грузоподъемных машинах и механизмах [49, 182]. Данная технология является трудоемкой, требующей ряда технологических операций: рубки канатов и тросов на отрезки (пучки) требуемой длины; освобождения от органического сердечника; удаления смазки и расщепления пучков на отдельные волокна. Так, например, по данным авторов, удаление смазки производилось промывкой в емкостях с растворителем или сухим горячим воздухом под давлением [182]. В отдельных случаях (в канатах с высокопрочной проволокой) удаление органического сердечника и смазки с поверхностей витков осуществлялось методом отжига или нагрева электрическим током до 800 °С. Расщепление пучков канатов и тросов на отдельные волокна производилось в роторных и щековых дробилках [46]. Все эти операции привели к значительному удорожанию конечной продукции.

Т а б л и ц а 1 . 4

Структурообразующие системы сталефибробетона и параметры для их оценки

Структурообразующие системы		Параметры оценки структурообразующих компонентов и элементов	
Компоненты	Элементы		
Фиброкаркас	Отрезки стальных волокон		Геометрический фактор, l/d
			Объемная доля волокон в фиброкаркасе
			Диаметр стальных волокон
		Межфибровое расстояние, размеры ячеек фиброкаркаса	
		Размеры дисперсных частиц	
Матрица	Бетонная смесь	Зерна, тонкодисперсные частицы ферромагнитного наполнителя	
		Цемент, песок, наполнитель	
	Бетон	Жидкая и газообразная фазы	Вода с пластифицирующей добавкой
		Твердая фаза	Цементный камень, армирующие элементы, зерна заполнителя и наполнителя
		Жидкая и газообразная фазы	Поры геля, контрационные и капиллярные
Поверхность раздела между структурными компонентами	Контактная зона между поверхностями раздела	Цементный камень — стальные волокна	
		Цементный камень – зерна заполнителя и наполнителя	
		Сцепление волокон с цементным камнем	
		-	

Белорусским металлургическим заводом (БМЗ) организовано производство микрофибры, изготавливаемой на основе резаного на короткие волокна (12 мм) металлокорда [11]. Бетоны с такой фиброй характеризуются высокими физико-механическими характеристиками [88]. Замена промышленно изготавливаемых металлических волокон на техногенные отходы – металлокорд после механической переработки изношенных автошин – позволит значительно снизить стоимость фибры, а также эффективно утилизировать продукты переработки изношенных автошин.

Анализ отечественной и зарубежной литературы показал, что исследования в области использования металлокорда до настоящего времени не проводились. Перерабатывающие предприятия ограничиваются сдачей металлокорда на металлолом. Вопрос возможности и целесообразности применения металлокорда в качестве армирующих элементов для изготовления сталефибробетона и изделий из него должен решаться исходя из условий обеспечения следующих технико-экономических требований:

- качественные показатели металлокорда должны быть не ниже показателей промышленно изготавливаемой фибры;
- критические значения геометрических размеров стальных волокон (металлокорда) должны обеспечивать равнопрочность фибры на разрыв и выдергивание;
- геометрические размеры фибры из металлокорда должны соответствовать технологическим режимам ее ввода в мелкозернистую бетонную смесь при изготовлении сталефибробетона;
- стоимость фибры, изготовленной из металлокорда, должна быть ниже стоимости промышленной фибры;
- объем отхода для изготовления фибры из металлокорда должен обеспечивать требуемый объем для промышленного производства сталефибробетона и изделий из него в пределах региона.

В последние годы экономически эффективным является строительство из сталефибробетона промышленных полов. При этом снижаются материало- и трудоёмкость строительства, стоимость строительства, повышаются качество, эксплуатационная надёжность и увеличивается межремонтный ресурс напольных конструкций. В мире построены миллионы квадратных метров фибробетонных промышленных полов, и только несколько тысяч – в России.

Оценка возможности применения в бетонных композитах отсевов камнедробления. Как было показано ранее, в качестве минерального компонента комплексных органоминеральных добавок дисперсно-армированных бетонов могут быть использованы отсеvy камнедробления добычи нерудных каменных материалов, в.т.ч. месторождений Пензенской области [80, 84, 91, 114].

Фракционированные отсеvy камнедробления в основном используются в качестве щебня для изготовления вибропрессованных мелкоштучных изделий на зарубежных «Hess», «Besser» и отечественных «Рифей» установках, которые способны переработать свыше 4,5 млн тонн высокопрочного щебня из отсеvов камнедробления. Однако большинство мелкоштучных изделий, получаемых на таких установках, изготовлено, как правило, с использованием очень мелких, а в лучшем случае, средних строительных песков с неудовлетворительными показателями гранулометрического состава, что малоэффективно вследствие значительного увеличения расхода портландцемента. По данным авторов [105], средняя цена реализации 1 м³ нефракционированных отсеvов Питкармянским карьероуправлением составляет 25 руб. Для увеличения рентабельности карьеру необходимо отсеивать тонкозернистую фракцию и назначить отпускную цену мелкозернистого фракционированного щебня. Производство мелкозернистого фракционированного щебня фр. 3-5 мм и измельченных наполнителей (каменной муки) может организовать любой регион, не имеющий собственных месторождений прочных каменных пород, используя привозные отсеvy камнедробления. Например, при разработке стратегии развития строительного комплекса в Пензенской области в программу развития включено строительство цеха по производству мелкозернистого щебня и каменной муки [80].

На основании масштабов образования и накопления отходов, анализа возможности их применения при производстве эффективных материалов, в настоящей работе из всего многообразия отходов рассмотрены отходы горнодобывающего и автотранспортного комплексов, в частности продукты переработки изношенных шин и отходы добычи нерудных каменных материалов месторождений Пензенской области. В качестве эффективных строительных материалов, изготовленных с использованием указанных отходов, рассмотрены напольные и кровельные резинотехнические изделия и дисперсно-армированные бетоны различного назначения.

Глава 2. ХАРАКТЕРИСТИКА И ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ИСПОЛЬЗУЕМОГО ОБОРУДОВАНИЯ И МАТЕРИАЛОВ

2.1. Оборудование по переработке изношенных автомобильных шин

С целью установления требований к продуктам переработки изношенных автомобильных шин и выявления возможности их рециклинга в производстве строительных материалах на основании анализа результатов статистических исследований выявлены наиболее популярные шины (табл. 2.1), используемые в РФ [76, 135].

Т а б л и ц а 2 . 1

Статистические исследования использования автомобильных шин в РФ

Наименование шины, завод-изготовитель	Количество шин, используемых на автомобилях (результаты опроса), %
Белшина (Белорусский шинный завод БШК)	16–18
Кама (Нижнекамский шинный завод)	12–14
Michelin	9–11
Goodyear	8–9
Rossava (Белая церковь, БЦ)	6–8
Яршина (Ярославский шинный завод)	6–8
Bridgestone	8–9
Pirelli	6–8
Continental	5–7
Nordman	5–7
Фортио	3–5
Barum	2–3
другие	19–20
Итого:	100

Анализ рынка автомобильных шин в России свидетельствует о преимущественном применении шин иностранных производителей, характеризующихся повышенным качеством используемого для их изготовления сырья [76].

В настоящее время существует ряд технологий переработки отходов резинотехнических изделий и использованных автомобильных шин, различающихся методом получения крошки: криогенный; высокоскоростного реза; упругодеформационный. Перечисленные методы измельчения различаются температурными режимами и характером воздействия на материал, что, в свою очередь, обуславливает различия в свойствах получаемой крошки [3, 5, 152, 156, 167]. В результате этого резиновые гранулы,

полученные разными способами механической переработки, различаются формой, удельной поверхностью, дисперсионным составом и степенью окисленности поверхности [2, 10, 26, 95, 99, 106, 110].

В настоящей работе для получения и дальнейшего комплексного анализа продуктов переработки изношенных автомобильных шин использован упругодеформационный способ измельчения старой резины. Данный метод переработки реализован на установке КПШ-1 (ОАО «Пензмаш», г. Пенза) (рис. 2.1).

а



б

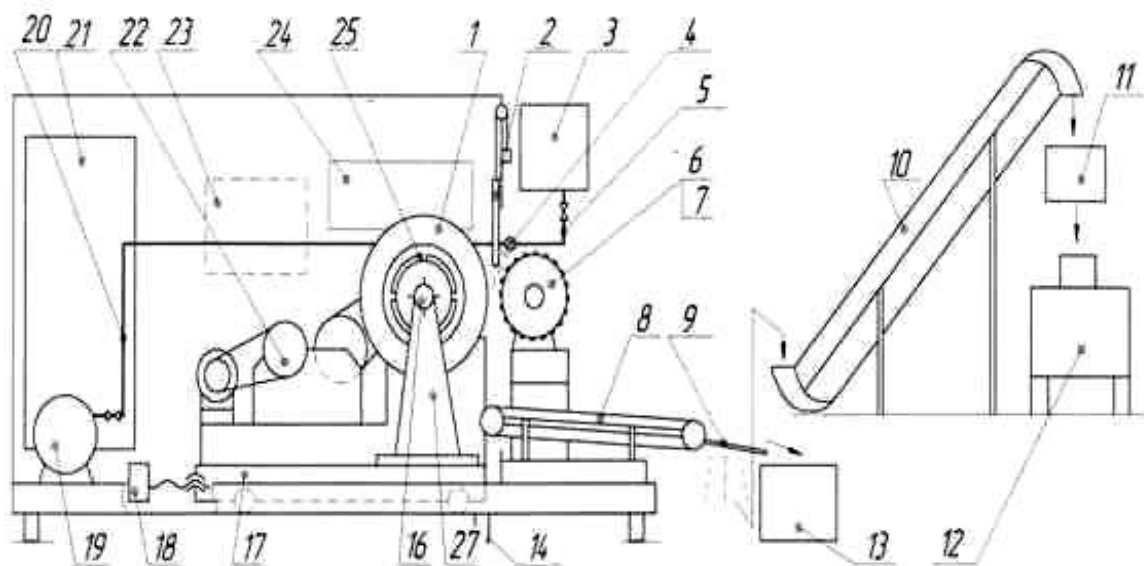


Рис. 2.1. Линия по переработке изношенных автомобильных шин КПШ-1:

а – внешний вид камеры измельчения шин; б – схема устройства:

- 1 – пакет автошин; 2 – шторка; 3 – бак для воды; 4 – труба системы охлаждения;
- 5 – шланг подачи воды; 6 – главный электродвигатель; 7 – фреза;
- 8 – транспортер; 9 – прутковая решетка; 10 – нория; 11 – магнитный сепаратор;
- 12 – просеиватель; 13 – емкость для металлокорда; 14 – опора; 16 – откидная гайка; 17 – каретка; 18 – привод ускоренного перемещения каретки;
- 19 – компрессор; 20 – труба подачи воздуха; 21 – шкаф электрооборудования;
- 22 – привод вращения шин; 23 – пульт управления; 24 – окно; 25 – оправка;
- 27 – подвижная опора

Процесс переработки автошин заключается в следующем. Пакет автошин (1) закрепляется в опорке (2) камеры с помощью зажима. Измельчение автомобильных шин производится вращательным движением фрезы (8), при этом продукты переработки по транспортеру (9) перемещаются на прутковую решетку вибратора (27), совершающую колебательные движения с помощью механизма экстринцикового типа. Куски металлического корда, перемещаясь по решетке (рис. 2.2а), попадают в емкость для сбора металлокорда (10), а резиновый порошок с оставшимися включениями мелких частиц металлического корда просыпается сквозь решетку и далее попадает на ленту транспортера (9). Резиновый гранулят, движущийся на ленте транспортера, проходит под ленточным магнитным транспортером (14), осуществляющим съем ферромагнитных частиц, подается норией (13) (рис. 2.2 б) на сито просеивателя, где автоматически происходит разделение его на фракции (рис. 2.3а).

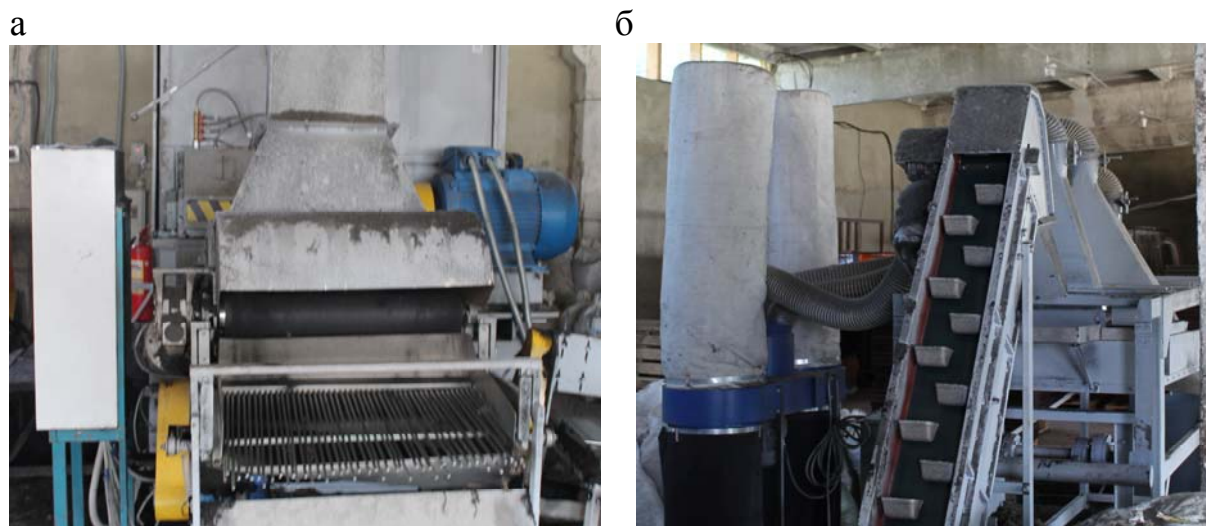


Рис. 2.2. Оборудование по переработке изношенных автомобильных шин КПШ-1: а – решетка вибратора для отделения текстиля и крупных включений из общей массы продуктов переработки; б – механизм подачи резиновой крошки для последующего разделения по фракциям

Отделение примесей текстиля осуществляется с помощью пневматического пылеуловителя, входной патрубком которого расположен над ситами просеивателя (рис. 2.3б). Сита в количестве шести штук обеспечивают получение резиновой крошки следующих фракций: 0–0,5 мм; 0,5–1,2 мм; 1,2–2,2 мм; 2,2–3,2 мм; 3,2–4,2 мм (рис. 2.3а). Последняя фракция свыше 4 мм подвергается доработке с помощью дробилки (5...8 %).

а



б



Рис. 2.3. Линия по переработке изношенных автомобильных шин КППШ-1:
а – сита просеивателя; б – пылеуловитель с системой сит

Данная установка позволяет получать свыше 300 кг/ч резиновой крошки различной фракции, 100 кг/ч высококачественного металлокорда и текстильного корда (рис. 2.4).

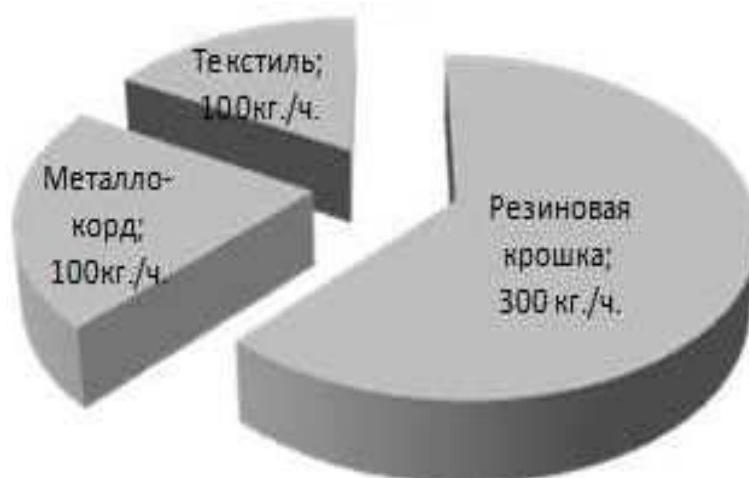


Рис. 2.4. Продукты переработки изношенных шин

Резиновую гибкую черепицу изготавливали путем смешивания резиновой крошки различной фракции со связующим и модифицирующими добавками с последующим термическим «сшиванием» под действием давления.

Прессование образцов проводилось на гидравлическом прессе горячего формования ГПГФ-1 (рис. 2.5).

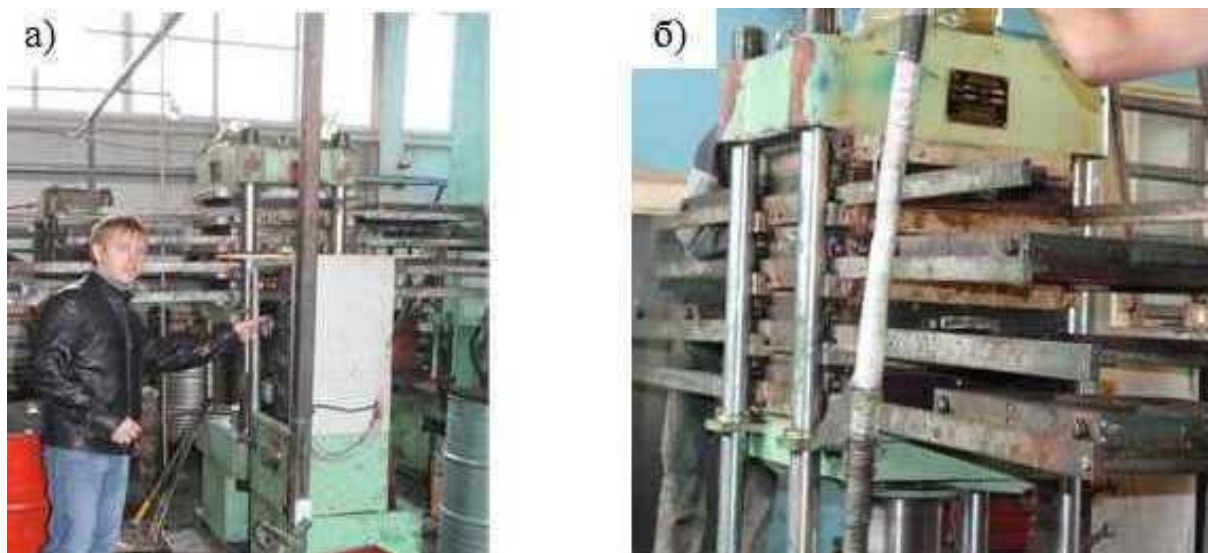


Рис. 2.5. Пресс горячего формования ГПГФ-1:
а – общий вид; б – вид рабочей зоны

Основные технические параметры гидравлического пресса горячего формования ГПГФ-1 представлены в табл. 2.2.

Т а б л и ц а 2 . 2

Общие характеристики гидравлического пресса горячего формования

Наименование показателя	Единица измерения	Значение
Сила давления (max)	МПа	24
Размер пресс-формы	мм	500×1000
Рабочих поверхностей	уровень	4
Установленная мощность (средняя)	кВт	23 (9)
Температура нагрева (max)	°С	200

Пресс горячего формования состоит из четырех уровней (платформ), имеет приборы контроля температуры для каждой из платформ, а также таймер для установки времени формования. Давление задается с помощью электроконтактного манометра. При достижении заданного давления происходит отключение насоса гидравлики и начинается отсчет времени. Для данного пресса были разработаны пресс-формы, позволяющие изготавливать образцы с габаритными размерами 1000×500 мм и толщиной 4 мм.

2.2. Характеристика исходных материалов

Изучались отходы автотранспортных средств (резиновая крошка и металлокорд – продукты переработки автомобильных шин), измельченные отходы камнедробления нерудных каменных материалов, измельченные кварцевые пески. Указанные отходы рекомендуется использовать как в качестве основных сырьевых, так и модифицирующих компонентов при разработке составов строительных материалов на их основе.

Для изготовления резиновых напольных покрытий и резиновой гибкой черепицы применяли следующие материалы:

- резиновую крошку, полученную механическим измельчением изношенных автошин, ГОСТ 8407-89 (рис. 2.6);
- полиуретановое связующее АТК-3М (TOP-UR-90E-PVC), изготовленное по ТУ 2252-002-98997491-2007;
- антипирен гексаборат бария ММБ-008, эффективный безгалогенный антипирен для резин и большинства термопластов;
- диоксид титана марки Р-203 (табл. 2.3).

При проведении исследований использовалась резиновая крошка (РК), полученная механическим методом переработки и сохранившая в своей основе молекулярную структуру, а также эластомерные свойства исходного материала. По степени вулканизации применяемая РК относится к мягкой (1-3 % серы) [138, 152], плотность достигает 1130 кг/м^3 . Удельная поверхность частиц резинового гранулята размером менее 1 мм при механическом измельчении автошин шин составляет $120\text{--}150 \text{ м}^2/\text{кг}$.



Рис. 2.6. Внешний вид резиновой крошки

Химический состав резиновой крошки из переработанных изношенных шин определялся на базе аккредитованного ИЛЦ ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии» в Пензенской области (табл. 2.3).

Т а б л и ц а 2 . 3

Химический состав резиновой крошки из изношенных шин

Показатели	Содержание, %
Ацетоновый экстракт	12,4
Зола	5,1
Технический углерод	33,3
Содержание полимера	49,2

Для «сшивания» резиновой крошки применялись близкие по химическому составу компоненты – **полиуретаны**. Изучение полиуретановых связующих показало, что не все они являются эластомерами горячего отверждения. Только там, где присутствуют реакции взаимодействия с аминами, полиуретаны приобретают свойства эластомеров, имеют высокую степень безопасности, поскольку в них не содержится толуилendiизоцианата (ТДИ). Технические характеристики клея представлены в табл. 2.4.

Т а б л и ц а 2 . 4

Характеристика полиуретанового связующего

Наименование показателя	Ед. изм.	Полиуретановое связующее АТК-3М
Внешний вид при температуре 20 °С	-	Однородная прозрачная бесцветная или беловатая вязкая жидкость
Содержание нелетучих веществ	%	100
Вязкость по ВЗ-6/100 динамическая при температуре 70 °С	Па	0,6 – 0,9
Отверждения при 20°С и относительной влажности воздуха 65 %	час	24
Плотность	кг/м ³	1230–1260

Для повышения пожаробезопасности в состав полиуретанового связующего вводился **антипирен** борат бария – эффективный безгалогенный антипирен для резин и большинства термопластов. Характеристики используемого антипирена представлены в табл. 2.5.

Т а б л и ц а 2.5

Характеристика антипирена гексабората бария МББ-008

Наименование показателя	Ед. изм.	Величина
Формула	—	$\text{BaO} \cdot 3\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
Содержание частиц размером ≤ 25 мкм	%	99–98
Массовая доля борного ангидрида (B_2O_3)	%	46,5–52
Массовая доля оксида бария (BaO)	%	34–40,5
H_2O (кристаллическая)	%	15–18
рН водной вытяжки	—	8,0–9,5
Массовая доля воды и летучих веществ, не более	%	5,0
Веществ, нерастворимых в HCl , не более	%	0,3
Остаток на сите №0045	%	0,06–2 (не более 0,3)
Средний размер частиц	мкм	3–5
Плотность	кг/м ³	2100–2180
Насыпная плотность	кг/м ³	650–750

С целью обеспечения эксплуатационных показателей и придания оригинального и эстетичного вида кровли на поверхности черепицы устраивается гранулярное покрытие из крошки – отсеков камнедробления нерудных каменных материалов фр. 0,14–0,63 мм (гравий, щебень, гранитная и мраморная крошка, кварцевый песок и т.д.). Таким образом, комплексное использование техногенных отходов при получении отечественной гибкой черепицы достигается за счет применения в качестве основного сырьевого компонента порошковой резины – продукта переработки автомобильных шин и отсеков камнедробления нерудных каменных материалов при устройстве гранулярного покрытия. Данные отходы имеются практически в каждом регионе РФ.

Разнообразие цветовой гаммы достигалось введением пигментов различного цвета, в частности диоксида титана и оксида хрома.

Т а б л и ц а 2.6

Характеристика используемого пигмента

Наименование показателя	Ед. изм.	Величина
1	2	3
Плотность	кг/м ³	3450–3520
Массовая доля титана диоксида, %, не менее	%	93
Массовая доля рутильной формы, %, не менее	%	96
Массовая доля веществ, растворимых в воде, %, не более	%	0,2
Массовая доля летучих веществ, %, не более	%	0,5
рН водной суспензии	—	6,5–8,0

Окончание табл. 2.6

1	2	3
Остаток на сите с сеткой 0045, % не более	%	0,01
Разбеливающая способность, условные единицы, не менее	–	1850
Укрывистость, не более	г/м ²	26
Диспергируемость, не более	мкм	15
Белизна, условные единицы, не менее	–	94

Для приготовления сталефибробетона различного функционального назначения и проведения экспериментальных исследований использовались следующие материалы:

- промышленный портландцемент марки ПЦ500-Д0-Н (ГОСТ 10178-85) (ОАО «Вольскцемент», г.Вольск). Химико-минералогический состав клинкера для производств портландцемента ПЦ500-ДО нормального минералогического состава по ГОСТ: C_3S ; C_2S ; C_3A ; C_4AF , %: 64,0; 14,0; 3,8; 16,0. Химический состав в %: SiO_2 – 21,69; Fe_2O_3 – 5,13; CaO – 65,41; MgO – 1,13; SO_3 – 0,50; Na_2O – 0,22; K_2O_3 – 0,62; R_2O – 0,63. Удельная эффективная активность естественных радионуклидов 56,2 Бк/кг. Физико-механические характеристики цемента установлены в соответствии с ГОСТ 10178-85 и представлены в табл. 2.7.

Таблица 2.7

Физико-механические характеристики используемого цемента

Завод изготовитель	Марка цемента	$S_{уд}$, м ² /кг	НГ, %	Равномерность изменения объёма	Средняя активность в возрасте 1 суток
ОАО «Вольскцемент»	ПЦ500-Д0	312	23,4	выдержал	48,2

Мелким заполнителем являлся песок карьера Песчанка, Ртищевского р-на, Саратовской области. Технические характеристики песка, установленные в соответствии с ГОСТ 8736-93, представлены в табл. 2.8.

В соответствии с ГОСТ 8736-93 используемый песок по содержанию пылевидных и глинистых частиц относится к 1 классу, а по крупности – к группе песков «средний».

Т а б л и ц а 2 . 8

Технические характеристики песка

Наименование показателей	Ед. измерений	Фактическое значение
Истинная плотность	кг/м ³	2590
Модуль крупности		2,5
Полный остаток на сите №063	%	36,5
Содержание зёрен крупностью, мм: >10	% по массе	0,15
5–10		0,5
<0,16		0,6
Содержание пылевидных и глинистых частиц	% по массе	0,5
Содержание органических примесей	Проба должна быть светлее эталона	Светлее эталона
Удельная эффективная активность естественных радионуклидов ($A_{эфф}$)	Бк/кг	29

В качестве крупного заполнителя применялся габбро-диаритовый щебень М1400, фр. 5-10 (ГОСТ 8267-97). Основные показатели габбро-диаритового щебня представлены в табл. 2.9.

Т а б л и ц а 2 . 9

Технические характеристики щебня

Наименование показателей	Ед. изм.	Габбро-диаритовый щебень фр. 5-10
Истинная плотность	кг/м ³	2740
Насыпная плотность	кг/м ³	1390
Марка щебня по дробимости	—	1400
Содержание зёрен:		
– пластинчатой и игловатой формы	%	0,97
– пылевидных илистых и глинистых частиц	%	0
– вредных компонентов (SO ₃)	%	0,5
Марка щебня по морозостойкости	цикл	300
Водопоглощение	%	0,32
Удельная эффективная активность радионуклидов	Бк/кг	184

В качестве металлических волокон применялись: тонкая промышленная стальная фибра $d=0,2-1,0$ мм, $l=12$ мм, ТУ ВУ 400074854.628-2009 (ОАО «Белорусский металлургический завод»); волновая стальная фибра $d=0,3-1,0$ мм, $l=12$ мм, Wavy FiBer ООО «Профит-М»; металлокорд, представляющий собой латунированную проволоку, получаемую путем переработки изношенных автомобильных шин $d=0,2-1,0$ мм, $l=8-12$ мм (рис. 2.7).



Рис. 2.7. Металлокорд. Внешний вид

Модифицирование бетонных смесей осуществлялось комплексными добавками (КОМД), сочетающими в своем составе индивидуальные добавки различного функционального назначения. Модифицирование проводилось на двух уровнях: микроуровне (уровень цементного камня) и макроуровне (уровень бетона) [161]. Введение в бетон металлокорда позволяет эффективно армировать его на макроуровне, но для более качественного использования волокон необходимо упрочнить матрицу бетона на микроуровне, для этого в бетонную смесь совместно с цементом вводились комплексные органоминеральные модификаторы. В качестве водоредуцирующей органической составляющей КОМД использовались: суперпластификатор – отечественная добавка С-3 на основе нафталинсульфо-кислоты и формальдегида, представляющая собой полианионные поверхностно-активные вещества, состоящие из СНФ – сульфонафталинформальдегида; гиперсуперпластификатор Sika ViscoCrete-20 GOLD (Германии), позволяющий снизить водопотребность более чем на 30 %. Действие пластификаторов типа Sika ViscoCrete-20 GOLD основано на совокупности электростатического и стерического эффектов; последний достигается благодаря боковым гидрофобным полиэфирным цепям молекул поликарбонилатного эфира. За счет этого водоредуцирующее действие данных

видов суперпластификаторов значительно по сравнению с обычными добавками. В зависимости от условий синтеза могут быть получены поликарбоксилаты с различными длинами боковых полиэфирных цепочек. Это позволяет создавать материалы с разным соотношением стерического эффекта и анионной активности [21, 23].

Минеральным компонентом вводимых органоминеральных модификаторов являлись реакционно-активные наполнители на основе техногенных отходов, образующихся в Пензенской области в процессе добычи природных каменных песчаников, а также тонкие местные строительные пески (месторождение с.Ухтинка, Пензенской области), получаемые измельчением частиц до удельной поверхности $S_{уд.} = 300\text{--}400 \text{ м}^2/\text{кг}$. В качестве сравнения использовался промышленно изготавливаемый микрокварц Люберецкого горнодобывающего завода. В табл. 2.10 представлены характеристики тонкодисперсных минеральных наполнителей.

Т а б л и ц а 2 . 1 0

Характеристика тонкодисперсных минеральных наполнителей

Наименование наполнителя	Плотность, кг/м ³	Удельная поверхность, м ² /кг	Водопоглощение, % (по массе)
Песчаник Саловского месторождения	2520	412,6	2,8–3,0
Песок строительный месторождение с.Ухтинка	2650	408,4	6,6–7,3
Микрокварц (Люберецкий горнодобывающий завод)	2610	400,8	2,4–2,98

Усредненный химический состав отдельных месторождений строительного камня и песка представлен следующими оксидами (в %): SiO₂ – 97,30–99,42; Al₂O₃ – 0,10–0,95; Fe₂O₃ – 0,46–0,80; CaO – 0,14–0,70; MgO – до 0,40; Na₂O+K₂O – 0,13–0,33; SO₃ – 0,019; R₂O₃ – 0,9–1,45; п.п.п. – 0,34–0,54.

Удельная поверхность исходных компонентов определялась с помощью дисперсионного анализатора ПСХ-10, предназначенного для измерения удельной поверхности и среднего размера частиц порошков строительных материалов. Прибор дисперсионного анализа обеспечивает определение газопроницаемости слоя порошка по продолжительности фильтрации через него воздуха при фиксированном начальном и конечном разрежении в рабочем объёме прибора. Расчет удельной поверхности и среднего размера частиц по удельному весу (плотность) материала порошка производился в автоматическом режиме.

Строительные пески месторождений Пензенской области в основном относятся к мелкозернистым пескам с низким модулем крупности 1,5–1,8.

Фракционный состав песка, используемый в качестве минерального компонента КОМД, представлен в табл. 2.11.

Т а б л и ц а 2 . 1 1

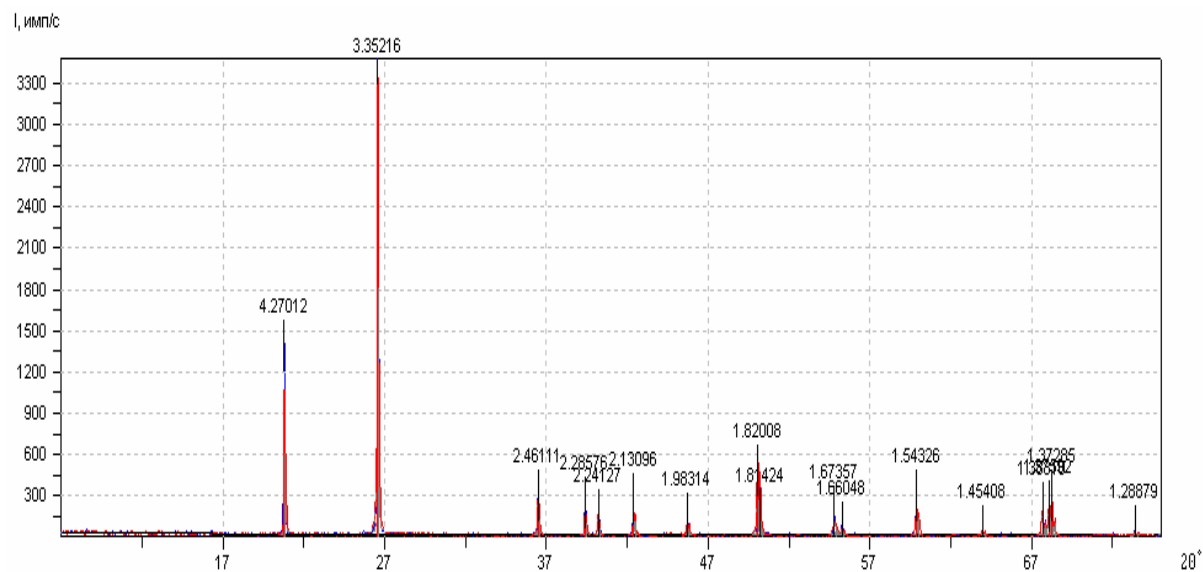
Фракционный состав песка, используемого в качестве минерального компонента КОМД

Диаметр ячеек, мм	%, масс	Диаметр ячеек, мм	%, масс
0-0,16	2,6	1,25-2,5	4,2
0,16-0,315	17,9	2,5-5,0	1,05
0,315-0,63	61,4	>5	0,21
0,63-1,25	11,1	-	-

Как видно из табл. 2.11, в исследуемом песке преобладают частицы размером 0,315–0,63, массовая доля которых в общей массе песка составляет 61,4 %. Доля частиц размером менее 0,16 мм невелика и составляет всего лишь 2,6 %. По содержанию пылевидных и глинистых частиц строительный песок относится к первому классу, а по крупности – к группе песков «мелкий».

Для определения изменений в составе цементных композиций и обнаружения новых фаз, образующихся в результате воздействия модифицирующих добавок на процессы структурообразования исследуемых образцов, использовался дифрактометр обого назначения «Дрон-7» в интервале брегговских углов 2θ 4-64°. Запись дифрактограмм производилась в следующих режимах рентгеновской трубки БСВ-27 (Cu – анод, Ni – фильтр): напряжение на трубке 45 mA, диапазон скорости счета 1/100 имп/с, постоянная времени – 1,0 с, скорость вращения счетчика – 1 град/мин, скорость протяжки диаграммной ленты – 720 мм/ч. Измерение межплоскостных расстояний дифрактограмм проводилось с помощью специальной линейки-шаблона, а расшифровка – с использованием рентгенометрической картотеки ASTM и справочных данных. Фазовый состав строительного песка месторождения Пензенской области и промышленно изготавливаемого микрокварца представлен на рис. 2.8.

а



б

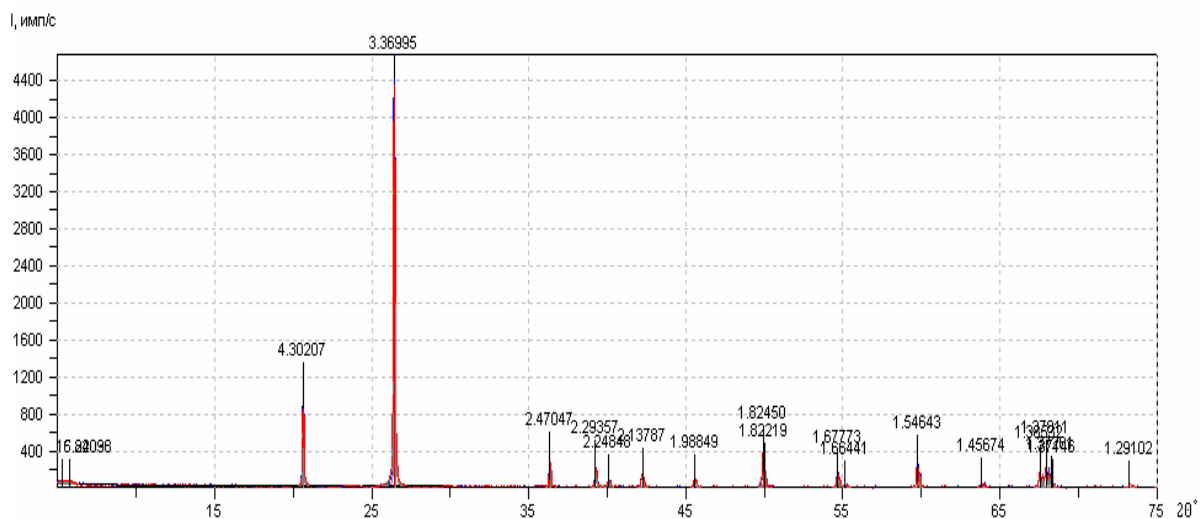


Рис. 2.8. Рентгенофазовый состав:
а – строительный песок; б – микрокварц

Минералогический состав строительного песка и микрокварца, исходя из результатов рентгеноструктурного анализа, в основном представлен кварцем. В строительном песке обнаружено незначительное содержание карбоната кальция, слюды и полевого шпата.

Глава 3. СТРОИТЕЛЬНАЯ ГИБКАЯ ЧЕРЕПИЦА НА ОСНОВЕ РЕЗИНОВОЙ КРОШКИ, ПРОДУКТА МЕХАНИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ИЗНОШЕННЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ШИН

3.1. Выбор и обоснование методов переработки

3.1.1. Исследование морфологии поверхности резиновой крошки в зависимости от методов механической переработки

Для получения композиционных материалов с использованием резиновой крошки часто применяются высокодисперсные наполнители с различными размерами частиц [47, 48, 163]. Авторы при производстве гибкой черепицы использовали резиновую крошку диаметром 0,5–3,2 мм, полученную механическим методом измельчения. Максимальный диаметр крошки соизмерим с толщиной разрабатываемой гибкой черепицы.

Разработка технологии получения кровельной черепицы производилась в несколько этапов. На первом этапе оценивались качественные и количественные характеристики применяемой резиновой крошки (РК), влияние методов переработки на прочностные показатели резинополимера. Для сравнительной оценки влияния методов переработки использовался рассеянный по фракциям резиновый гранулят, полученный такими методами механической переработки, как высокоскоростной рез, криогенный и упругодеформационный способы переработки.

Физико-механические и эксплуатационные свойства разрабатываемой резиновой гибкой черепицы оценивались в соответствии с действующими стандартами, а также по методикам, описанным в литературных источниках. Подготовка образцов проводилась с учетом ГОСТ 28588.1–90.

Упругопрочностные свойства при растяжении материала определялись в соответствии с ГОСТ 270-75 (СТ СЭВ 2594–80). Настоящий стандарт распространяется на резину и устанавливает метод определения упругопрочностных свойств при растяжении по показателям: прочность при растяжении и относительное удлинение при разрыве. Сущность метода заключается в растяжении образцов с постоянной скоростью до разрыва и измерении усилия в момент разрыва при заданных удлинениях. Испытание образцов проводилось на разрывной машине UP 5057-50 (ИР-50) в соответствии с ГОСТ 14236-81 и ГОСТ 28840-90.

Для оценки качества морфологических особенностей поверхности исследуемой резиновой крошки использовался лабораторный микроскоп LK 595 с цифровой камерой Scopetek DCM 130. Характеристикой морфологии поверхности частиц всех исследуемых видов крошки является удельная поверхность $S_{уд}$. Выявлено, что для РК, полученной упругодеформационным и криогенным способами измельчения изношенных автошин с увеличением размера гранул от 0,2 до 1 мм, наблюдается не-

значительное уменьшение удельных поверхностей. Удельная поверхность гранулята, полученного упругодеформационным способом, превышает аналогичные показатели для РК, образованной криогенным измельчением, на 50,1–59,3 %.

На рис. 3.1 приведены фотографии различных фракций РК, полученной различными способами переработки. Так, резиновая крошка, полученная упругодеформационным способом измельчения, имеет сильно развитую – «распушенную» – поверхность, не зависящую от размера гранул. Криогенная крошка состоит из частиц правильной (стеклообразной) формы с гранями, имеющими гладкую поверхность, характерную для всех исследуемых фракций. Изменение формы при изменении размера наблюдается для частиц РК, полученных при высокоскоростном измельчении изношенной шины. Крупные частицы фр. 2,2–4,2 мм имеют гладкую поверхность и идентичны поверхности РК, полученной криогенным способом измельчения того же диаметра. Мелкие частицы РК фр. 0,1–1,2 мм обладают сильно развитой поверхностью и идентичны поверхности РК, полученной упругодеформационным способом измельчения.

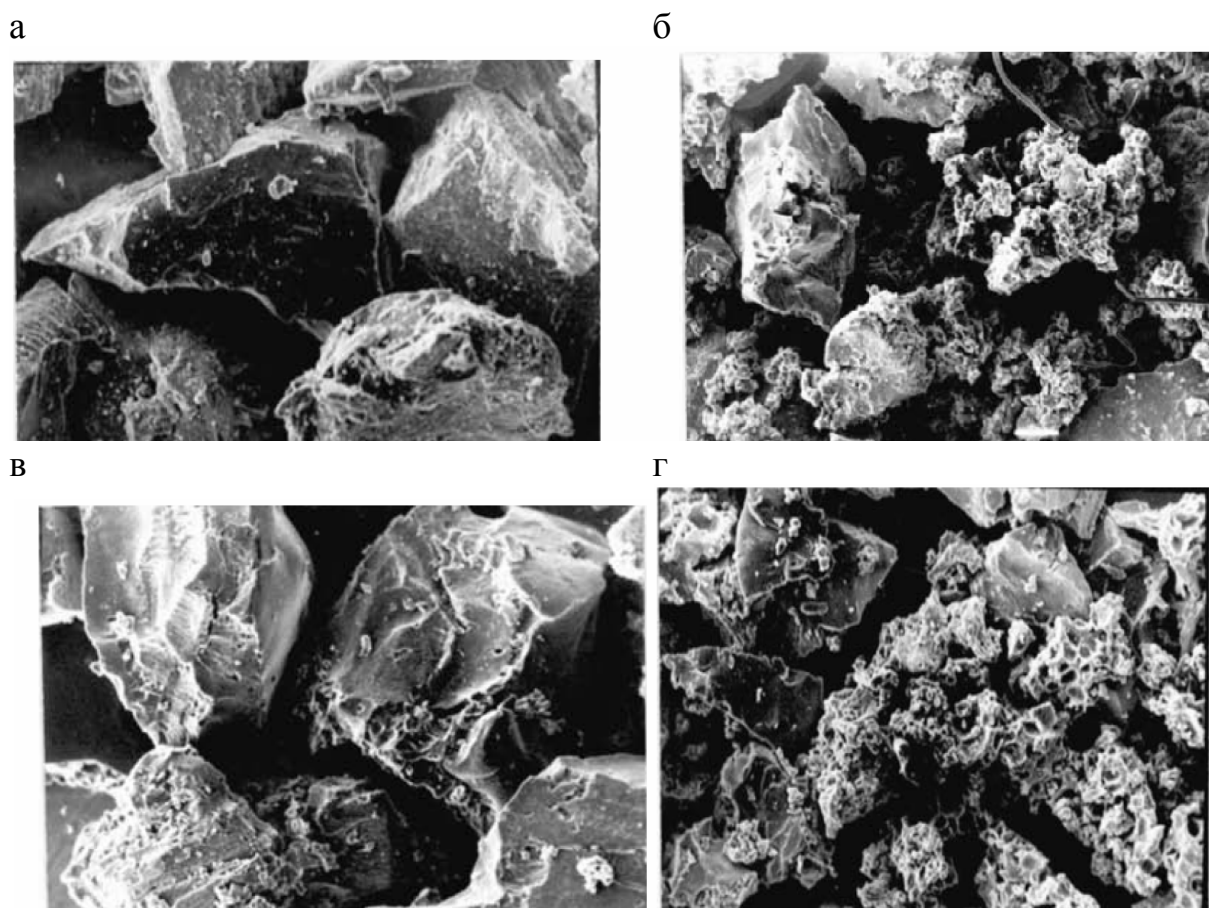


Рис. 3.1. Резиновая крошка, полученная различными способами измельчения изношенных автошин:

а – криогенным, фр. 1,2–3,2; б – упругодеформационным, фр. 1,2–3,2;
в – высокоскоростным измельчением, фр. 1,2–3,2; г – высокоскоростным
измельчением фр. 0–0,63 мм

Морфология поверхности частиц резиновой крошки, полученной различными способами, определяет прочностные характеристики резинополимера, а также количество связующего компонента, необходимого для «сшивки» резинового порошка.

На рис. 3.2 представлена зависимость прочностных свойств образцов резинополимера, содержащего 90 % резиновой крошки, полученной различными методами измельчения автомобильных шин.

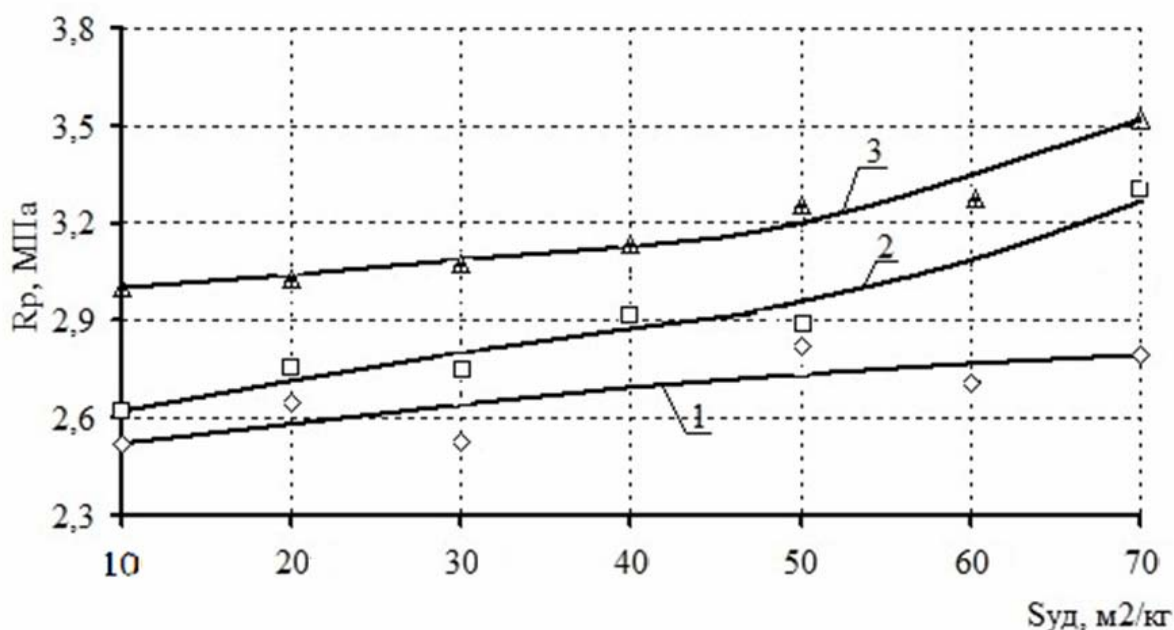


Рис. 3.2. Изменение прочности при разрыве образцов резинополимера в зависимости от способа получения резиновой крошки:
1 – криогенное измельчение; 2 – способ высокоскоростного измельчения;
3 – уругодеформационное измельчение

Как следует из рис. 3.2, при возрастании удельной поверхности дисперсного наполнителя, независимо от способа переработки изношенных автошин, наблюдается закономерный рост прочности образцов резинополимера. Следует отметить, что при одинаковом значении удельной поверхности частиц наполнителя прочностные показатели резинополимера на основе крошки, полученной высокоскоростным резанием шин, превышают аналогичные показатели резинополимеров на основе крошки, полученной криогенным способом измельчения шин, на 10–14 %. Прочностные показатели резинополимеров на основе крошки, полученной уругодеформационным методом, превосходят прочность резинополимера криогенного способа измельчения на 6–9 %. Таким образом, морфология поверхности частиц резиновой крошки, полученной различными методами переработки автошин, при одинаковой удельной поверхности влияет на изменение прочностных характеристик резинополимеров. Присутствие гладких поверхностей, характерных в основном для крошки, полученной криогенным

методом измельчения, и в меньшей степени для крошки, полученной упругодеформационным способом переработки изношенных автошин, приводит к образованию значительных перенапряжений матрицы на границе раздела фаз «полимер–резина», по сравнению с композитами, изготовленными на основе частиц с развернутой поверхностью граней. В результате, в связи с увеличением количества опасных дефектов, происходит ускоренное разрушение образцов кровельного материала при деформировании.

Наиболее эффективным видится упругодеформационный метод переработки, позволяющий получить крошку с развитой поверхностью. Качественные характеристики резиновой крошки, полученной вышеуказанным методом на установке КПШ-1, представлены в табл. 3.1.

Т а б л и ц а 3 . 1

Качественные характеристики резиновой крошки

Наименование показателя	Вид резиновой крошки				
	РК-0	РК-1	РК-2	РК-3	РК-4
Фракционный состав РК, мм	0-0,5	0,5-1,2	1,2-2,2	2,2-3,2	3,2-4,2
Содержание воды, %, не более	1,2	1,1	1,0	1,0	0,9
Присутствие частиц чёрных металлов (после магнитной сепарации), %, не более	0,1	0,3	0,4	0,4	0,6
Содержание остатков кордного волокна (вискозного и капронового), %, не более	0,4	0,8	1,2	1,2	1,5
Насыпная плотность, кг/м ³	410,0	405,0	403,0	395,0	390,0
Истинная плотность, кг/м ³	1120	1120	1110	1120	1120

Показатели дисперсного состава резиновой крошки зависят от следующих факторов: вида изношенных автомобильных шин, производительности установки, частоты вращения фрезы (об/мин). При увеличении частоты вращения возрастает количество более мелкой фракции. Однако при этом ухудшается качество, кроме того, сокращается срок службы фрезы: происходит затупление зубьев, появляются сколы, что негативно влияет на качество и количество конечной продукции.

Для выявления оптимальных технологических параметров производства резиновой крошки проводилось математическое планирование эксперимента с последующей обработкой данных на ПК. Исследовались колеса российского производства диаметром не более 1200 мм. В качестве варьируемых переменных приняты:

x_1 – частота вращения фрезы, об/мин;

x_2 – продолжительность службы фрезы, мес.

Для определения функциональной зависимости типа

$$y = f(x_1; x_2)$$

использовано ортогональное центральное композиционное планирование эксперимента с варьированием каждой независимой переменной на трех уровнях.

В качестве ядра планирования принят полный факторный план типа 2^k , где $k=2$ – число независимых переменных. При этом число опытов n определялось из выражения

$$n = 2k + 2k + 1 = 9.$$

В табл. 3.2 представлена матрица планирования в кодовом и натуральном выражениях. В качестве параметра оптимизации принята максимальная производительность установки по переработке шин S (т/год) с учетом количества образуемого брака.

Данная матрица пригодна для построения модели в виде полинома второй степени вида :

$$y = A_0 + A_1 n + A_2 t + A_3 n^2 + A_4 t^2 + A_5 nt, \quad (3.1)$$

где $A_0, \dots, A_5$ – коэффициенты уравнения регрессии.

Т а б л и ц а 3 . 2

Матрица планирования эксперимента

№п/п	Наименование переменных				Выходные параметры	
	в кодовом выражении		в натуральном выражении		Производительность S , т/год	Кол-во бракованной продукции, т/год
	x_1	x_2	Частота вращения n , об/мин	Срок эксплуатации фрезы T , мес.		
1	-1	-1	2000	4	389,2	16,6
2	-1	0	2000	6	369,9	22,1
3	-1	1	2000	8	332,2	49,3
4	0	-1	3000	4	438,8	14,8
5	0	0	3000	6	409,1	20,4
6	0	1	3000	8	376,5	32,1
7	1	-1	4000	4	441,2	43,5
8	1	0	4000	6	406,4	78,1
9	1	1	4000	8	373,5	152,6

Расчет коэффициентов уравнения регрессии $y = f(x_1; x_2)$ и их статистический анализ проводились на ПК.

После обработки экспериментальных данных на ПК получена математическая модель изменения производительности в зависимости от частоты вращения фрезы и времени ее использования вида:

$$S = 406,21 + 20,04n - 26,458t - 25,2n^2.$$

Приемлемость полученных уравнений подтверждена проверкой гипотезы адекватности по критерию Фишера:

$$F = \frac{S_y^2}{S_{\text{ост}}^2}, \quad (3.2)$$

где S_y^2 – дисперсия адекватности, характеризующая неточность «подгонки» уравнения к экспериментальным данным;

$S_{\text{ост}}^2$ – остаточная дисперсия, характеризующая неточность эксперимента.

$$S_{\text{ост}}^2 = \frac{1}{n-1} \cdot \sum (y_i - \bar{y})^2; \quad (3.3)$$

$$S_y^2 = \frac{1}{n-k-1} \cdot \sum (y_i - \hat{y}_i)^2, \quad (3.4)$$

где n – число опытов,

k – число переменных.

Модель принимается, если расчетное значение критерия Фишера не превышает табличного значения $F_p \leq F_m$ при заданном уровне значимости. Проверка уравнения по критерию Фишера подтвердила его адекватность.

Проведенные экспериментальные исследования и полученное уравнение регрессии позволяют дать количественную и качественную оценку влияния каждого изучаемого фактора, а также их совокупности на производительность установки КПШ-1. На рис. 3.3 представлена графическая интерпретация предложенной модели.

Наиболее производительными являются режимы №4 и №7, выход крошки при которых составляет 438,8 и 441,2 т/год соответственно. Однако отмечено, что при работе установки в режиме №4 на единицу продукции приходится не более 3,4 % брака, в то время как в режиме №7 количество брака достигает 9,9 %. Следовательно, с технико-экономической точки зрения наиболее выгодными режимами переработки являются режимы №5 и №8, производительность которых уступает рассмотренным выше режимам, но при этом срок службы фрезы составляет 6 месяцев, что позволяет в значительной степени снизить издержки производства.

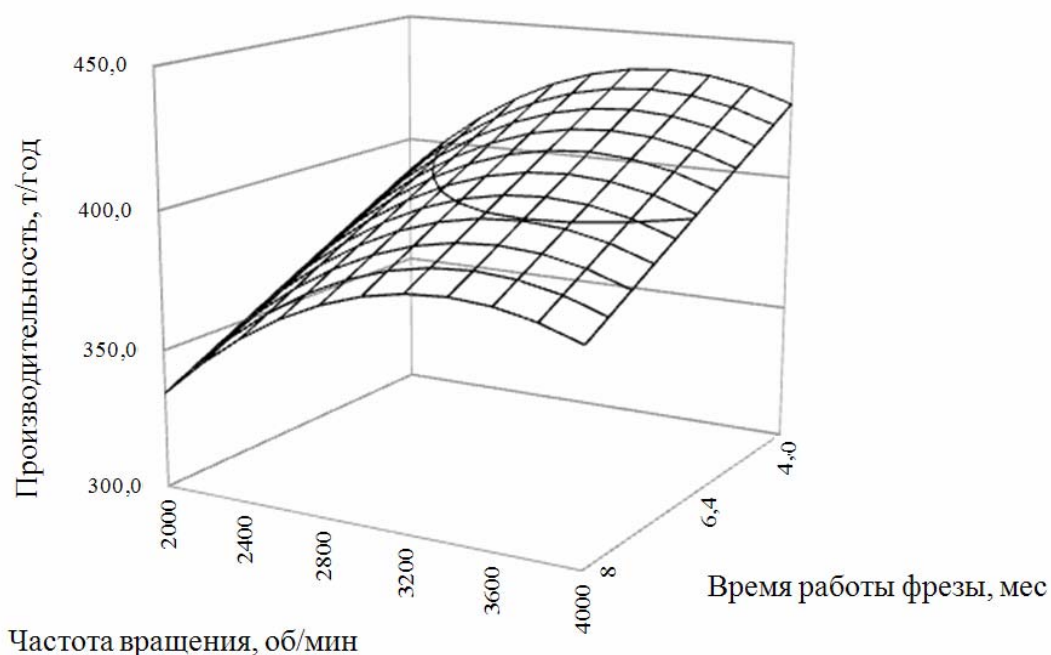


Рис. 3.3. Производительность установки КПШ-1 в зависимости от частоты вращения фрезы и срока ее эксплуатации

Таким образом, оптимальным режимом переработки изношенных автошин на установке КПШ-1, исходя из наилучших технико-экономических показателей, является режим с частотой вращения фрезы 3200–3300 об/мин, при котором производительность установки достигает 404,1 т/год, количество брака при этом составляет 4,9 % на единицу продукции.

Дисперсионный состав РК, полученный при данном режиме переработки, определяли методом автоматического рассева с использованием различных сит в соответствии с ГОСТ 3826–82* (рис. 3.4).

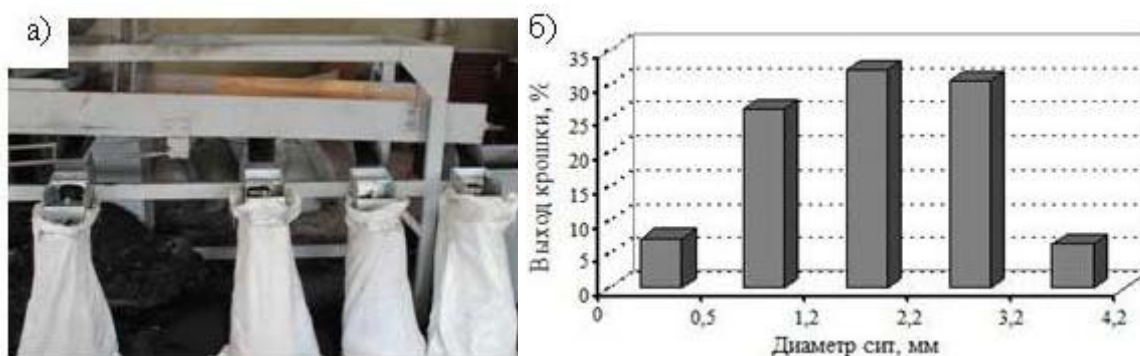


Рис. 3.4. Рассев РК по фракциям:
а – система сит на установке КПШ-1; б – выход резиновой крошки

3.1.2. Подбор оптимального гранулометрического состава резиновой крошки

На втором этапе исследований определялся оптимальный фракционный состав крошки. С этой целью были изготовлены опытные образцы резиновой гибкой черепицы (резинополимера) с использованием резинового гранулята, получаемого упругодеформационным методом переработки на установке КПШ-1. Образцы изготавливались при постоянном давлении 12 МПа и температуре 120 °С.

Расход материалов на 1 м² резинополимера составил: резиновая крошка различной фракции насыпной плотностью $\rho=395 \text{ кг/м}^3$ – 4,56 кг; пигмент (диоксид титана плотностью 3950 кг/м³) – 0,05 кг, дозировка полиуретанового связующего АТК-3М (TOP-UR-90E-PVC) – 0,461 кг (10 % от массы сухой смеси).

На рис. 3.5 представлено изменение прочности при разрыве резинополимеров в зависимости от диаметра используемой резиновой крошки.

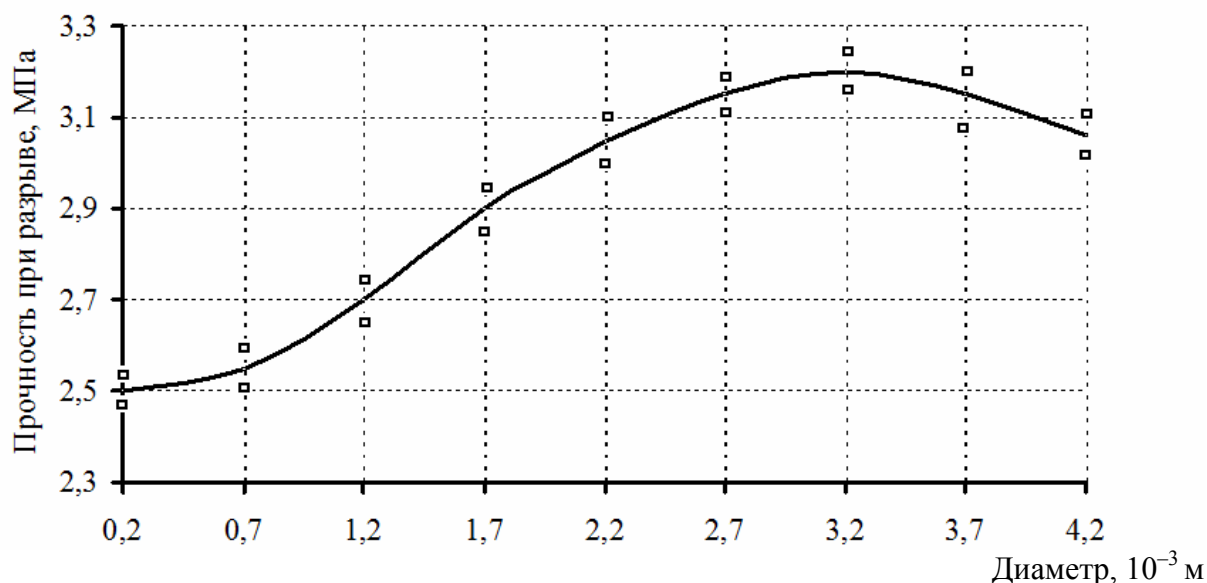


Рис.3.5. Влияние диаметра крошки на прочность при разрыве резинополимера

Как следует из рис. 3.5, с увеличением диаметра резиновой крошки прочность при разрыве образцов резинополимера возрастает. Максимальная прочность 3,1–3,22 МПа обеспечивается при использовании резиновой крошки фракции 2,2–3,2 мм. Выявлено, что образцы, изготовленные из крошки с малым диаметром (0,2–1,2 мм), имеют низкую прочность, не превышающую 2,7 МПа. Это, вероятно, связано с тем, что крошка малых диаметров, полученная упругодеформационным способом, имеет сильно развитую поверхность, в связи с чем для улучшения реологических характеристик смеси требуется значительно большее количество связующего, чем для смеси, полученной с использованием крошки диаметром 2,2–3,2 мм. В процессе прессования крошки малого диаметра площадь контактных зон

при соприкосновении поверхностей значительно выше, при этом наблюдается неравномерное «сшивание» композита по объему, что и определяет относительно низкие показатели прочности. Кроме того, в такой крошке содержится повышенное количество пыли, ухудшающей краевой угол смачивания ее поверхности, а это, в свою очередь, снижает реологические характеристики смеси.

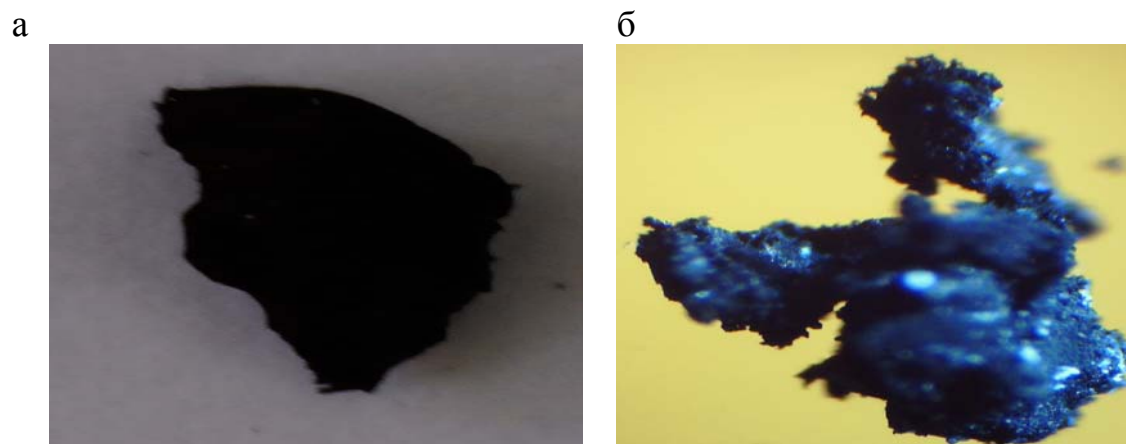


Рис. 3.6. Внешний вид крошки:
а – диаметром 0–0,5 мм; б – то же 2,2–3,2 мм

С целью определения наиболее оптимального гранулометрического состава и повышения технико-экономических показателей разрабатываемого кровельного материала в ходе исследований были изготовлены и изучены составы, приведенные в табл. 3.3. Фракционный состав крошки для изготовления образцов резинопolyмеров подбирался в зависимости от режимов переработки изношенных автошин, обеспечения наибольшей плотности и процентного выхода крошки различной фракции после механической переработки на установке КПП-1. Образцы изготавливались при постоянном давлении 12 МПа и температуре 120 °С. На рис. 3.7 представлены наиболее оптимальные составы резинопolyмеров.

Таблица 3.3

Гранулометрический состав образцов резиновой гибкой черепицы

№состава	Содержание резиновой крошки, %			
	0–1,2	1,2–2,2	2,2–3,2	3,2–4,2
1	2	3	4	5
1	25	25	25	25
2	6	44	45	5
3	10	35	35	20
4	17	17	33	33
5	50	-	25	25
6	-	50	50	-

Окончание табл. 3.3

1	2	3	4	5
7	22	35	35	8
8	50	50	-	-
9	-	-	50	50
10	50	25	25	-
11	50	-	-	50
12	33	33	17	17

Примечание. Фракционный состав крошки приведен в соответствии с набором сит установки КПШ-1.

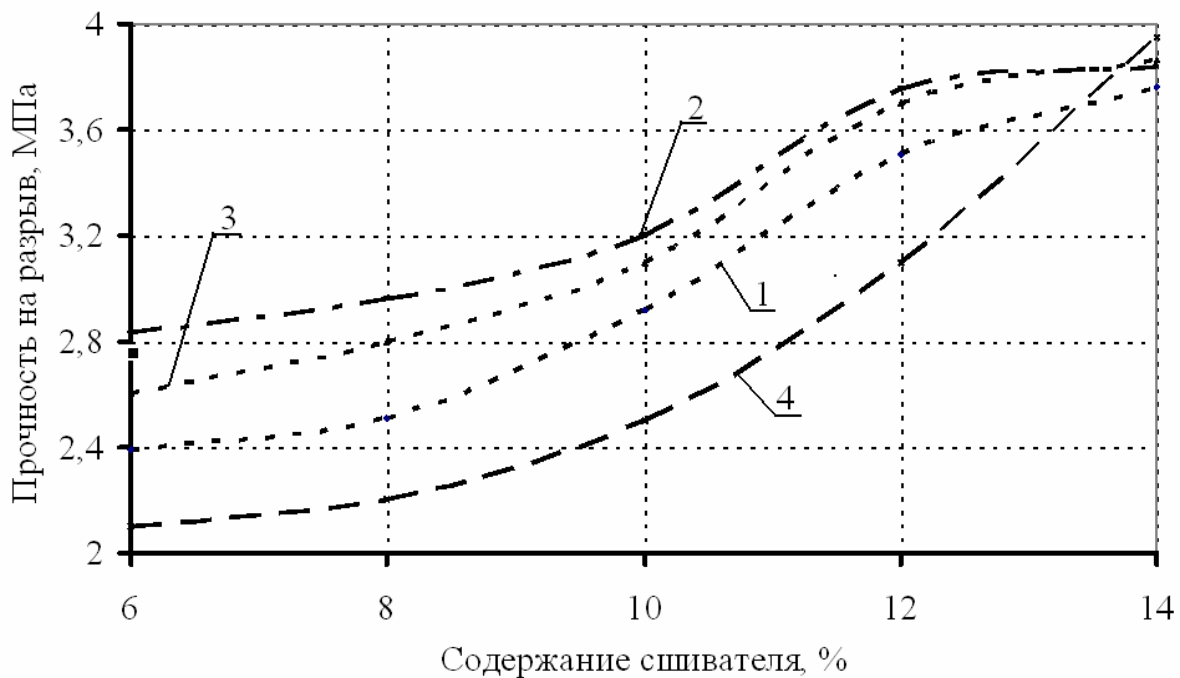


Рис. 3.7. Влияние гранулометрического состава и концентрации связующего на прочность резинопolyмеров:
1 – состав №5; 2 – состав №6; 3 – состав №7; 4 – состав №8

Выявлено, что с увеличением процентного содержания полиуретанового связующего прочность всех исследуемых образцов повышается. Максимальной прочностью (рис. 3.7) обладают образцы составов №6 и №7, это обусловлено использованием крупной крошки, требующей для сшивки минимального количества связующего (8–10 %). Образцы №5 и №8 изготовлены с применением мелкодисперсной крошки фр.0– 1,2 мм, что при малом количестве связующего (менее 10 %) делает их более «бедными» и не позволяет набрать высокую прочность. С увеличением содержания связующего свыше 12 % набор прочности отмечен у всех образцов. Так, с увеличением количества полиуретана с 8 до 10 % прочность составов №6 и №8 повышается соответственно на 14,3 и 29,5 %. По

данным авторов, требуемая прочность кровельных материалов на основе резины, полимеров и т.д. должна составлять не менее 3 МПа [175]. Таким образом, все исследуемые составы, при различном содержании связующего (10–14 %), удовлетворяют данному критерию. Однако образцам, изготовленным из составов №5 и №8, для обеспечения заданного условия требуется свыше 12 % полиуретанового связующего, что приводит к увеличению стоимости конечной продукции и необходимости снижения содержания данного материала. Образцы №6 и №7 показали близкие прочностные характеристики при одинаковом содержании сшивателя (10–12 %). В отличие от состава №7, образцы состава №6 характеризуются значительно худшими показателями однородности, что обусловлено использованием для их приготовления резиновой крошки фр. 0–1,2 мм.

Фракционный состав резиновой крошки оказывает незначительное влияние на прочностные и деформационные характеристики материала, но позволяет уменьшить процентное содержание связующего и снизить себестоимость конечной продукции. Наиболее экономичным с точки зрения процентного содержания крошки различной фракции является состав №7. Прочность данного состава при содержании сшивателя 9–11 % соответствует характеристикам, предъявляемым европейским стандартом качества EN 544 по классу 1 к резинобитумным кровлям (Kerabit, Ruflex и др.). Несмотря на присутствие крупной фракции резиновой крошки (до 4,0 мм) в составе изготавливаемого резинополимера, можно получать кровельные материалы, соизмеримые по толщине с используемой крошкой.

3.2. Определение технологических параметров формования гибкой черепицы на основе резиновой крошки

На заключительном – третьем – этапе методом математического планирования эксперимента выявлено влияние переменных рецептурно-технологических факторов на изменение прочности и относительного удлинения при разрыве резинополимеров.

Процесс получения резинополимера включал два этапа. На первом этапе перемешивались сухие компоненты до однородного состояния. На втором этапе в приготовленную таким образом смесь при непрерывном перемешивании вводилось необходимое количество связующего. Такая технология позволила исключить коагуляцию и обеспечить необходимую однородность смеси.

В качестве переменных факторов приняты давление прессования P – x_1 , температура T – x_2 и дозировки полиуретанового связующего D – x_3 . Выбор температуры формования матрицы резинополимера определялся исходя из температуры начала полимеризации связующего и температуры начала деградации резиновой крошки. По термогравиметрической кривой резиново-

го гранулята установлено, что разрушение и потеря эластических свойств крошки, связанные с термическим окислением материала, начинаются при температуре не менее 158 °С. Нижняя граница смешения компонентов ограничивалась минимальной температурой начала активного действия используемого «сшивателя», а верхняя граница – температурой начала деструкции резиновой крошки. Таким образом, температурный режим изготовления резинополимера на основе полиуретанового связующего и резиновой крошки составил 80-160 °С.

Расход материалов на 1 м² резинополимера составил (при толщине 4 мм): резиновая крошка фр.0–4,2, полученная методом упрягодеформационного измельчения, насыпной плотностью $\rho=395\text{кг/м}^3$ – 4,56 кг; пигмент (диоксид титана плотностью 3950 кг/м³) – 0,05 кг, дозировка полиуретанового связующего АТК-3М (ТОР-UR-90Е-PVC) – 8, 10, 12 % от массы сухой смеси. Полиуретановое связующее в своем составе содержит антипирен барат бария в количестве 0,3 % по массе.

Для определения функциональной зависимости типа

$$y = f(x_1; x_2; x_3)$$

использовано ортогональное центральное композиционное планирование эксперимента с варьированием каждой независимой переменной на трех уровнях. Пределы изменения факторов и матрица планирования в кодовом и натуральном выражениях представлены в табл. 3.4 и 3.5.

Т а б л и ц а 3 . 4

Пределы варьирования переменных

Варьируемый фактор	Кодовое обозначение	Натуральные значения переменных, соответствующие кодовым		
		-1	0	+1
Давление прессования P , МПа	x_1	10	15	20
Температура смеси при прессовании T , °С	x_2	80	120	160
Дозировка полиуретанового связующего D , %	x_3	8,0	10,0	12,0

Т а б л и ц а 3 . 5

Матрица планирования эксперимента

№ п/п	Наименование переменных										Разрыв- ная проч- ность, МПа	Относи- тельное удли- нение, %
	в кодовом выражении							в натуральном выражении				
	x_0	x_1	x_2	x_3	x^2_1	x^2_2	x^2_3	P , МПа	T , °С	D , %		
1	+1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	10	80	8,0	2,3	66,4
2	+1	+1	-1	-1	+1	+1	+1	20	80	8,0	3,3	62,1
3	+1	-1	+1	-1	+1	+1	+1	10	160	8,0	1,8	49,6
4	+1	+1	+1	-1	-1	+1	+1	20	160	8,0	2,6	46,4
5	+1	-1	-1	+1	+1	+1	+1	10	80	12,0	3,0	79,3
6	+1	+1	-1	+1	+1	+1	+1	20	80	12,0	3,7	76,4
7	+1	-1	+1	+1	+1	+1	+1	10	160	12,0	2,9	68,9
8	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	20	160	12,0	3,4	64,8
9	+1	-1	0	0	+1	0	0	10	120	10,0	2,9	73,5
10	+1	+1	0	0	+1	0	0	20	120	10,0	3,8	70,1
11	+1	0	-1	0	0	+1	0	15	80	10,0	3,3	75,9
12	+1	0	+1	0	0	+1	0	15	160	10,0	2,9	61,2
13	+1	0	0	-1	0	0	+1	15	120	8,0	3,2	61,8
14	+1	0	0	+1	0	0	+1	15	120	12,0	3,9	75,2
15	+1	0	0	0	0	0	0	15	120	10,0	3,6	72,2

П р и м е ч а н и е . Исследованные составы изготавливались с введением красителя в количестве 1 % от массы резиновой крошки.

В качестве выходных параметров были исследованы прочность R_p , МПа, и относительное удлинение при разрыве ϵ , %, резинопolyмера.

После обработки экспериментальных данных получены математические модели изменения прочности и относительного удлинения при разрыве в зависимости от давления, температуры прессования и дозировки полиуретанового связующего.

Прочность при разрыве:

$$R_{\text{раст}} = 3,587 + 0,356x_1 - 0,186x_2 + 0,36067x_3 - 0,2337x_1^2 - 0,4337x_2^2.$$

Относительное удлинение при разрыве:

$$\epsilon = 72,018 - 1,7967x_1 - 6,9567x_2 + 7,7433x_3 - 3,5722x_2^2 - 4,0056x_3^2.$$

Приемлемость полученных уравнений подтверждена проверкой гипотезы адекватности по критерию Фишера. Для прочности: $F_p = 1,56 \leq F_m = 2,25$. Для деформативности: $F_p = 1,14 \leq F_m = 2,3$.

Выполненные исследования позволяют осуществлять выбор технологических параметров изготовления кровельного материала на основе резиновой крошки с учетом требований, предъявляемых европейским стандартом качества EN 544 по классу 1 к резинобитумным кровлям:

➤ давление 15–17 МПа;

- температура прессования 115–125 °С;
- дозировка связующего 8–10 % от массы сухой смеси.

Выявленные параметры позволяют получить материал с наиболее качественными физико-механическими характеристиками. Внешний вид образца имеет целостную монолитную структуру без присутствия неровностей на поверхности и явной седиментации связующего (рис. 3.8). Наблюдаемое снижение прочности и относительного удлинения образцов резиновой гибкой черепицы при высоких температурах (выше 125-140 °С), вероятно, связано с деструктивными процессами, протекающими в эластичном наполнителе – резиновой крошке, т.е. увеличивается содержание на поверхности резинового гранулята – наполнителя гель-фракции, повышающих жесткость черепицы. Золь – фракция резиновой крошки, взаимодействуя в матричном полиуретане, выступает в роли антипластификатора, снижая показатели упрягодеформативных свойств как полиуретановой матрицы, так и материала в целом.

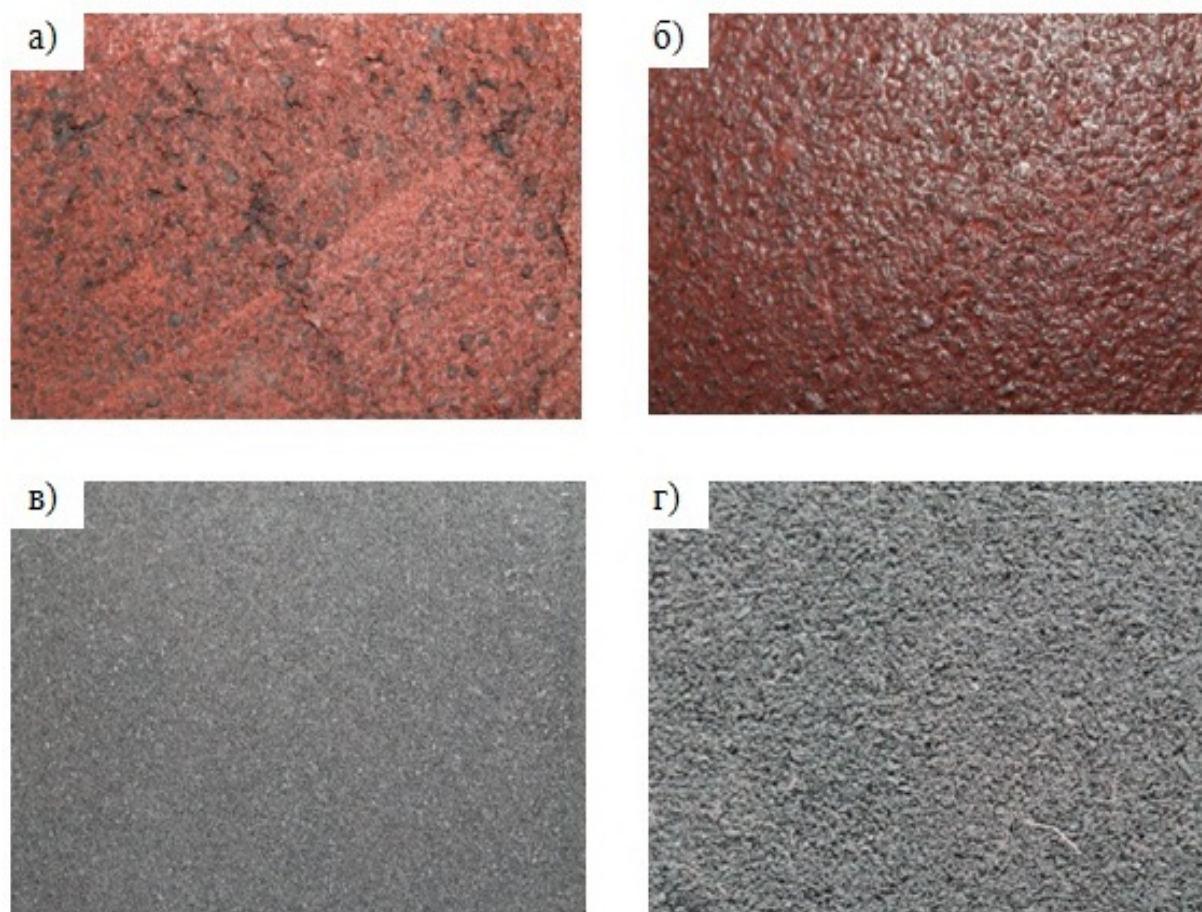


Рис. 3.8. Внешний вид образцов резинополимера:
а – при давлении 5 МПа и концентрации связующего 8 %;
б – то же 5 МПа и 12 %; в – то же 10 МПа и 10 %; г – 5 МПа и 12 %

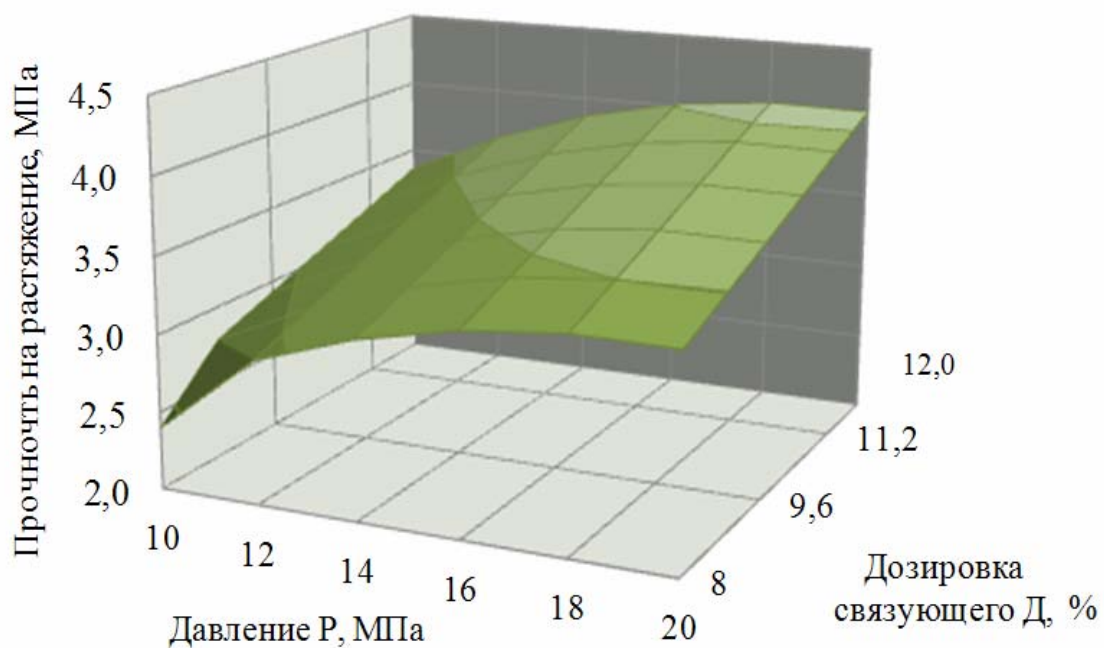


Рис. 3.9. Прочность при разрыве кровельного материала в зависимости от изменения давления прессования и дозировки связующего при постоянной температуре $T=120\text{ }^{\circ}\text{C}$

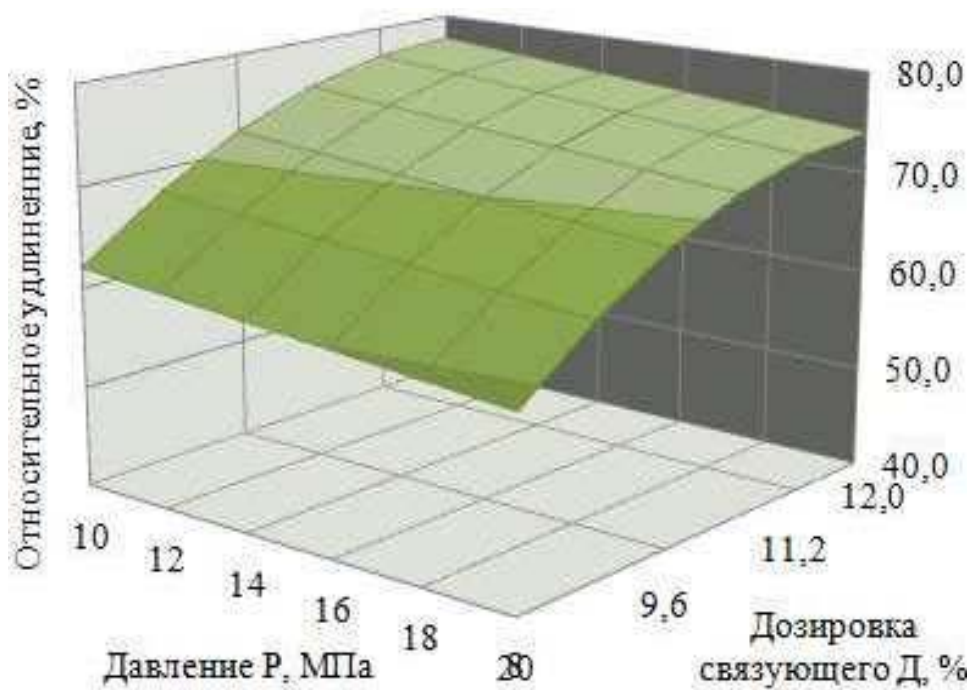


Рис. 3.10. Относительное удлинение при разрыве кровельного материала в зависимости от изменения давления прессования и дозировки связующего при постоянной температуре $T=120\text{ }^{\circ}\text{C}$

Для оценки влияния времени прессования на прочность и относительное удлинение при разрыве резинопolyмеров была приготовлена смесь, аналогичная смеси, изготовленной для определения режимов прессования. Прессование проводили при постоянных температуре 120 °С и давлении 16 МПа, изменяя время нагрева и время выдержки под давлением. Результаты механических испытаний данного материала приведены в табл. 3.6.

Т а б л и ц а 3 . 6

Влияние времени прессования на свойства резинопolyмера

$T_{\text{нагр.}}/t_{\text{выдерж}}$	5/10	7/9	8/8	9/7	10/6	12/4
Прочность R_p , МПа	3,4	3,62	3,71	3,74	3,78	3,61
E_p , %	72,8	74,2	73,1	68,2	63,6	60,2

Исходя из полученных экспериментальных данных определены технологические параметры изготовления кровельной черепицы, обеспечивающие наилучшие показатели прочности (3,9 МПа) и относительного удлинения при разрыве (75,2 %):

давление прессования	15–17 МПа
температура прессования	115–125°С
время нагрева образца	6–8 мин
время выдержки под давлением	4–8 мин
давление при охлаждении	13–17 МПа

Установленные параметры резиновой гибкой черепицы соответствуют требованиям, предъявляемым к резинобитумным кровлям европейским стандартом качества EN 544. Предлагаемый кровельный материал состоит из одного (рис. 3.11а) или двух слоев общей толщиной не более 4 мм (рис. 3.11б). Первый слой занимает прессованная резиновая крошка, имеющая высокие физико-механические характеристики. С целью обеспечения защитно-декоративных свойств на поверхности черепицы устраивается 2-й слой – покрытие из гранул различных фракций и цвета. Материал, используемый для устройства покрытия, – отсеvy камнедробления добычи нерудных каменных материалов, отходы производства декоративных отделочных плит (гранит, щебень, гранитная и мраморная крошка), фракционированные или измельченные кварцевые пески и т.д. Покрытию можно придать обширную цветовую гамму путем применения различных пигментов, любую конфигурацию и размер, что позволяет сочетать разработанный кровельный материал со сложными архитектурными формами.

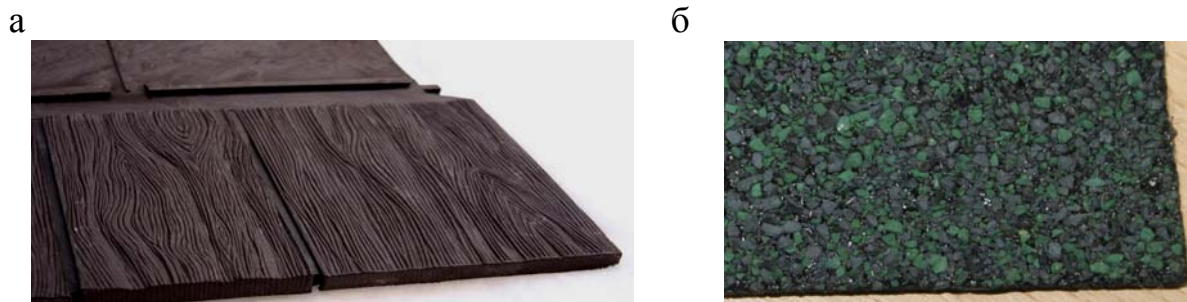


Рис. 3.11. Внешний вид резиновой кровельной черепицы:
а – однослойной; б – двухслойной с посыпкой из гранитной крошки

Таким образом, комплексное использование техногенных отходов при получении отечественной гибкой черепицы достигается за счет применения в качестве основного сырьевого компонента порошковой резины – продукта переработки автомобильных шин и отсеков камнедробления нерудных каменных материалов при устройстве гранулярного покрытия. Данные отходы имеются практически в каждом регионе РФ.

3.3. Эксплуатационные характеристики резиновой гибкой черепицы

Оценка долговечности кровельных материалов базируется на результатах исследования характера и степени изменения исходных физико-механических показателей кровель при комплексном воздействии климатических факторов и агрессивной среды [7, 8, 10, 42, 115, 192].

Согласно данным [115] за основной эксплуатационный показатель, характеризующий работоспособность кровельного ковра из материала на основе полимеров, следует принимать величину упругодеформативных показателей.

Для оценки надежности кровли на основе резинополимера были проведены исследования образцов кровельного материала после ускоренного старения в лабораторных условиях от воздействия различных климатических факторов: ультрафиолетового облучения; нагревания при температуре 80 °С; попеременного замораживания и оттаивания. Циклические воздействия на кровлю замораживания и оттаивания характерны в осенне-зимний и зимне-весенний периоды года. Известно, что для II климатического района (Пензенская область) количество переходов в год через 0 °С составляет 6 и 120 циклов замораживания и оттаивания.

Морозостойкость резиновой гибкой черепицы оценивалась по ГОСТ 2678–94 по ускоренной методике. Через 60 и 120 циклов замораживания и оттаивания, что соответствует условно одному и двум годам

эксплуатации кровельного материала в натурных условиях, образцы подвергались испытаниям на разрыв. Испытания проводились на образцах резинопolyмера размером 100×50×4 мм, один из которых являлся контрольным, не подлежащим испытанию. Перед испытанием на морозостойкость образцы насыщали водой при температуре $(18 \pm 2)^\circ\text{C}$, при этом образцы были со всех сторон окружены слоем толщиной не менее 20 мм 30 % соляного раствора. Водонасыщение образцов покрытий проводилось в течение 8 часов. Затем образцы обтирали и взвешивали, загружали в морозильную камеру при температуре минус $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$, устанавливая на полки стеллажей таким образом, чтобы расстояние между образцами было не менее 50-60 мм. Продолжительность одного цикла замораживания составляла 4 часа. Затем образцы покрытий в течение 4 часов оттаивали в ванне с 30 % соляным раствором при температуре $(18 \pm 2)^\circ\text{C}$. Восемь циклов замораживания и оттаивания по ускоренной методике соответствует 50 циклам стандартной методики.

Через промежутки, равные 30, 60, 120 и 200 циклам воздействия попеременного замораживания и оттаивания, 3 образца выдерживались в течение суток при температуре 20°C , затем производился визуальный осмотр степени повреждения образцов покрытий, фиксировались появившиеся дефекты. После визуального осмотра образцов покрытий делались заключения о степени их повреждений. Затем образцы кровельного материала обтирались, взвешивались, определялось их относительное удлинение при разрыве.

По результатам испытаний оценивалось изменение деформативных свойств кровельного материала в зависимости от воздействия циклического замораживания и оттаивания (рис. 3.12, 3.13).

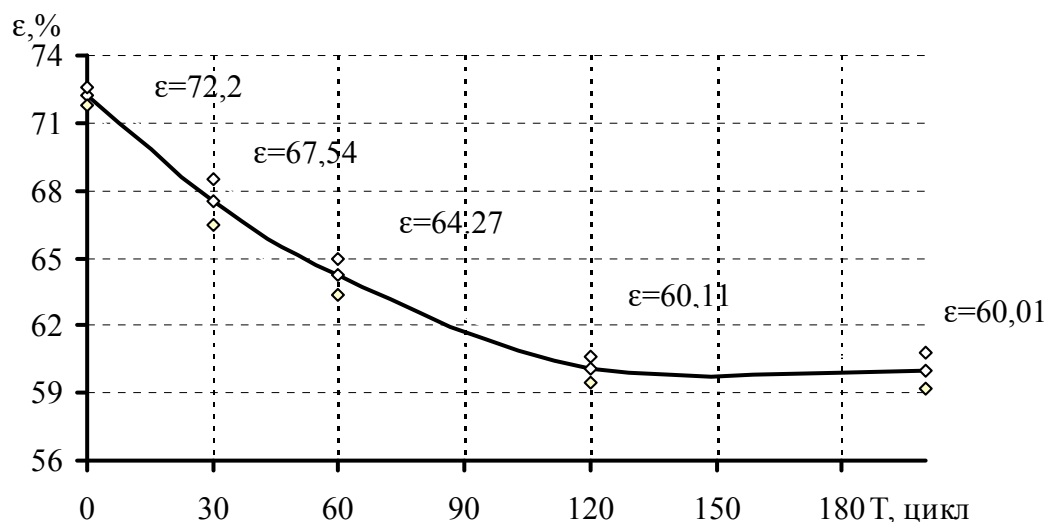


Рис. 3.12. Относительное удлинение при разрыве образца кровельного материала на основе резинопolyмера в зависимости от воздействия попеременного замораживания и оттаивания

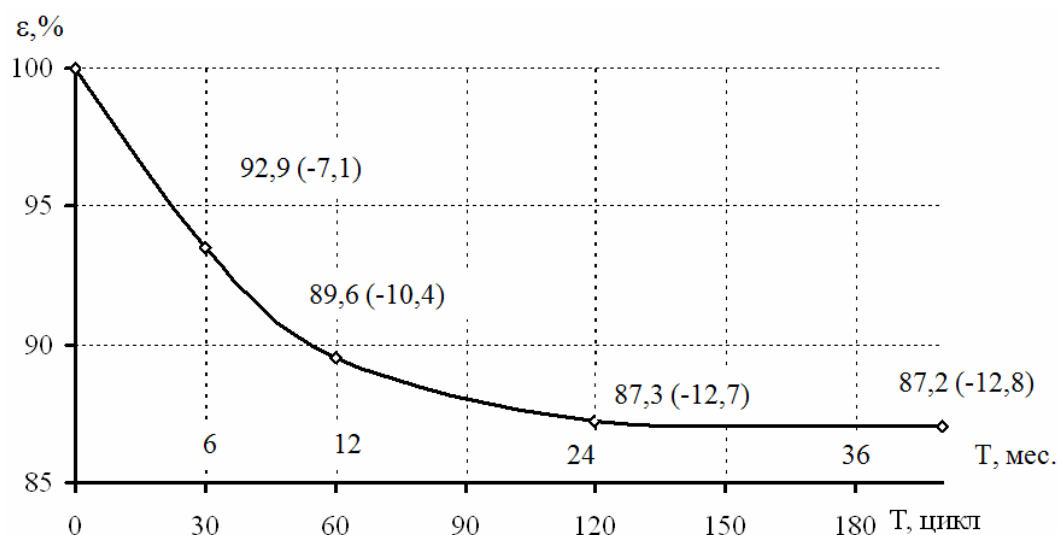


Рис. 3.13. Изменение относительного удлинения при разрыве образцов кровельного материала на основе резинопластика в зависимости от времени воздействия попеременного замораживания и оттаивания

Значительное снижение деформативности кровли на основе резинопластика отмечено после 40–60 циклов воздействия. В дальнейшем снижение деформативности замедляется и после 120 циклов воздействие практически прекращается.

Теплостойкость кровельного материала определяли в соответствии с ГОСТ 2678–94. Методика испытания заключалась в следующем. Испытания проводились на 19 образцах размерами 100×100×4 мм, из которых один являлся контрольным, не подлежащим испытанию. Нагрев сушильного шкафа производился до температуры 85 °С. Образцы покрытий подвешивались в вертикальном положении на расстоянии 50 мм от стенок шкафа (расстояние между образцами 100 мм), производилась выдержка в течение 7, 14, 28 часов при заданной температуре, что составляло соответственно 168, 336 и 672 часа и условно соответствовало 0,5, 1 и 2 годам продолжительности нагрева в естественных условиях. Затем образцы кровельного материала извлекали из шкафа, охлаждали и визуально осматривали. Если на образцах отсутствовали видимые дефекты, определялась их деформативность.

Влияние термического воздействия при температуре 85 °С графически изображено на рис. 3.14 и 3.15.

Как показали исследования, тепловое воздействие оказывает незначительное влияние на снижение деформативности кровли. Наиболее резкое (93,9 %) снижение деформативности кровельного материала при воздействии нагрева отмечено по истечении 3 месяцев. В дальнейшем снижение деформативности резинопластика замедляется и носит практически линейный характер.

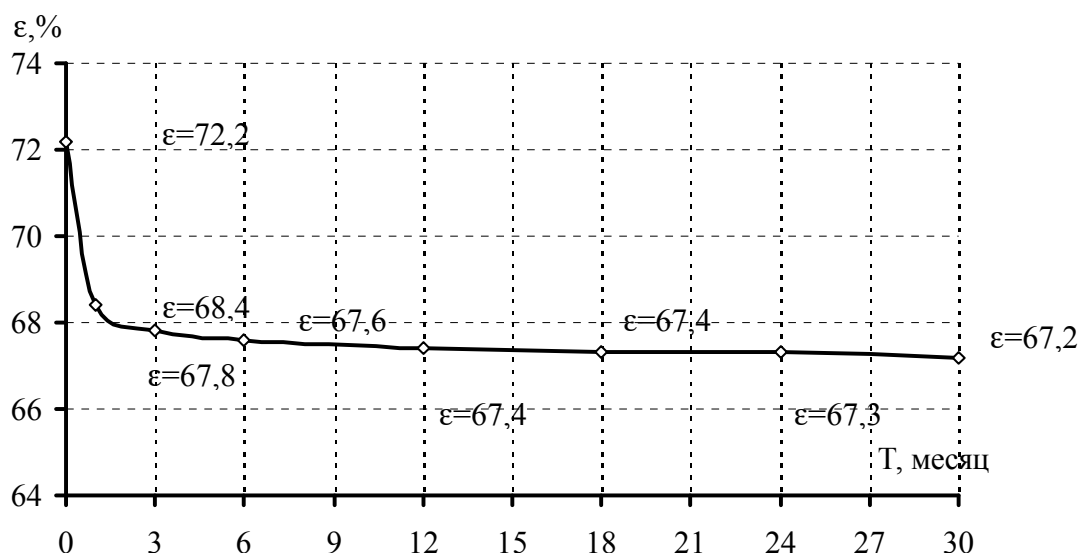


Рис. 3.14. Относительное удлинение при разрыве образцов кровельного материала на основе резинополимера от воздействия нагрева

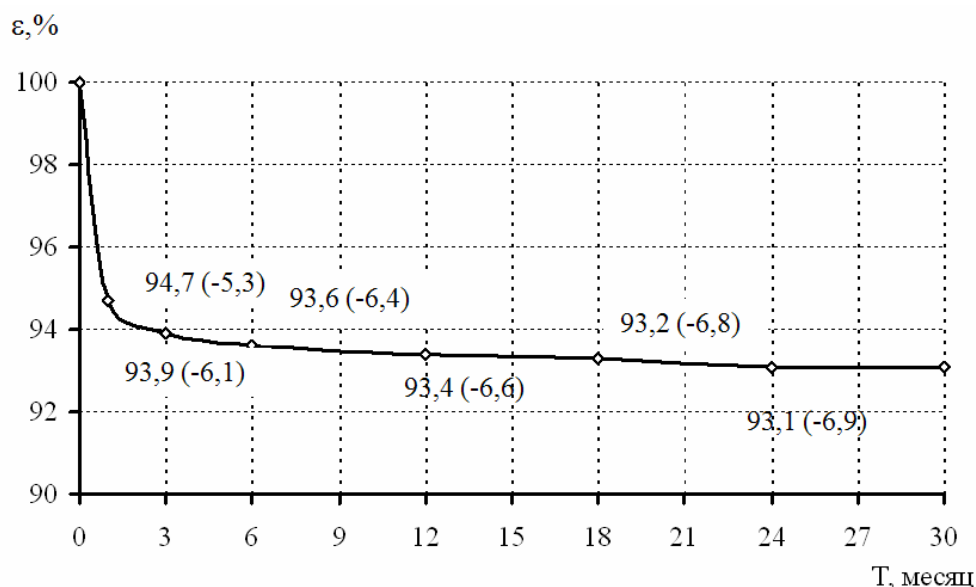


Рис. 3.15. Изменение относительного удлинения при разрыве образцов кровельного материала на основе резинополимера в зависимости от продолжительности теплового воздействия

При определении воздействия ультрафиолетовых лучей образцы кровельного материала на основе резинополимера помещались в короб, оборудованный ртутно-кварцевой лампой типа ПРК-2М мощностью 375 Вт. Испытание проводилось на образцах размерами 100×50×4 мм, количество которых составляло 19, один из образцов являлся контрольным, не подлежащим испытанию. Образцы выдерживались при заданной температуре в течение 28, 56 и 96 суток, что условно соответствовало 0,5, 1 и 2 годам продолжительности ультрафиолетового облучения в естественных условиях. После ускоренного воздействия определялась величина относительного удлинения при разрыве.

Изменение деформативности образцов кровли в зависимости от продолжительности воздействия ультрафиолетовых лучей показано на рис. 3.16 и 3.17.

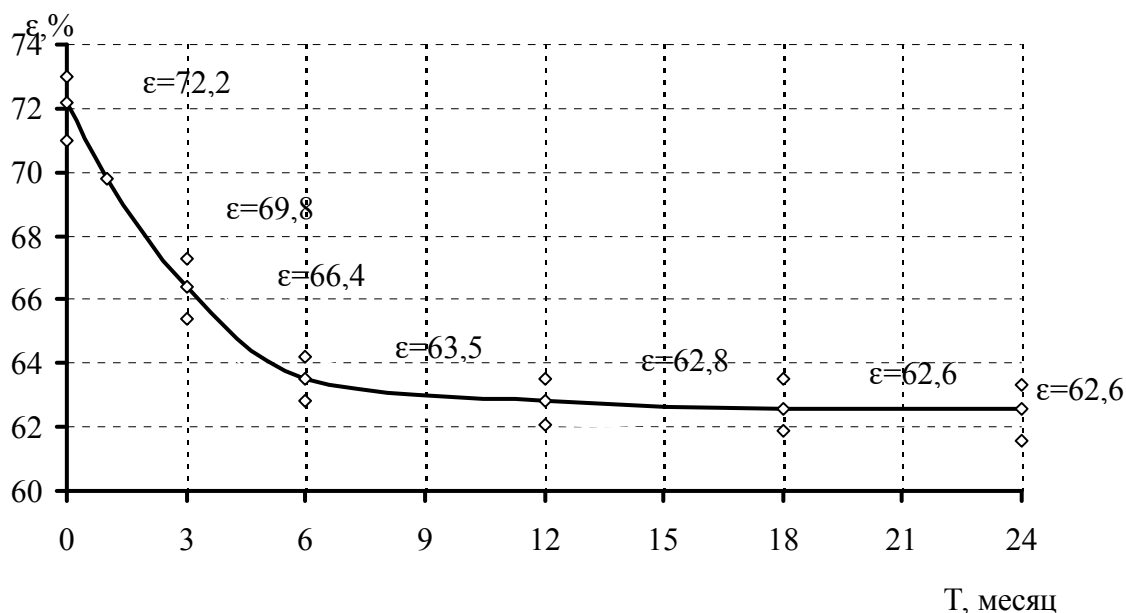


Рис. 3.16. Относительное удлинение при разрыве образцов кровельного материала на основе резинопolyмера от продолжительности воздействия ультрафиолетовых лучей

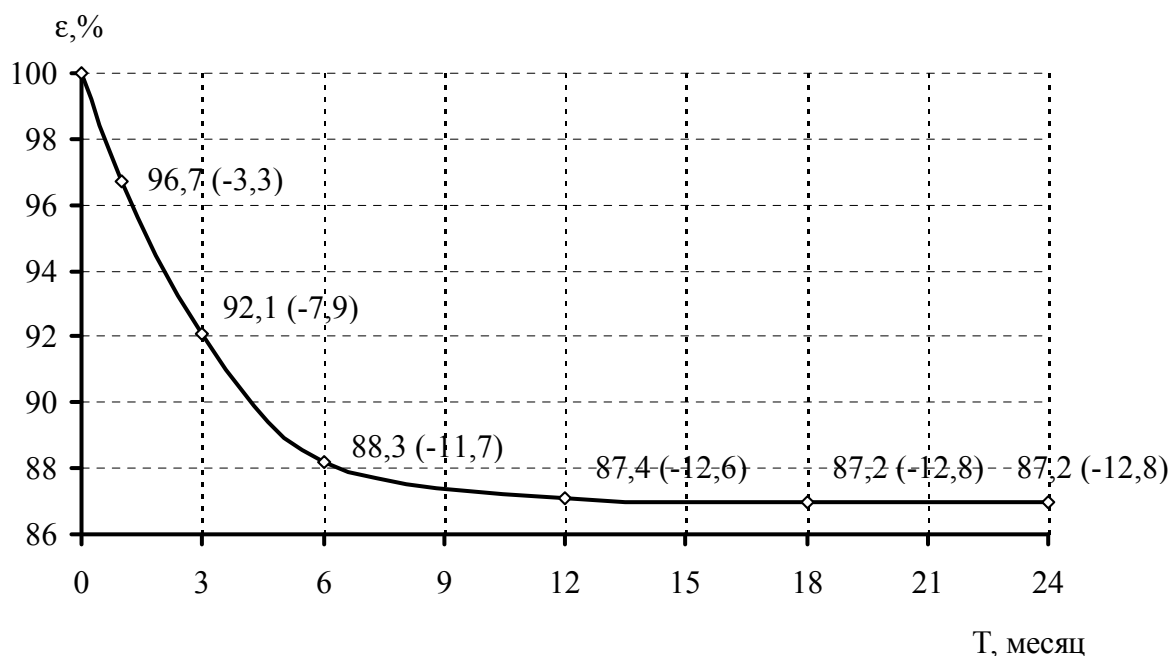


Рис. 3.17. Изменение относительного удлинения образцов кровельного материала на основе резинопolyмера в зависимости от продолжительности времени воздействия ультрафиолетовых лучей

Анализ результатов показал, что наиболее значительное снижение деформативности кровли на основе резиновой крошки происходит в течение первых шести месяцев (30 циклов) воздействия.

Результаты комплексного воздействия исследуемых климатических факторов представлены на рис. 3.18.

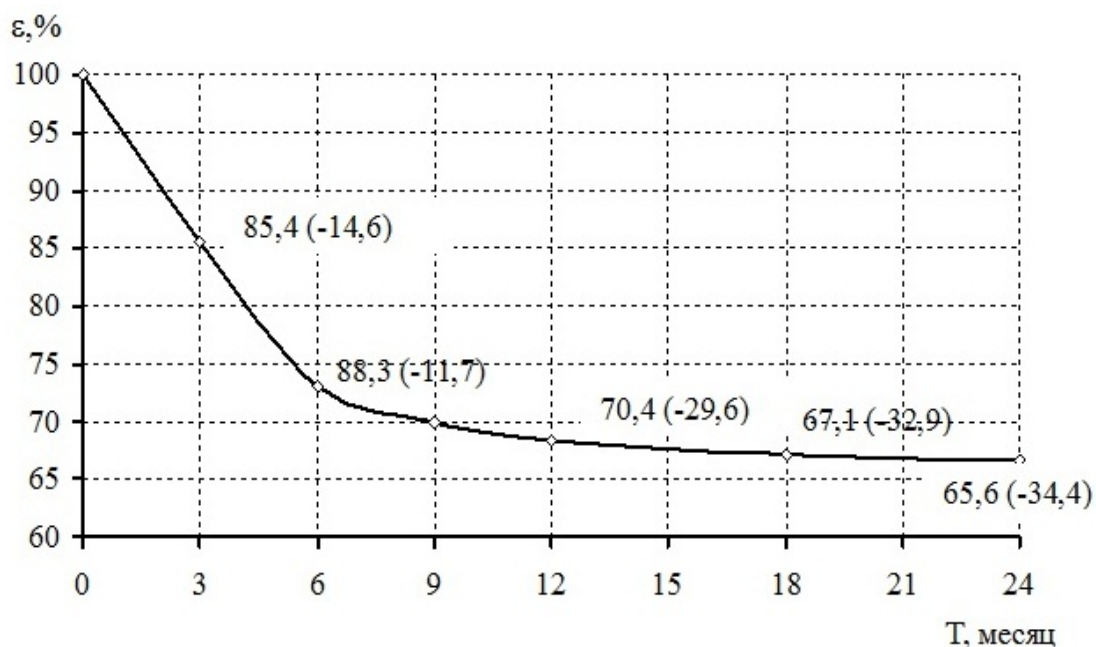


Рис. 3.18. Изменение относительного удлинения при разрыве образцов кровельного материала на основе резинополимера в зависимости от комплексного воздействия климатических факторов

Значительное снижение деформативности кровельного материала на основе резиновой крошки от воздействия климатических факторов наблюдалось в первые 7-8 месяцев эксплуатации материала, что обусловлено процессами старения полиуретанового связующего.

Ниже приведены эксплуатационные показатели кровельной черепицы, изготовленной на основе резиновой крошки.

Гибкость кровельного материала определялась в соответствии с ГОСТ 2678–94 путем сгибания трех образцов кровельного материала размерами 100×50×10 мм при температуре 20 °С. Образцы сгибались вокруг бруса лицевой стороной вверх, плотно прижимались к нему и выдерживались в таком состоянии в течение 30 секунд, после чего визуально проверялось наличие трещин и изломов. Испытательный брус, изготовленный из твердой древесины и имеющий с одной стороны закругление радиусом 10 мм, представлен на рис. 3.19.

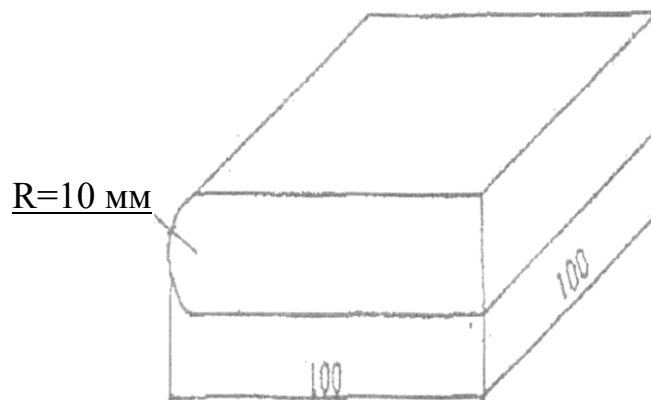


Рис. 3.19. Внешний вид бруса

Результаты испытания кровельного материала на **гибкость** свидетельствуют об отсутствии на поверхности испытываемых образцов трещин и изломов (рис. 3.20).



Рис. 3.20. Испытание образца на гибкость

Водонепроницаемость кровельного материала определялась в соответствии с национальным стандартом РФ ГОСТ Р ЕН 1928–2009 «Материалы кровельные и гидроизоляционные гибкие битумосодержащие и полимерные (термопластичные и эластомерные)». Методика определения водонепроницаемости заключалась в следующем. Образцы кровельного материала размерами 150×150×4 мм герметично крепили к основанию трубы диаметром 100 мм, образуя, таким образом, цилиндр. Вся конструкция устанавливалась на сетку с диаметром ячейки 0,38 см, между сеткой и образцом кровельного материала помещалась фильтровальная бумага. В цилиндр заливалась вода, высота уровня которой составляла 30 см от основания цилиндра, что соответствовало давлению 0,3 МПа (рис. 3.21).



Рис.3.21. Схема испытания образцов кровельного материала на водонепроницаемость

Через каждые 24 ч проверялось наличие мокрого пятна на фильтровальной бумаге. При появлении признаков воды испытания прекращались.

Установлено, что после 96 часов воздействия водяного столба признаков воды на фильтровальной бумаге не обнаружено. (Согласно ГОСТ на фильтровальной бумаге не должно появиться влаги в течение 72 часов воздействия водяного столба.) Таким образом, водонепроницаемость кровельной черепицы соответствует требованиям ГОСТ.

Водопоглощение резиновой гибкой черепицы по массе составило 1,2 %, что соответствует требованиям ГОСТ 10923–93. (Согласно ГОСТ водопоглощение должно быть не более 2 %.) Водопоглощение резиновой гибкой черепицы по массе определяли в течение 48 часов на 3 образцах размером 100×100×4 мм из следующего выражения:

$$W=(m_1 - m)*100/m,$$

где m_1 – масса образца, насыщенного водой, г;

m – масса образца в состоянии естественной влажности, г.

Образцы покрытия взвешивались в состоянии естественной влажности на весах с точностью до 0,1 грамма, затем укладывались на решетку в сосуд с водой при температуре (20±5) °С. Уровень воды превышал верх образца не менее чем на 5 см, время насыщения составляло 48 часов. Затем насыщенный водой образец извлекался из воды, обтирался влажной тканью и взвешивался. Масса воды, вытекшей из образца на чашку весов, была включена в массу образца, насыщенного водой.

Т а б л и ц а 3 . 6

Физико-механические характеристики кровельной черепицы

№ п/п	Наименование показателей	Ед. изм.	Показатели
1	Плотность, не менее	кг/м ³	1190
2	Прочность при разрыве, не менее	МПа	3,6
3	Водопоглощение, не более	%	1,2
4	Водонепроницаемость в течение 72 ч, не менее	МПа	0,3
5	Гибкость	—	Отсутствуют трещины и изломы
6	Теплостойкость, не менее	°С	80
7	Морозостойкость, не менее	цикл	250

Полученные новые показатели физико-механических и эксплуатационных свойств резиновой гибкой черепицы необходимы для накопления банка данных с целью создания нормативной базы отечественного кровельного материала с использованием отходов.

Глава 4. КОМПЛЕКСНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ДИСПЕРСНО-АРМИРОВАННЫХ БЕТОНОВ

В ходе исследований были разработаны технологические аспекты получения дисперсно-армированных фибробетонов различного функционального назначения на основе техногенных отходов.

Для высококачественных бетонов взаимодействие между стальным волокном и матрицей оказывает значительное влияние на физико-механические и эксплуатационные характеристики сталефибробетона, его долговечность, водонепроницаемость и т.д.; поэтому требования к волокнам очень высоки. В бетонах средних марок основной целью введения армирующих элементов является повышение трещиностойкости и снижение усадки. Поэтому для конструкций, к которым не предъявляются требования высокой прочности, использование высококачественных дорогостоящих волокон не целесообразно, т.к. они значительно увеличивают стоимость бетонной смеси и бетона.

С целью выявления возможности использования металлокорда как альтернативы промышленной фибры выполнена оценка влияния армирующих элементов на прочность сталефибробетонов различных марок и видов:

- высококачественных дисперсно-армированных щебеночных бетонов классов по прочности В80 и выше;
- дисперсно-армированных мелкозернистых бетонов средних марок, предназначенных для устройства цементной стяжки полов промышленных и гражданских зданий;
- реакционно-порошковых бетонов нового поколения.

Для создания дисперсно-армированных бетонов высокой прочности применялось комплексное армирование их структуры:

- отходами металлокорда в виде дисперсных армирующих волокон;
- измельчёнными отходами камнедробления природных каменных материалов и строительных песков месторождений Пензенской области, используемых в качестве наполнителей комплексного органоминерального модификатора (КОМД). Применение КОМД обеспечивает получение высокоплотной и высокопрочной цементной матрицы бетонов, а сочетание высокопрочной матрицы с армирующими элементами способствует формированию высокой прочности при сжатии и растяжении при изгибе дисперсно-армированных бетонов.

Рассмотрим методологические и технологические аспекты получения цементной матрицы и дисперсно-армированных бетонов на ее основе, в том числе с использованием техногенных отходов.

Формование опытных образцов-балочек размером 40×40×160, 20×20×100, 70×70×280 мм, а также образцов-кубов размером 50×50×50 и 70×70×70 мм осуществлялось на стандартной виброплощадке ВС-1. С целью исключения влияния температуры твердение составов происходило в термостате типа ТС-80М-2 при постоянной температуре (22±1) °С. Опытные образцы подвергались физико-механическим испытаниям.

Механические испытания образцов проводились на гидравлических прессах типа УММ-50, П-50 и П-150 различной мощности и машине МИИ-100 в соответствии с методиками, рекомендованными ГОСТ 310.4–81, ГОСТ 10180–90 и ГОСТ 18105–86.

4.1. Влияние органоминеральных модификаторов на реологические и физико-механические свойства цементной матрицы дисперсно-армированных бетонов

Для комплексной оценки влияния органоминерального модификатора (КОМД) изучено водоредуцирующее действие СП С-3, вводимого в цементные суспензии совместно с измельченными наполнителями. Несмотря на то, что гиперсуперпластификаторам свойственны более высокие показатели, использование СП С-3 обусловлено отечественным производством. В качестве реакционно-активного минерального компонента комплексного органоминерального модификатора для получения дисперсно-наполненных бетонов использовали тонкоизмельченные отходы камнедробления добычи стеновых камней и строительные пески месторождений Пензенской области. Для сравнения приведены данные реологических свойств цементных систем с добавлением микрокварца Люберецкого горнодобывающего предприятия с $S_{уд}=400,8 \text{ м}^2/\text{кг}$. Реологические свойства цементных систем, модифицированных КОМД, представлены в табл. 4.1.

Т а б л и ц а 4 . 1
Реологические свойства цементных композиций

Состав цементных суспензий, %			В/Т	Расплав, мм	В _д , %
Це- мент	Дисперсный наполнитель	Вид и дозировка пластифи- катора, %			
1	2	3	4	5	6
100	—	—	0,41	23-25	—
100	—	С-3, 1	0,21	23-24	51,2
—	Песчаник Саловский $S_{уд}=415 \text{ м}^2/\text{кг} - 100$	—	0,47	23-24	—
—	Песок строительный (месторождение с. Ухтинка) $S_{уд}=408,4 \text{ м}^2/\text{кг} - 100$	—	0,51	23-25	—

Окончание табл. 4.1

1	2	3	4	5	6
–	Микрокварц (Люберецкий горнодобывающий завод) $S_{\text{уд}}=400,8 \text{ м}^2/\text{кг} - 100$	–	0,43	23-24	–
75	Песчаник Саловский $S_{\text{уд}}=415 \text{ м}^2/\text{кг} - 25$	–	0,45	23-24	–
75	Песок строительный (месторождение с. Ухтинка) $S_{\text{уд}}=408,4 \text{ м}^2/\text{кг} - 25$	–	0,49	23-24	–
75	Микрокварц (Люберецкий горнодобывающий завод) $S_{\text{уд}}=400,8 \text{ м}^2/\text{кг} - 25$	–	0,43	23-24	–
75	Песчаник Саловский $S_{\text{уд}}=412 \text{ м}^2/\text{кг} - 25$	С-3, 1	0,19	23-24	42,2
75	Песок строительный (месторождение с. Ухтинка) $S_{\text{уд}}=408,4 \text{ м}^2/\text{кг} - 25$	С-3, 1	0,19	23-24	38,8
75	Микрокварц (Люберецкий горнодобывающий завод) $S_{\text{уд}}=400,8 \text{ м}^2/\text{кг} - 25$	С-3, 1	0,18	23-25	41,9

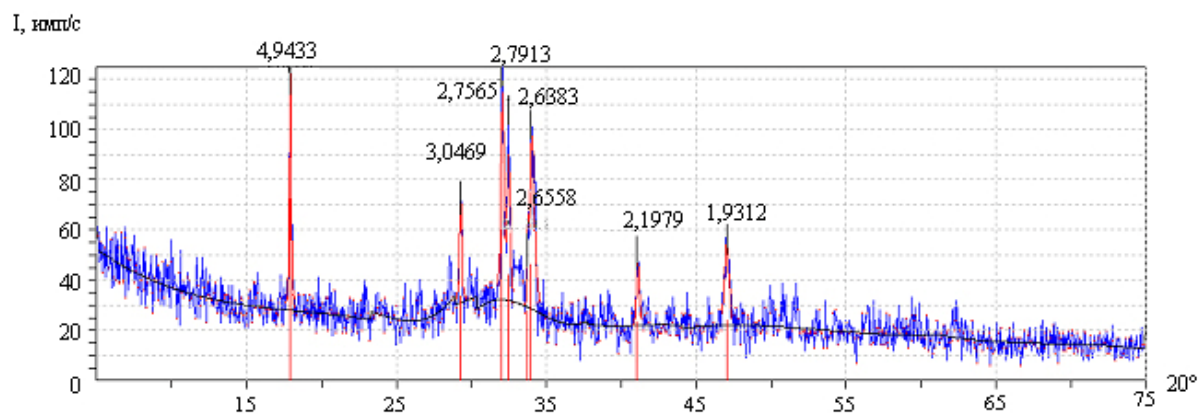
Как следует из табл. 4.1, минимальная водопотребность ($B/T = 0,47$) зафиксирована для водной дисперсии на основе реакционно-активного песчаника Саловского месторождения, в то время как водопотребность песка строительного месторождения с. Ухтинка составила 0,57. Промежуточное положение $B/T = 0,43$ занимает дисперсия на основе микрокварца Люберецкого горнодобывающего завода. Водоредуцирующее действие суперпластификатора, вводимого совместно с песчаником Саловского месторождения и строительным песком месторождения с. Ухтинка, Пензенской области, достигает соответственно 42,2 и 38,8 %.

Измельченные каменные наполнители, содержащие активную форму SiO_2 , в значительной степени усиливают водоредуцирующее действие СП, увеличивая плотность, а также связывают гидратную известь в гидросиликаты кальция, которые заполняют капиллярные поры, что еще существеннее повышает плотность структуры, прочность и эксплуатационные свойства материала.

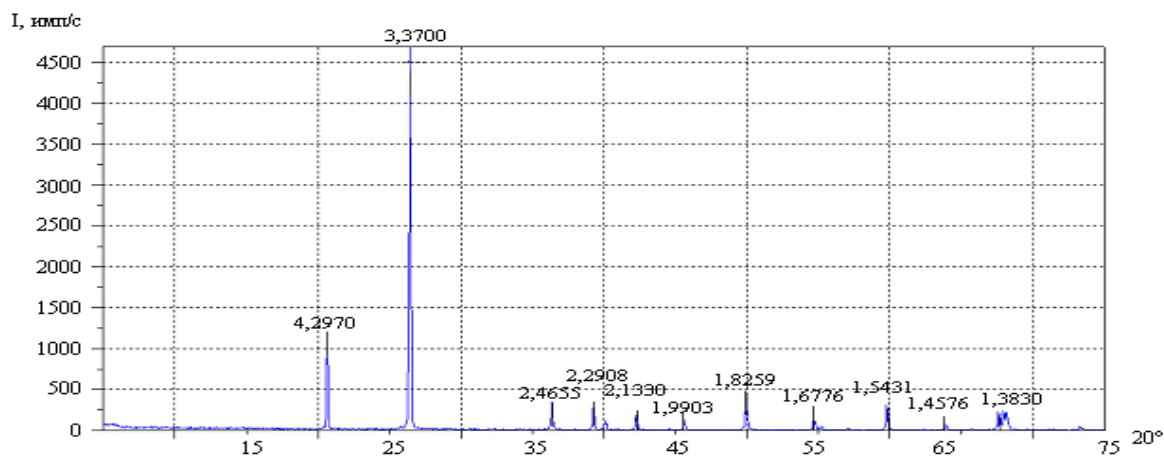
В измельченном виде активная форма аморфизированного кварца способна к взаимодействию с гидролизной известью, выделяемой в процессе гидратации минералов цементного клинкера с образованием низкоосновных гидросиликатов кальция (рис. 4.1). Как следует из рентгенограммы, формирование структуры цементного камня, модифицированного добавками, обусловлено присутствием значительного количества гидросиликатов кальция типа CSH. Уменьшение интенсивности линий портландита указывает на взаимодействие гидролизной извести $\text{Ca}(\text{OH})$ с тонкодисперсным кварцем SiO_2 , присутствующим в измельченных наполнителях. На рис. 4.1 показаны рефлексы вида $\text{C}_5\text{S}_6\text{H}_3 - 3,0377 \text{ \AA}; 2,7883 \text{ \AA}; 1,9265 \text{ \AA}; \text{C}_3\text{S}_2\text{H}_3 - 2,7556 \text{ \AA}; 2,4543 \text{ \AA}; 2,1918 \text{ \AA}$, для цементного камня без добавок характерно присутствие портландита $\text{Ca}(\text{OH})_2 - 4,9433 \text{ \AA}; 2,6383 \text{ \AA}$, формируются торбирморитоподобные фазы $x\text{CaO}_y\text{SiO}_2z\text{H}_2\text{O}$, характерны

рифлекссы $C_5S_6H_3$ – 3,0469 Å; 2,7913 Å; 1,9312 Å, $C_3S_2H_3$ – 2,7565 Å; 2,6558 Å; 2,1979 Å.

а



б



в

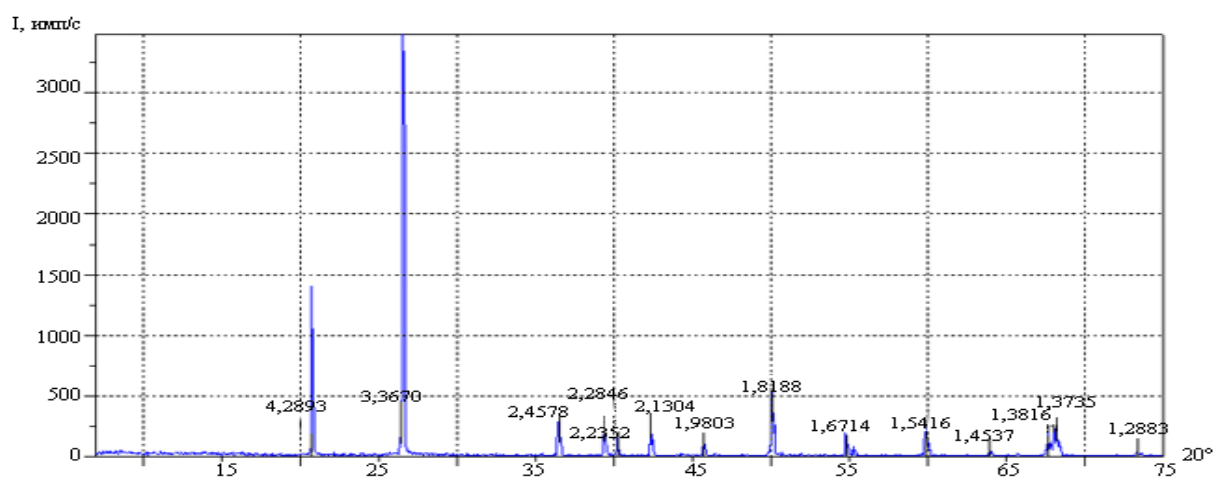


Рис. 4.1. Рентгенограммы гидратированного цемента:
а – цементный камень без добавок; б – то же с добавкой измельченного микрокварца (25 %); в – то же с добавкой измельченного строительного песка (25 %)

Таким образом, добавление к цементу измельченного кварцевого песка позволяет увеличить реологическое воздействие суперпластификатора. Благодаря интенсивной реакции гидратации, связанной с высокой водоредуцирующей эффективностью суперпластификатора, происходят гидролиз минералов цементного клинкера, взаимодействие гидролизной извести (портландита) с тончайшими частицами кварцевого песка с образованием тоберморитоподобной фазы и ксонотлита, что обеспечивает возможность использования измельченных кварцевых песков месторождений Пензенской области, содержащих активную форму аморфизированного SiO_2 , в качестве дисперсно-активных наполнителей цементных композиций. В результате расширяется область использования мелких природных песков как альтернативы промышленного микрокварца и микрокремнезема.

Для определения оптимальных дозировок дисперсных наполнителей и исследования процессов структурообразования цементного камня были изготовлены дисперсно-наполненные цементы, содержание тонкомолотых нерудных каменных материалов в которых составило 5–35 % по объему от расхода цемента. Влияние дисперсных наполнителей из отходов на кинетику твердения и водопотребность цементных композиций определялось на образцах-кубиках $2 \times 2 \times 2$ см, изготовленных из цементного теста нормальной густоты. Твердение опытных образцов происходило в нормально-влажностных условиях.

С введением тонкоизмельченных наполнителей с 5 до 35 % водопотребность цементного теста нормальной густоты изменяется незначительно и превышает контрольное значение, независимо от вида наполнителя, не более чем на 11 %.

Наличие в составе цементных композиций измельченных отходов камнедробления и песков способствует повышению прочности на 25–35 % и обеспечивает возможность получения реакционно-активных наполнителей, близких по активности к микрокремнезему и микрокварцу. Особенно четко это наблюдается при дозировке не более 10 % от массы цемента. Максимальная прочность цементного камня в первые сутки твердения получается при дозировках наполнителя в пределах 10–15 %, а нормативная (в возрасте 28 сут) – 5–15 %, в зависимости от вида наполнителя.

Реакционно-химическая активность измельченных строительных песков и отходов песчаника возрастает в пластифицированных цементных системах. Практически все суперпластификаторы действуют значительно эффективнее в водных дисперсиях оксидов, минеральных порошков или их смесей с цементом, по сравнению с дисперсиями чистого цемента, вследствие эффекта «соразжижения». По данным авторов, водоредуцирующее действие суперпластификатора С-3 (V_d) изменяется: в цементных суспензиях – от 55 до 65 %; в цементно-песчаных растворах – от 30 до 40 %; в бетонных смесях – от 20 до 35 % [15]. Максимальная эффективность по

водоредуцированию для различных цементов обеспечивается при $V/C = 0,19 - 0,22$. В дальнейшем это было подтверждено в дисперсно-армированных щебеночных, мелкозернистых и порошково-активированных бетонах нового поколения.

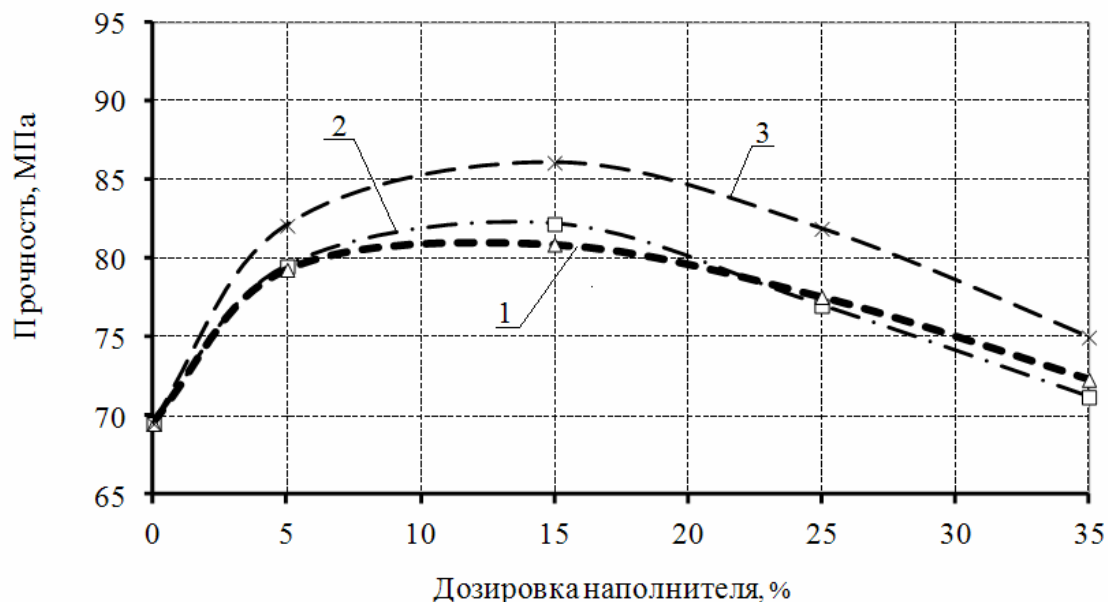


Рис. 4.2. Влияние вида и дозировки наполнителей на прочность цементного камня: 1 — песчаник; 2 — строительный песок; 3 — микрокварц

Выявлено, что применение высокодисперсных реакционно-активных мелких песков и отходов камнедробления месторождения Пензенской области является чрезвычайно перспективным для создания высокоэффективных модификаторов бетона. Замена клинкерной составляющей на измельченные наполнители из отходов позволяет решить комплекс экологических (снижение выбросов в атмосферу) и технологических (экономию природных ресурсов, энергосбережение) задач, расширить материально-сырьевую базу эффективных модификаторов бетона благодаря использованию отсеков камнедробления и мелких строительных песков.

4.2. Сравнительный анализ влияния вида и содержания армирующих элементов на прочность сталефибробетона

Применение сталефибробетона в строительстве неразрывно связано с вопросами экономики. Согласно данным автора [145], стоимость большинства сталефибробетонных конструкций по сравнению с железобетонными уменьшается незначительно, а зачастую даже возрастает, что обусловлено высокой стоимостью используемых волокон.

Одним из направлений снижения затрат при производстве сталефибробетона и изделий из него можно считать замену дорогостоящих

материалов для производства фибровой арматуры на более дешевое вторичное сырье.

Металлокорд является одним из самых прочных промышленно используемых материалов. Металлокорд уступает по удельной прочности арамидам, стеклокорду, поликапрамиду, но при этом его высокая прочность, жесткость и сопротивление сжатию позволяют уменьшать число кордных слоев, закладываемых в шину, в результате снижается масса автошин. В связи с воздействием значительных нагрузок, действующих на колесо в процессе эксплуатации автомобиля, стальное волокно, применяемое при производстве автопокрышек, обладает очень высокой прочностью. Повышенные физико-механические характеристики стального корда позволяют изготавливать шины для автомобилей большой грузоподъемности. По сравнению с текстильным кордом, важным свойством металлокорда является отсутствие явления уменьшения прочности под воздействием влаги, незначительное снижение прочности в результате фреттинга [32, 152, 156, 176]. Металлокорд состоит, как правило, из трех элементов.

Среди армирующих материалов шин, металлокорд имеет высокий модуль Юнга, низкие потери на тепловыделение при работе шин, малое сопротивление качению, стабильность формы шины при различных нагрузках [185]. В зависимости от прочности используемой проволоки различают следующие виды металлокорда: нормальной прочности (NT – Normal Tensile, диапазон временного сопротивления разрыву проволоки составляет 2500–3000 Н/мм²); высокой прочности (HT – High Tensile, диапазон временного сопротивления разрыву 3000–3400 Н/мм²); сверхвысокопрочный (ST – Super Tensile с удельной прочностью проволоки 3200–3700 Н/мм²); ультравысокопрочный (UT – Ultra Tensile с временным сопротивлением разрыву проволоки 3400–4200 Н/мм²); мегапрочный (MT – Mega tensile с временным сопротивлением разрыву проволоки свыше 4000 Н/мм²).

Концепция получения и возможность применения металлокорда, полученного после механической переработки изношенных автошин, в виде дисперсной арматуры в фибробетоне базируется на следующих аспектах:

- экологическом, обеспечивающим безопасность процесса переработки шин, производства и применения металлокорда;
- технологическом, отражающем механизмы структурообразования фибробетонов, модифицированных комплексными органоминеральными добавками и армирующими элементами;
- экономическом, обосновывающем экономическую целесообразность использования и применения комплексных модифицирующих добавок и армирующих элементов в категории «затраты – качество».

Возможность применения металлокорда, полученного после механической переработки изношенных автошин, в виде дисперсной арматуры в фибробетоне и концепция его получения основаны на следующих аспектах:

- экологическом, направленном на обеспечение безопасности процесса переработки шин, производства и применения металлокорда;
- технологическом, отражающем механизмы структурообразования фибробетонов, модифицированных комплексными органоминеральными добавками и армирующими элементами;
- экономическом, обосновывающем экономическую целесообразность использования комплексных модифицирующих добавок и армирующих элементов в категории «затраты – качество».

Оптимальная длина фибры, обеспечивающая требуемые характеристики фибробетона, составляет 6–14 мм [83, 88]. Исследованы геометрические характеристики фибры, получаемые в процессе механической переработки автомобильных шин. При базовой длине металлокорда 10 мм, изменчивость длины волокна составляет: 6–8 мм (10–15 %), 9–10 мм (60–70 %), 11–12 (12–18 %), 13–14 (5–8 %) Выход фибры из металлокорда пригодной для использования в фибробетоне составляет 65–69 % от всего получаемого сырья.

Существенное влияние на качество и прочность сцепления фибры с матрицей бетона оказывает присутствие «крючковатостей». Известно, что стальная промышленная фибра зарубежных и отечественных фирм выполняется с различными загибами, уступами, рельефами, которые значительно увеличивают сопротивление выдергиванию [11]. Для надежного сцепления с бетоном-матрицей стальные волокна должны иметь достаточно шероховатые боковые поверхности. В результате механической переработки металлическая проволока из металлокорда имеет изогнутую структуру, наиболее выгодную длину (8–12 мм) и высокую прочность (2200–3000 МПа), что является идеальным для сталефибробетона. Изогнутая форма фибры из металлокорда увеличивает адгезию с цементной матрицей. Используемая оптимальная (8–11 мм) длина волокон позволяет избежать в процессе приготовления бетонной смеси нежелательного образования комков и «ежей», а так же снизить подвижность бетонной смеси.

Металлокорды автомобильных шин по химическим и геометрическим показателям идентичны и соответствуют марки стали 80-90 по ГОСТ 14959.

Для оценки остаточной прочности металлокорда предложен коэффициент износа, определяемый из выражения:

$$K_i^{\text{изн}} = \frac{R_{\text{норм}} - R_{\text{ост}}}{R_{\text{норм}}} 100\%, \quad (4.1)$$

где $K_i^{\text{изн}}$ – усредненный коэффициент износа металлокорда;

$R_{\text{норм}}$ и $R_{\text{ост}}$ – нормативная и остаточная прочность при разрыве металлокорда изношенных автомобильных шин.

Общий усредненный коэффициент износа металлокорда определяется из выражения:

$$K_{\text{ср}} = \sum_{i=1}^{i=n} K_i / n, \quad (4.2)$$

где n – количество испытанных шин.

Экспериментальные данные показали, что качество отечественной проволоки, после выхода шины из эксплуатации не уступает зарубежным аналогам (табл. 4.2). Металлокord автомобильных шин по химическим и геометрическим показателям идентичен и соответствуют марки стали 80–90 по ГОСТ 14959.

Т а б л и ц а 4 . 2

Прочностные характеристики металлокорда

Марка шины	Диаметр образца, мм	Прочность на растяжение, МПа		Коэффициент износа, %
		Нормативная	Остаточная	
1	2	3	4	5
Белшина (Белорусский шинный завод БШК)	0,22	2695,0	2474,0	8,2
Кама (Нижнекамский шинный завод)	0,22	2695,0	2476,7	8,1
Michelin	0,22	2675,0	2439,6	8,8
Goodyear	0,22	2660,0	2415,3	9,2
Bridgestone	0,22	2750,0	2530,0	8,0
Pirelli	0,26	2350,0	2126,8	9,5
Continental	0,22	2525,0	2269,9	10,1

П р и м е ч а н и е . Допустимое отклонение диаметра составляет +0,01 мм.

Коэффициент износа, характеризующий остаточную прочность металлокорда, для шин различных производителей изменяется в пределах 8,1–10,1 %. Полученные данные свидетельствуют о высоком качестве получаемой фибры, но присутствие резины на поверхности металлокорда не позволяет использовать ее в качестве армирующего элемента высокопрочных фибробетонов. В связи с этим, одной из задач исследования была разработка методики качественной очистки металлического корда от примеси резины. Для решения поставленной задачи изучался и анализировался процесс переработки шин на установке КПШ-1 (изменились расположение зубьев фрезы, скорость вращения, настройки параметров переработки), что в конечном счете повлияло на качество получаемого металлокорда и позволило снизить количество резины до 1–4 %.

Дальнейшая очистка осуществлялась в лабораторных условиях с помощью пескоструйной обработки до качества проволоки, соответ-

ствующего ГОСТ 3282 и ГОСТ 9389. Пескоструйная очистка проводилась в течение 15 мин. В результате обработки металлокорд полностью очистился от примесей резины, на его гранях в результате воздействия щебня появились дополнительные микрозасечки, повышающие степень анкеровки стального волокна в бетоне. Как известно, наибольшая эффективность использования стальной фибры с целью повышения физико-механических характеристик сталефибробетона может быть получена в том случае, если испытываемые максимальные напряжения разрывают фибру, не выдергивая ее из бетона-матрицы, а это в значительной степени обусловлено количеством контактов на границе раздела фаз «волокно – матрица» (рис. 4.3). Только при выполнении этого условия коэффициент использования прочности стальной фибры будет равен единице (или близок к этому показателю), и, следовательно, для данного состава бетона-матрицы с таким стальным волокном можно получить максимальные физико-механические и эксплуатационные характеристики.

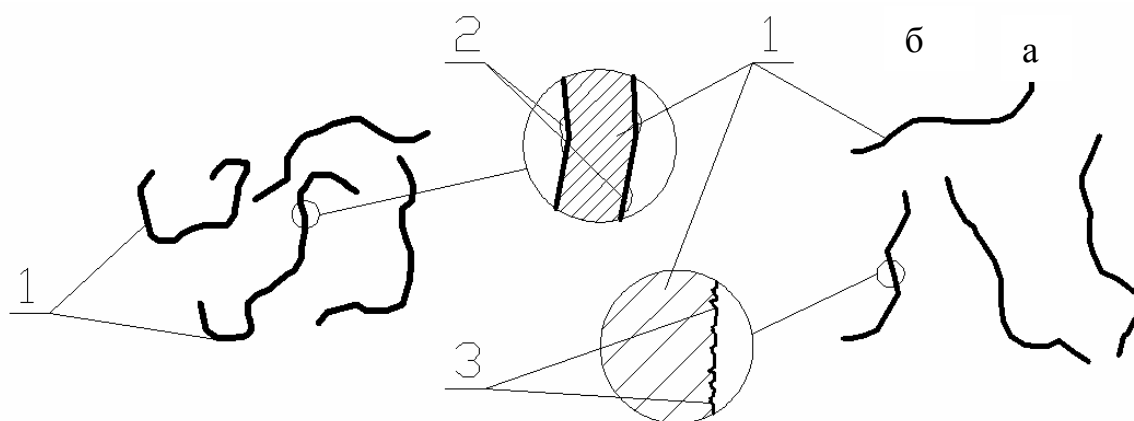


Рис. 4.3. Внешний вид металлокорда:
а – после механической переработки; б – после доочистки:
1 – металлокорд; 2 – резиновые включения; 3 – засечки на металлокорде

В процессе очистки наиболее длинные и крючкообразные волокна (инициаторы «ежей») удалялись. Отделение металлокорда от примеси щебня осуществлялось магнитным сепаратором. Данный вид очистки позволяет применить металлокорд в качестве армирующих элементов в бетонах различного назначения.

В табл. 4.3 приведены характеристики используемой фибры для изготовления фибробетона – металлокорд после механической переработки на установке КПШ-1 с различной степенью очистки и промышленная фибра.

Т а б л и ц а 4.3

Характеристики используемой фибры

Наименование фибры	Диаметр, мм	Длина волокна, мм	Прочность на растяжение, МПа	Модуль упругости, МПа	Удлинение при разрыве, %
Металлокорд после переработки (примесь резины 1–4 %)	0,22–1,0	6–15	2346	208 900	3,01
Металлокорд с дополнительной очисткой	0,22–1,0	6–12	2294	209 800	3.03
Фибра промышленная производства БМЗ ФСВ–М-0,2/12*	0,22–1,0	6–12	2280	210 000	3,00
Волновая стальная латунированная фибра ООО «Профит-М» Wavy FiBer*	0,3–1,0	6–12	1950	200 000	4,00

* Характеристика промышленной фибры принята по справочным материалам заводов-изготовителей.

Прочность дисперсно-армированных щебеночных бетонов. При получении дисперсно-армированных щебеночных бетонов использовалось дисперсное армирование из металлокорда и комплексных органоминеральных модификаторов. В качестве армирующих элементов приняты:

– тонкая промышленная стальная фибра $d=0,2-1,0$ мм, $l=12$ мм, ТУ ВУ 400074854.628-2009 (ОАО «Белорусский металлургический завод»);

– волновая стальная фибра $d=0,3-1,0$ мм, $l=12$ мм, Wavy FiBer ООО «Профит-М»;

– металлокорд, представляющий собой латунированную проволоку, получаемую путем переработки изношенных автомобильных шин $d=0,2-1,0$ мм, $l=8-12$ мм.

Комплексные органоминеральные добавки (КОМД), применяемые для модифицирования матрицы дисперсно-армированного бетона, сочетают в себе индивидуальные добавки различного функционального назначения. В качестве основной пластифицирующей добавки при проведении экспериментальной части работы использовался отечественный суперпластификатор С-3 на основе нафталинсульфокислоты, из суперпластификаторов нового поколения на поликарбоксилатной основе – гиперсуперпластификатор Sika ViscoCrete-20 GOLD производства Германии. Минеральным компонентом КОМД являлись реакционно-активные наполнители на основе техногенных отходов, образующихся в Пензенской области в процессе добычи природных каменных материалов, а также измельченные

местные строительные пески, не востребованные в технологии получения традиционных бетонов.

Процесс получения щебеночного фибробетона осуществлялся в две стадии. Первоначально предварительно перемешанные сухие компоненты бетона затворялись требуемым количеством воды с суперпластификатором С-3. Затем в подготовленную смесь при непрерывном перемешивании вводилось необходимое количество фибры. Такая технология введения стальных волокон позволила обеспечить необходимую равномерность распределения фибры по всему объему бетонной смеси (рис. 4.4).



Рис. 4.4. Распределение фиброволокон в бетонной смеси

Расход материалов на 1 м³ бетонной смеси составлял: цемент – 564 кг, песок – 564 кг, щебень – 1310 кг, суперпластификатор – 1 % от массы цемента. Дозировка стальных волокон в щебеночном бетоне не превышала 1,5 % по объему. Диаметр фибры изменялся от тонкой 0,2 мм до грубой 1,0 мм при длине до 12 мм, соотношение L/d – от 12 до 60. Водоцементное отношение непластифицированной бетонной смеси контрольного состава достигало 0,41, а пластифицированной, при обеспечении одинаковой удобоукладываемости, составляло 0,29. В качестве дисперсного наполнителя использовался тонкоизмельченный строительный песок месторождения Пензенской области в количестве 20 % от расхода цемента. Для приготовления опытных образцов применялись портландцемент марки ПЦ500-Д0 ОАО “Вольскцемент”, высокопрочный габбро-диоритовый щебень фр. 5–10 мм, марки по дробимости 1400, кварцевый песок фр. 0,125–5,0 мм с $M_{кр}=2,3$, сухой суперпластификатор С-3 Новомосковского химического комбината органического синтеза на основе нафталинсульфокислоты и формальдегида в количестве 1 % от массы цемента. Поскольку производство волновой металлической фибры диаметром 0,2 не налажено, использовалась промышленная волновая фибра диаметром 0,3 мм.

На рис. 4.5 и 4.6 представлены результаты сравнительного анализа влияния вида стальной фибры и ее геометрических характеристик на показатели прочности при сжатии и растяжения при изгибе щебеночного сталефибробетона.

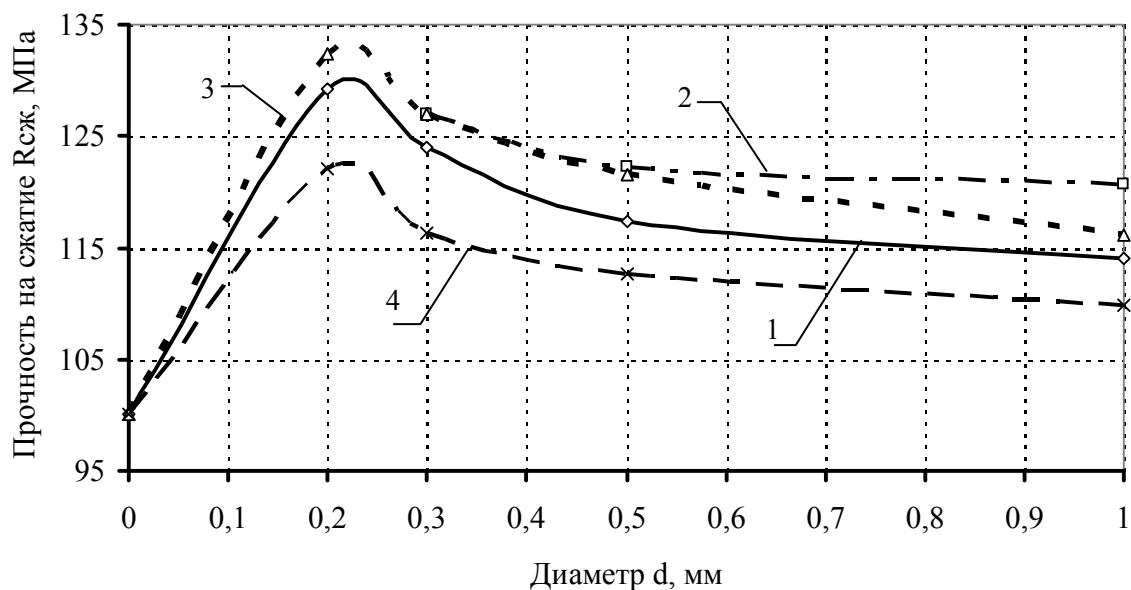


Рис. 4.5. Прочность дисперсно-армированного бетона при сжатии:
 1 – фибра промышленная плоская; 2 – фибра промышленная волновая;
 3 – металлокорд очищенный; 4 – металлокорд с примесью резины 1–4 %

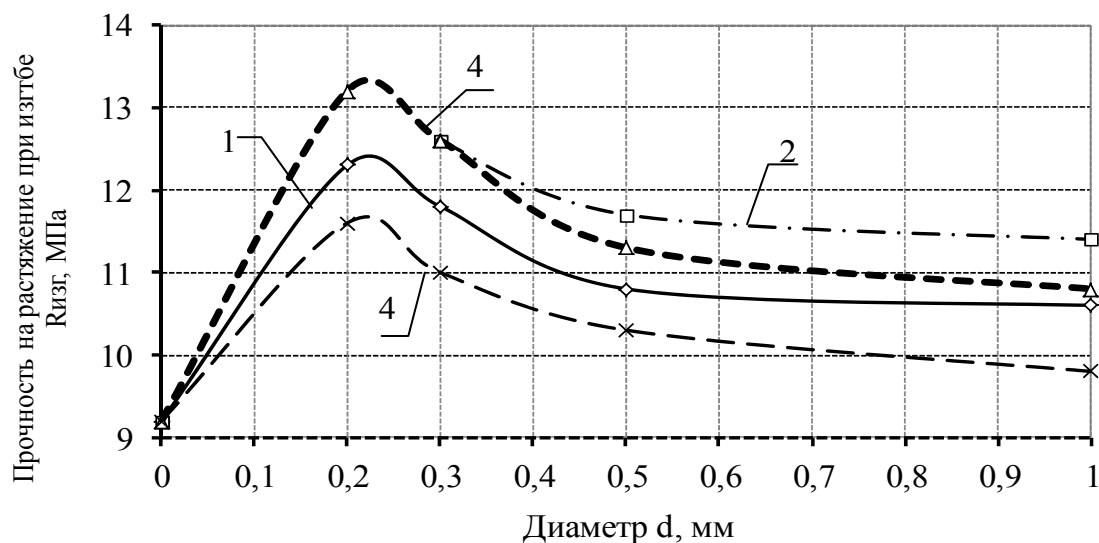


Рис. 4.6. Прочность дисперсно-армированного щебеночного бетона при изгибе:
 1 – фибра промышленная плоская; 2 – фибра промышленная волновая;
 3 – металлокорд очищенный; 4 – металлокорд с примесью резины 1–4 %

Как следует из рис. 4.6, общая тенденция изменения прочности в зависимости от диаметра используемых волокон имеет идентичный характер. Прочность фибробетона как на сжатие, так и на изгиб, превышает прочность фибробетона, армированного промышленной фиброй, на 4–5 % и 6–8 % соответственно. Отмеченное обстоятельство можно объяснить особенностями металлокорда, который имеет значительное количество

элементов механического анкерирования в виде «засечек», крючковатостей и изогнутостей. Выявлено, что металлокордовая фибра обладает большой поверхностью сцепления с матрицей бетона, а оптимальная длина фибры (10-12 мм) позволяет избежать комкуемости и обеспечить равномерное распределение волокон по всему объему смеси.

Использование неочищенного металлокорда (содержание резиновых включений 1–4 %) при изготовлении бетонной смеси позволило получить прочность на изгиб и сжатие 11,6 и 122,1 МПа соответственно, что на 6 и 9 % ниже показателей фибробетона, армированного промышленной фиброй, и на 26,1 и 22,4 % выше значений контрольного образца (без фибры). В дальнейшем, при увеличении диаметра вводимых волокон свыше 0,3 мм, кроме уже используемых армирующих элементов, были изготовлены образцы с промышленной волновой фиброй производства ООО «Профит-М».

В результате введения волокон диаметром 0,3 мм и выше у всех исследуемых образцов бетона наблюдалось плавное падение прочностных характеристик. Так, прочность на сжатие и изгиб образцов с волновой промышленной фиброй с увеличением диаметра волокон от 0,3 до 1 мм снизилась на 7,6 и 7,4 %, в то время как прочностные показатели фибробетона, армированного металлокордом с дополнительной очисткой, уменьшились на 12,7 и 9,2 % и приблизилась к прочности бетона, армированного плоской промышленной фиброй. Значительное снижение прочности образцов фибробетона на изгиб и сжатие, на наш взгляд, связано с тем, что с увеличением диаметра при неизменной длине металлокорд после механической переработки изношенных автошин теряет свои преимущества в геометрическом аспекте перед промышленной фиброй, т.к. становится более плоским (рис. 4.7), но при этом на его поверхности сохраняются засечки, что делает его применение предпочтительным по сравнению с плоской промышленной фиброй.

Снижение прочности образцов с использованием металлокорда без дополнительной доочистки при изгибе и сжатии составило 13,6 и 12,1 % соответственно.

Изменение прочности дисперсно-армированного щебеночного бетона в зависимости от степени армирования и вида используемых волокон представлено на рис. 4.8. При изготовлении образцов бетона в качестве армирующих волокон использовались промышленная фибра и металлокорд с дополнительной очисткой диаметром 0,22 мм.

Установлено, что оптимальная дозировка волокон металлокорда, обеспечивающая наибольшее повышение прочности на сжатие, составляет 1,5–2,0 %, в то время как оптимальная дозировка промышленной фибры не превышает 2,5 %. Увеличение дозировки стального волокна свыше 2,5 % приводит к уменьшению прочности независимо от вида используемого волокна, что, по-видимому, обусловлено переармированием бетона.

а



б

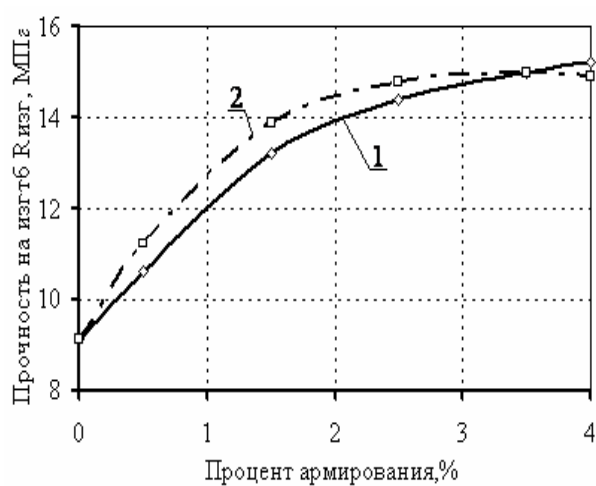


в



Рис. 4.7. Металлокord без дополнительной доочистки диаметром:
а – 0,2 мм; б – 1,0 мм; в – 0,2 мм после доочистки

а



б

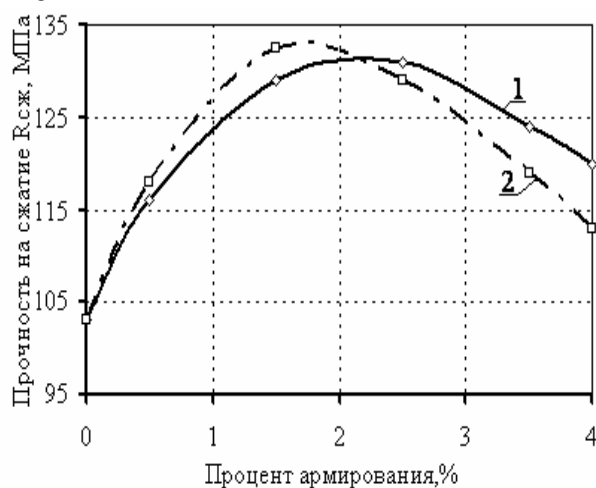


Рис. 4.8. Прочность щебеночного дисперсно-армированного бетона
в зависимости от степени армирования:

а – на изгиб, б – на сжатие;

1 – сталефибробетон с использованием промышленной фибры $d=0,22$ мм;
2 – то же с использованием металлокorda с дополнительной очисткой $d=0,22$ мм

С увеличением дозировки волокон от 0,5 до 2,5 % происходит закономерное повышение прочности сталефибробетона на растяжение при изгибе. Дальнейшее увеличение дозировки армирующих стальных волокон свыше 2,5 % нецелесообразно в связи с удорожанием стоимости 1 м³ бетона, а также со сложностями в обеспечении равномерности и однородности распределения волокон по всему объему бетонной смеси. Отмечено, что прочность на растяжение при изгибе сталефибробетона, армированного металлокордом, превышает аналогичный показатель сталефибробетона, армированного промышленной фиброй, на 6–8 %. Это также, вероятнее всего, связано с явлением более «развитой» поверхности металлокорда, что и способствует его качественному сцеплению с бетонной матрицей. В дальнейшем при увеличении дозировки армирующих элементов свыше 2,5 % наблюдается снижение прироста прочности всех исследуемых образцов, но более ярко это выражено в образцах с металлокордом. Так, при увеличении дозировки волокон от 2,5 до 3,5 % прочность на изгиб образцов с промышленной фиброй и металлокордом повысилась на 5,1 % и 2,2 % соответственно. Вероятнее всего, это связано с переармированием бетонной смеси и образованием ежей в образцах с металлокордом, т.к. неоднородное локальное распределение волокон приводит к значительному снижению прочности бетона на сжатие, осевое растяжение и растяжение при изгибе.

Установлены эксплуатационные показатели дисперсно-армированного щебеночного бетона, усиленного армирующими волокнами: водопоглощение – не более 2,6 %, усадочные деформации в условиях относительной влажности 70 % не превышают 2 мм/м, ударная прочность, фиксируемая по работе разрушения, не менее 29,46 Дж/см³.

Влияние вида и дозировки армирующих элементов на мелкозернистые бетоны средних марок для устройства цементной стяжки полов промышленных и гражданских зданий. К устройству полов промышленных и гражданских зданий предъявляются повышенные требования, так как во время эксплуатации они постоянно подвергаются повышенному воздействию статических, динамических и механических нагрузок. Эти нагрузки могут быть «точечными», от воздействия станков, ударными и «распределенными», связанными с истиранием. Все это заставляет проектировщиков разрабатывать «универсальные» полы, отвечающие заданным требованиям на каждом участке.

В гражданских зданиях с целью обеспечения звукоизоляции междуэтажных перекрытий под стяжку укладывается мягкий звуко- и гидроизолирующий материал толщиной 3–5 мм. При этом для обеспечения прочности конструкции средняя толщина стяжки по звукоизолирующему слою составляет 60 мм и более, что приводит к увеличению нормативной нагрузки на плиты перекрытия. Железобетонное перекрытие в эксплуа-

тируемых домах имеет ограничение по несущей способности (400 кг/м^2 – постоянная нагрузка и 150 кг/м^2 – временная нагрузка). При этом создаваемое давление на перекрытие (при использовании стяжки толщиной 60 мм и плотности мелкозернистого бетона 1800 кг/м^3) составляет 108 кг/м^2 . Отсюда следует, что такая стяжка воспринимает не менее 25 % несущей способности перекрытия. К тому же мелкозернистый бетон, применяемый для полов гражданских и промышленных зданий, является достаточно хрупким конструкционным материалом, его прочность на растяжение в 8–10 раз меньше прочности на сжатие. Повышение прочности на растяжение и изгиб обеспечивается армированием бетонных полов. Армирование производят либо с применением арматурной сетки или стержней, либо путем добавления в состав бетона стальных волокон (металлической фибры). Первый способ (традиционный) заключается в армировании сеточной арматурой диаметром 8–12 мм с ячейкой $150 \times 150 \text{ мм}$ (рис. 4.9а). При таком армировании зона влияния стержня арматуры расположена примерно в радиусе 3-х ее диаметров, а следовательно, зоны, в которых элементарные кубики бетона связаны арматурой, определяются как полуцилиндры, сечения которых в плоскости, перпендикулярной арматуре, представляют собой полукруг радиусом 25–36 мм. Эти полуцилиндры располагаются вдоль сторон ячеек сетки (рис. 4.9б). Следовательно, полученный таким образом железобетон, за исключением этой «армобетонной» сетки, является неармированным и становится зоной наиболее вероятного начала появления трещин и выбоин. Устранить отмеченные недостатки путем традиционного армирования невозможно по причинам как технологического, так и экономического характера.

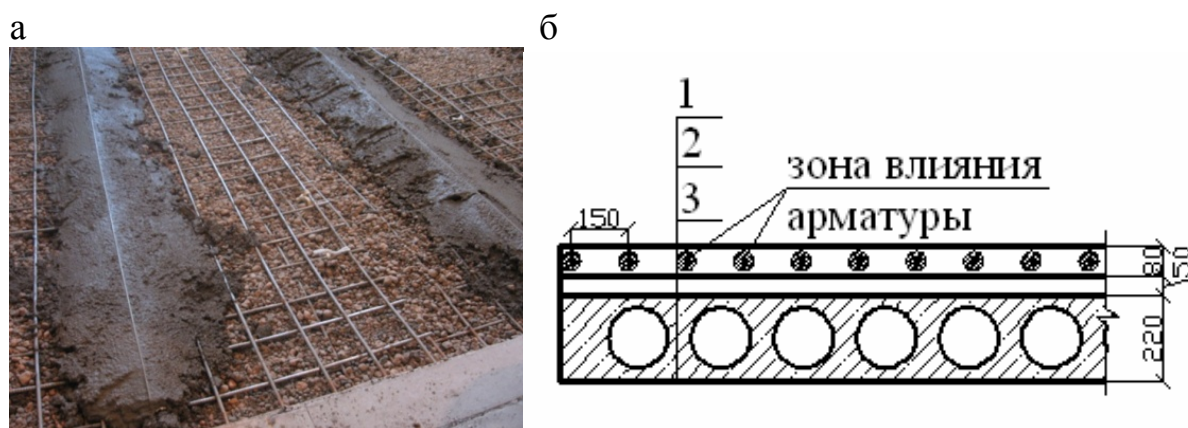


Рис. 4.9. Конструкция пола, армированного сеткой:

а – внешний вид; б – схема армирования:

1 – плита перекрытия; 2 – шумо- и звукоизоляционное покрытие;

3 – мелкозернистый бетон, армированный сеткой

Применение дисперсного армирования исключает подобные проблемы. Рост качественных физико-механических характеристик СФБ происходит из-за того, что дисперсные металлические волокна равномерно связывают

между собой элементарные объемы бетона вследствие того, что армируют его по всему объему, значительно увеличивают прочность бетона на растяжение при изгибе благодаря добавлению своего сопротивления растяжению. Хаотичное расположение стального волокна в объеме бетона способствует росту сопротивления растяжению во всех направлениях приблизительно одинаково. Данное явление также объясняет сравнительно малый рост прочности СФБ на сжатие, т.к. фибра только косвенно увеличивает сопротивление сжатию за счет существующего сопротивления отрыва друг от друга элементарных кубиков бетона в зонах растягивающих напряжений, образующихся на границе зоны непосредственного действия сил при сжатии образца. Рост прочности при растяжении и растяжение при изгибе происходят в основном за счет непосредственного включения волокна в процесс растяжения. Сопротивление сталефибробетона растяжению складывается из сопротивления разрыву самого бетона в совокупности со стальными волокнами, препятствующими отрыву друг от друга элементарных частиц бетона.

Процесс получения мелкозернистого фибробетона, как и щебеночного, осуществлялся в два этапа. На первом этапе предварительно перемешанные сухие компоненты бетона, включая порошковый суперпластификатор С-3 и минеральный компонент, затворялись требуемым количеством воды. На втором этапе в приготовленную таким образом смесь, при непрерывном перемешивании, вводилось необходимое количество просеянной через сито фибры. Составы и прочностные показатели мелкозернистых дисперсно-армированных бетонов приведены в табл. 4.4.

Т а б л и ц а 4.4

Состав и прочностные характеристики мелкозернистого бетона

№ п/п	Расход материалов на 1 м ³ бетонной смеси, кг		Вид и количество используемой фибры, %			В/Ц	Расплав конуса, см	Плотность, кг/м ³	Прочность на изгиб/сжатие, МПа		
	Цемент/ наполнитель	Песок	Промыш- ленная фибра	Металлокорд очищенный	Металлокорд с примесью резины (1-4 %)				1 сут	7 сут	28 сут
1	$\frac{445,5}{49,5}$	1650,0	—	—	—	0,40	115	2069	$\frac{1,83}{11,47}$	$\frac{3,36}{38,9}$	$\frac{5,01}{51,73}$
2	$\frac{445,5}{49,5}$	1520,6	—	1,5	—	0,42	116	2093	$\frac{3,91}{13,15}$	$\frac{7,11}{51,29}$	$\frac{7,95}{65,91}$
3	$\frac{445,5}{49,5}$	1517,1	—	—	1,5	0,42	117	2091	$\frac{3,62}{12,91}$	$\frac{6,84}{46,25}$	$\frac{7,32}{59,52}$
4	$\frac{445,5}{49,5}$	1520,6	1,5	—	—	0,42	116	2097	$\frac{3,93}{13,08}$	$\frac{7,06}{51,11}$	$\frac{7,93}{67,66}$

В качестве дисперсного наполнителя использовался тонкоизмельченные, наиболее доступные для Пензенского региона, мелкие пески с. Ухтинка. При анализе различных видов армирования рассматривались зоны наиболее слабого основания, так как принималось во внимание воздействие от точечной нагрузки. В полах, армированных сеткой, внимание обращалось на наиболее слабую зону, не подверженную влиянию арматуры (рис. 4.10). В фибробетоне при соблюдении технологии перемешивания и укладки все зоны имеют одинаковую прочность. На рис. 4.11 представлены испытания бетона на прочность при сжатии при различных вариантах армирования. Рассмотрены наиболее слабые зоны.



Рис. 4.10. Элементарная ячейка стяжки, армированной сеткой

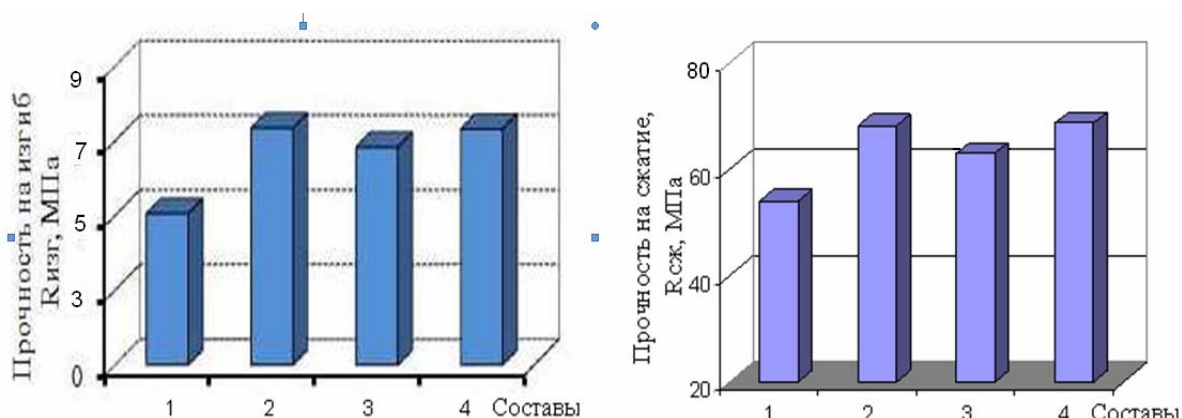


Рис. 4.11. Прочностные показатели мелкозернистого бетона при различных вариантах армирования:

- 1 – неармированный мелкозернистый бетон; 2 – мелкозернистый фибробетон, армированный промышленной фиброй; 3 – мелкозернистый фибробетон, армированный металлокордом с присутствием порошковой резины 1–4 %;
- 4 – мелкозернистый фибробетон, армированный очищенным металлокордом

Выявлено, что прочность мелкозернистого фибробетона превышает прочность на сжатие стяжки, армированной сеткой (в зоне обычного бетона), на 28–35 %, вне зависимости от вида фибры (металлокорд высокой степени очистки или промышленная фибра). Прочность стяжки из мелкозернистого фибробетона, армированного металлокордом с присутствием порошковой резины, 1–4 % превышает прочность стяжки, армированной сеткой, на 16–20 %. Металлокорд в таких бетонах распределяется равномерно, что подтверждает правильный характер разрушения образцов.

Прочность на изгиб образцов с металлокордом сопоставима с прочностью фибробетона, изготовленного с применением промышленной фибры, и составляет 6,3–6,5 МПа. Составы дисперсно-армированного бетона, полученного с применением металлокорда без дополнительной очистки, имеют показатель прочности на изгиб, превышающий контрольный на 30,5 % и незначительно отличающийся (не более 7 %) от показателя прочности образцов, изготовленных с применением промышленной фибры, что позволяет утверждать о возможности использования данных видов волокон при производстве полов гражданских зданий. При применении металлокорда как альтернативы промышленной фибре качество мелкозернистого сталефибробетона не снижается, а в некоторых случаях превосходит его. Перспективность данных видов волокон объясняется их невысокой стоимостью, что в бетонах низких марок делает их использование предпочтительным по сравнению с дорогостоящей фиброй.

Влияние вида армирующих элементов на реакционно-порошковые бетоны нового поколения. В связи с высокой экономической эффективностью реакционно-порошковых бетонов нового поколения, разработка и исследование их представляются чрезвычайно актуальными [6, 89, 91]. Основным достоинством и мотивацией появления таких бетонов является возможность использования каменных реакционно-активных порошков, изготавливаемых из тонких отсеков камнедробления и обогащения рудных ископаемых, ежегодный выход которых в мире достигает 100 млрд т, а также измельченной или отсеянной тонкой фракции кварцевого песка. Это отличает реакционно-порошковые бетоны от мелкозернистых (песчаных) и щебеночных бетонов [84].

В Пензенском государственном университете архитектуры и строительства в течение последних лет под руководством проф. В.И. Калашникова ведется разработка мелкозернистых высококачественных реакционно-порошковых бетонов нового поколения [85, 88, 89, 91]. Бетоны на реакционно-активных порошках из горных пород имеют высокую прочность и, как следствие, являются хрупким конструкционным материалом, требующим армирования [6]. С переходом на мелкозернистые порошковые фибробетоны повышается целесообразность использования дисперсной стальной фибры, в том числе из отходов. В таких бетонах полностью

реализуется однородность распределения фибры по всему объему бетона, а высокопрочная реакционно-порошковая матрица бетона в сочетании с дисперсными волокнами способствует формированию высокой прочности при сжатии и растяжении при изгибе [91]. В России бетоны на реакционно-активных порошках из горных пород практически не изучались и реально не изготавливались, в то время как за рубежом они начинают интенсивно использоваться при изготовлении различных конструкций, тонкостенных и высокоархитектурных, тавровых и двутавровых балок с комбинированным армированием, мостовых конструкций с прочностью бетона 130-150 МПа, получаемого из литой бетонной смеси с содержанием воды 9-11 % от массы сухих компонентов, с низким удельным расходом цемента на единицу прочности.

Выполнены сравнительные испытания мелкозернистого порошково-активированного бетона (состав 1), порошково-активированного фибробетона с использованием промышленной фибры (состав 2) и металлокорда (состав 3). Для изготовления опытных образцов применялись следующие исходные материалы (в пересчете на 1 м³): портландцемент ПЦ 500Д0 (ОАО «Вольскцемент») с удельной поверхностью $S_{уд} = 360 \text{ м}^2/\text{кг}$; кварцевый песок карьера Песчанка, Ртищевского р-на, Саратовской области, просеянный через сито 1,25 мм. Модифицирование цементной матрицы осуществлялось комплексными органоминеральными добавками. В качестве дисперсных наполнителей таких добавок использовались каменные реакционно-активные порошки на основе строительного песка месторождения с. Ухтинка Пензенской области, измельченного до удельной поверхности $S_{уд} = 408,4 \text{ м}^2/\text{кг}$, и Новокузнецкий микрокремнезем с содержанием $\text{SiO}_2 > 83 \%$, $p = 450 \text{ кг/м}^3$ 10 %. Органическим компонентом являлся гиперпластификатор С-3, вводимый в количестве 0,9 % от массы портландцемента. При разработке составов порошково-активированных бетонов была использована структурообразующая функция комплексного введения органоминеральных модификаторов (КОМД) из природных и техногенных отходов в сочетании с армирующими элементами из металлокорда (табл. 4.5 и 4.6).

Т а б л и ц а 4 . 5

Составы реакционно-порошковых бетонов

№ состава	Расход материала на 1 м ³					Фибра, кг	
	Цемент, кг	Мелкий заполнитель, кг	Напол- нитель, кг	С-3, кг	Вода	Промыш- ленная	Металлокорд
1	715,0	1473	214,5	7,2	231	—	—
2	709,0	1247	212,7	7,1	207	234	—
3	712,0	1241	213,6	7,1	218	—	234

Таблица 4.6

**Физико-механические и реологические показатели
реакционно-порошковых бетонов**

№ состава	В/Ц	Плотность фактическая, кг/м ³	Прочность на растяжение при изгибе и сжатии $R_{изг}/R_{сж}$ в возрасте, МПа		
			1 сут	7 сут	28 сут
1	0,320	2376	8,1/52,1	10,6/123,6	15,9/125,2
2	0,292	2481	15,0/72,4	19,6/148,8	22,1/180,2
3	0,306	2465	14,4/71,9	20,1/133,1	21,8/178,8

Примечание. Расплыв конуса Хагерманна составлял 295×300 мм.

В качестве армирующих элементов приняты промышленная стальная фибра производства БМЗ диаметром 0,22 мм, длиной 12 мм и металлокорд длиной 10–12 мм. Расход фибры не превышал 1,5 % от массы сухой смеси. Соотношение l/d составляло 60 единиц. Водотвердое отношение без учета массы фибры В/Т= 0,1, водоцементное достигало 0,307. Перемешивание бетонной смеси осуществлялось миксером при скорости вращения 300-600 об/мин. Бетонная смесь с фиброй имела самопроизвольный расплыв из конуса Хагерманна 285-300 мм.

Как следует из результатов испытаний (см. табл. 4.5), прочность в возрасте 28 сут фибробетона, дисперсно-армированного металлокордом (без содержания резины), уступает прочности фибробетона, армированного промышленной фиброй, на 9,3 % и составляет 168 и 180 МПа соответственно.

Прочность на растяжение при изгибе составляет 22,1 МПа для фибробетона, армированного промышленной фиброй, и 21,3 МПа – армированного металлокордом. Отношение прочности на сжатие к прочности на изгиб равно 9,4. Этот показатель для обычных высокопрочных неармированных бетонов достигает 10, т.е. такие бетоны имеют хрупкий характер разрушения. Уменьшение этого показателя определяет дуктильный (пластичный) характер разрушения.

Разрушение образцов подтвердило равномерное распределение металлокорда по всему объему бетона (рис. 4.12).



Рис. 4.12. Распределение металлокорда в теле порошкового бетона

Выявлено, что использование металлокордовой фибры диаметром не более 0,2 мм с определением возможности замены ею промышленной фибры становится актуальным направлением, имеющим высокое ресурсосберегающее значение.

4.3. Эксплуатационные показатели фибробетона с использованием техногенных отходов

Влияние вида и дозировки армирующих элементов на ударную прочность фибробетона. Для испытания дисперсно-армированного щебеночного и мелкозернистого бетона на ударную прочность были изготовлены образцы-кубы с ребрами 50 мм. В качестве армирующего элемента использовались: тонкая промышленная стальная фибра $d=0,2-1,0$ мм, $l=12$ мм, ТУ ВУ 400074854.628–2009 (ОАО «Белорусский металлургический завод»); металлокорд, представляющий собой латунированную проволоку, получаемую путем переработки изношенных автомобильных шин $d=0,2-1,0$ мм, $l=8-12$ мм.

Бетон испытывался на копре, который состоит из металлической станины, переходящей в стальную наковальню. По закрепленным к станине двум направляющим колонкам движется рамка, к которой подвешена гири массой 2000 г. Удары гири по образцу наносят через прижимной подбавок – цилиндр, конец сферической формы которого имеет радиус 1 см. Разрушение бетона определяется визуально, в момент появления на нём первой трещины.

Ударная прочность оценивалась по величине работы, затрачиваемой на разрушение образца и отнесённой к его объёму. Работа разрушения определялась по формуле

$$A = \frac{P \cdot (1 + 2 + 3 + \dots + n)}{V},$$

где P – масса гири, кг;

$1, 2, 3, \dots, n$ – порядковый номер удара, разрушившего образец;

V – объём образца, см³.

Установлено, что величина ударной прочности образцов высокопрочного щебеночного и мелкозернистого бетонов контрольного состава составила 13,59 и 7,3 Дж/см³ соответственно. Работа, затраченная на разрушение дисперсно-армированного щебеночного бетона, изменялась в зависимости от вида и дозировки используемых армирующих волокон от 26,8 до 62 % для мелкозернистых и 36,4 до 53,9 % для щебеночных соответственно.

Выявлено понижение показателя ударной прочности щебеночного дисперсно-армированного бетона с увеличением дозировки используемого волокна свыше 1,5 %. Максимальный показатель ударной прочности высоко-

коппрочного и мелкозернистого дисперсно-армированного бетона с волокнами промышленной фибры и металлокорда высокой очистки составил 27,84 и 29,46 Дж/см³ соответственно, что превышает контрольное значение неармированного бетона. Появление первой трещины щебеночного дисперсно-армированного бетона зафиксировано после приложения 55 ударов (промышленная фибра) и 58 ударов (металлокорд), трещинообразование бетона контрольного состава наступило сразу же после нанесения 27 ударов, при этом ширина раскрытия первой трещины в бетоне контрольного состава достигала 1 мм, а в дисперсно-армированном бетоне не превышала 0,2 мм.

Т а б л и ц а 4 . 7

Работа разрушения образцов в зависимости от вида
и содержания армирующего элемента

Вид бетона	Вид волокна	Содержание волокна, %	Работа, затраченная на разрушение образца, Дж/ см ³
1	2	3	4
Дисперсно- армированный щебеночный бетон	-	—	13,59
	Промышленная фибра	1,0	26,47
		1,5	27,84
		2,0	23,06
	Металлокорд дополнительной очисткой	1,0	27,68
		1,5	29,46
		2,0	22,10
Дисперсно- армированный мелкозернистый бетон	-		7,3
	Промышленная фибра	1,0	11,43
		1,5	14,32
		2,0	18,11
	Металлокорд дополнительной очисткой	1,0	12,08
		1,5	14,63
		2,0	18,98
	Металлокорд дополнительной очисткой	1,0	9,98
		1,5	12,21
		2,0	16,34

Установлено, что наибольшую работу разрушения (29,46 и 27,84 Дж/см³) имеет высокопрочный щебеночный бетон, армированный металлокордом с дополнительной очисткой и промышленной фиброй в количестве 1,5 %.

Графические зависимости изменения работы, затраченной на разрушение образца, приведены на рис. 4.13.

В мелкозернистых бетонах появление первой трещины зафиксировано после приложения 26 ударов (промышленная фибра), 29 ударов (металлокорд) и 22 ударов (металлокорд без дополнительной очистки), трещинообразование бетона контрольного состава наступило сразу же после

нанесения 11 ударов. Характер трещинообразования дисперсно-армированного бетона, в зависимости от качества очистки металлокорда, представлен на рис. 4.14.

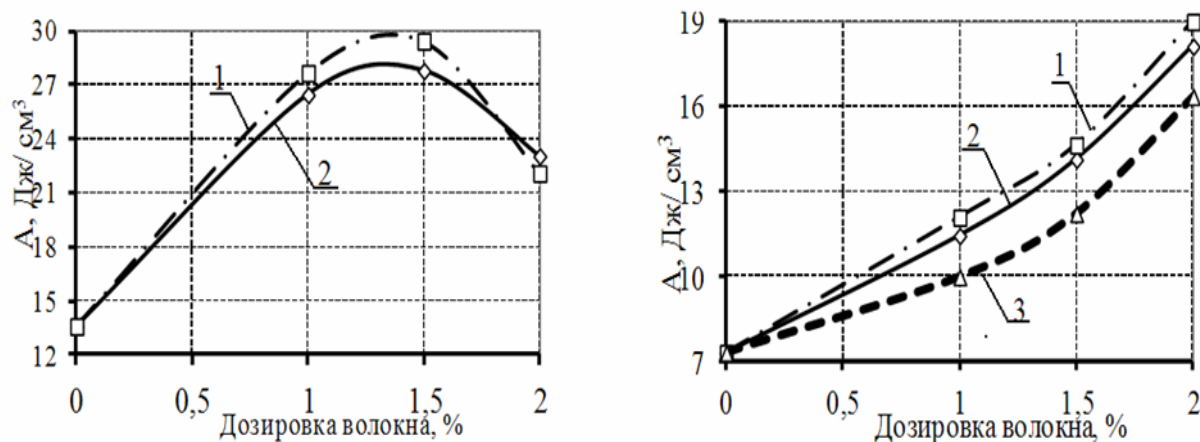


Рис. 4.13. Работа разрушения фибробетона в зависимости от дозировки и вида волокон:
 а – дисперсно-армированные щебеночные бетоны;
 б – дисперсно-армированные мелкозернистые бетоны;
 1 – фибробетон с использованием промышленной фибры;
 2 – то же металлокорда с дополнительной очисткой;
 3 – то же металлокорда без дополнительной очистки

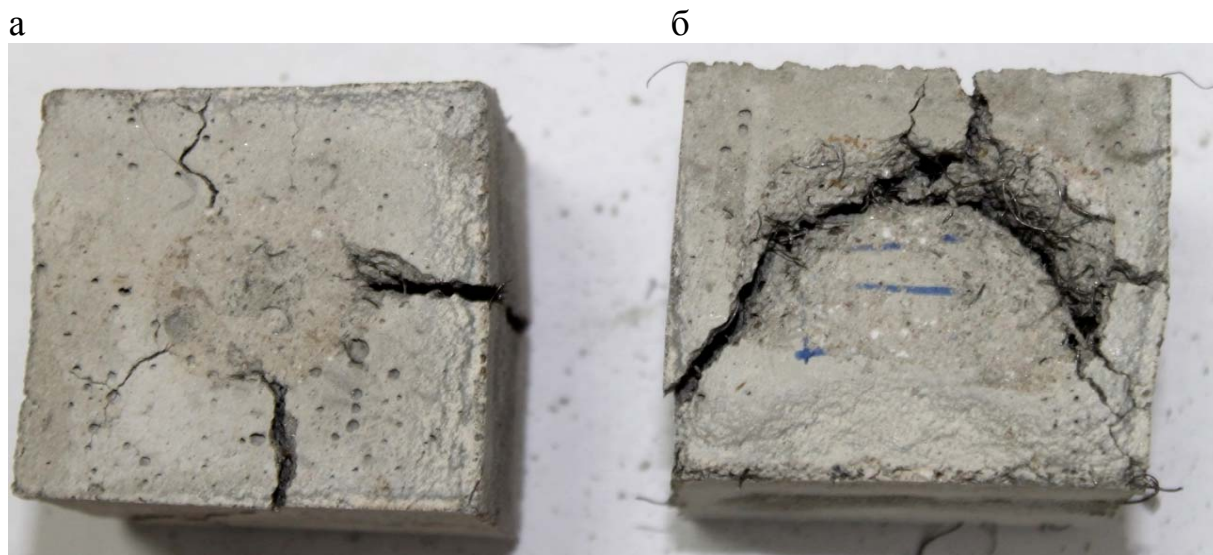


Рис. 4.14. Характер трещинообразования дисперсно-армированного мелкозернистого бетона:
 а – при использовании очищенного металлокорда;
 б – при использовании металлокорда с примесью резины

Показатель работы разрушения образцов мелкозернистого бетона с металлокордом с дополнительной очисткой на 5–7 % выше по сравнению с использованием промышленной фибры. Испытания мелкозернистого бетона показали, что трещиностойкость при введении армирующих волокон до 2 % возрастает на 50–70 % и дальнейшее увеличение армирующих элементов приведет к повышению данных характеристик.

Влияние вида и качества волокон на основе техногенных отходов на истираемость фибробетона. Показатели истираемости бетона очень важны при устройстве полов из мелкозернистого бетона.

Истираемость бетона определялась на образцах-кубах 70×70×70 мм по ГОСТ 13087–81 «Бетоны. Методы определения истираемости». Испытания проводились на круге истирания ЛКИ-3. Испытанию на истираемость подвергали нижние грани образцов. Перед испытанием образцы взвешивали и измеряли площадь истираемых граней. После проведения 4-х циклов испытаний для каждого образца (общий цикл истирания составляет 600 м) образцы вынимали из гнезд крепления, обтирали сухой тканью и взвешивали. Истираемость бетона определялась по потере массы испытанных образцов (рис. 4.15).



Рис. 4.15. Истираемая поверхность образца дисперсно-армированного мелкозернистого бетона

В табл. 4.8 представлены результаты потери массы образцов в зависимости от вида армирующего элемента.

Таблица 4.8

Результаты испытаний образцов мелкозернистого фибробетона на истираемость

№ п/п	Расход материалов на 1м ³ бетонной смеси, кг		Вид и количество используемой фибры, %			Проч- ность на сжатие, МПа	Масса образца до испы- тания, г	Масса образца после испы- тания, г	Площадь истираемой поверх- ности, см ²	Истираемость бетона, г/см ²	
	Цемент/ напол- нитель	песок	Промыш- ленная фибра.	Метал- локорд очищенный.	Металлокорд без дополнительной очистки					Отдельных образцов	Средняя
1	$\frac{445,5}{49,5}$	1650,0	-	-	-	51,73	785,78	712,22	49,7	1,48	1,55
							775,60	700,30	50,19	1,56	
							767,05	685,31	50,77	1,61	
2	$\frac{445,5}{49,5}$	1520,6	-	1,5	-	65,91	772,43	743,62	47,22	0,57	0,56
							778,85	749,82	50,05	0,58	
							800,71	775,66	51,12	0,53	
3	$\frac{445,5}{49,5}$	1517,1	-	-	1,5	59,52	782,5	730,68	49,35	1,05	1,04
							781,02	733,18	49,69	0,95	
							764,91	707,25	51,48	1,12	
4	$\frac{445,5}{49,5}$	1520,6	1,5	-	-	67,66	802,38	773,89	48,29	0,59	0,55
							787,37	762,08	49,58	0,51	
							771,58	744,50	51,09	0,53	

Выявлено, что введение в состав бетона волокон металлокорда или промышленной фибры снижает показатели истираемости на 63,87 % и 64,51 % соответственно. Следовательно, использование в качестве дискретной арматуры металлокорда с высокой степенью очистки обеспечивает фиброраствору высокие физико-механические и эксплуатационные показатели, с применением как промышленной фибры, так и металлокорда.

Прочность фибробетона с использованием металлокорда неочищенного (с примесью резины до 4 %) также понижает показатель истираемости образцов на 32,9 %. Это свидетельствует о возможности применения металлокорда в растворах без дополнительной очистки, что позволит снизить энергозатраты на доочистку и тем самым уменьшить стоимость конечной продукции.

Определение уровня ударного шума в зависимости от вида используемого волокна. В настоящее время конструктивное устройство перекрытия состоит из плиты перекрытия и стяжки толщиной 20-40 мм. Данная конструкция формально удовлетворяет требованиям СНиП 23-03–2003 «Защита от шума». Недостатком используемой конструкции является ее низкая эффективность при ударном шуме. Применение металлокорда с содержанием резины до 4 % (без дополнительной очистки) наряду с повышением прочностных и эксплуатационных характеристик, на наш взгляд, должно улучшить показатель ударного шума.

Сравнительные испытания на изменение значения ударного шума образцов, в зависимости от применяемой фибры в сталефибробетоне, выполнялись по следующей методике. Изготавливался картонный короб размерами 200×200×1200 мм. На дно короба на предварительно установленную подложку укладывались образцы-кубы размерами 50×50×50 мм. На высоте 1000 мм в стене короба устанавливался микрофон с подключенным к нему прибором ВШВ-3 для определения ударного шума (рис. 4.16).

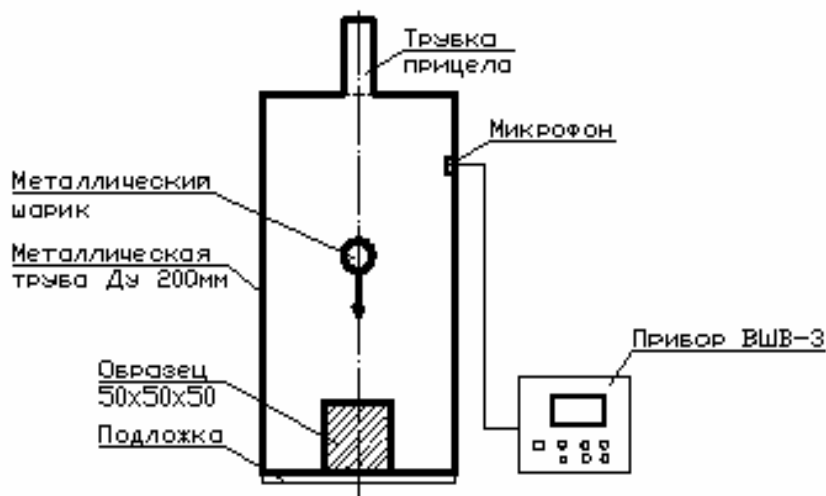


Рис. 4.16. Экспериментальная схема по определению снижения ударного шума

В верхней части короба монтировалась трубка-прицел, через которую направлялся металлический шарик массой 50 г, который, по закону Ньютона, ударял по бетонному образцу. Показатель ударного шума оценивался по результатам 5-ти испытаний каждого из трех образцов каждого состава. Испытания проводились в помещении, отвечающем требованиям ГОСТ 27296–87 «Защита от шума в строительстве. Звукоизоляция ограждающих конструкций».

Результаты исследований приведены в табл. 4.9.

Т а б л и ц а 4 . 9

Показатели уровня ударного шума

№ состава	Расход материалов на 1 м ³ бетонной смеси, кг		Расход дисперсно-армирующих заполнителей на 1 м ³ бетонной смеси, %			Плотность, кг/м ³	Уровень ударного шума, дБ
	Цемент/наполнитель	Песок	Промышленная фибра	Металлокорд очищенный	Металлокорд с примесью резины (1–4 %)		
1	$\frac{445,5}{49,5}$	1650,0	–	–	–	2069	52,5
2	$\frac{445,5}{49,5}$	1520,6	–	1,5	–	2093	54,2
3	$\frac{445,5}{49,5}$	1517,1	–	–	1,5	2091	52,5
4	$\frac{445,5}{49,5}$	1520,6	1,5	–	–	2097	54,3

Установлено, что ударный шум в образцах с примесью резины снизился на 1,5–2 дБ, что в комплексе с мероприятиями по шумоизоляции горизонтальных ограждающих конструкций в гражданских зданиях может иметь дополнительное положительное значение.

Глава 5. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ В ПРОИЗВОДСТВЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРОДУКТОВ ПЕРЕРАБОТКИ ИЗНОШЕННЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ШИН

5.1. Инновационные технологии создания эффективных строительных материалов с использованием отходов

На протяжении последних лет в Пензенской области активно развивается инновационный сектор экономики. По данным Национальной ассоциации инноваций и развития информационных технологий (НАИРИТ), Пензенская область занимает 3-е место среди регионов с высокой инновационной активностью (данные 2009 г). Актуальным направлением инновационного развития экономики Пензенской области является создание инфраструктуры для инновационной деятельности, в том числе в вузах области.

В ПГУАС совместно с предприятием ООО «Техноком» и Пензенским заводом ОАО «Пензмаш» создано малое инновационное предприятие НПП «Экоресурс». Основное направление деятельности МИП:

- вывод на рынок высокоэффективного и высококачественного инновационного напольного и кровельного материала из продуктов переработки изношенных автомобильных шин;
- создание современного высокотехнологического комплекса, включающего в себя: оборудование по безотходной переработке изношенных автомобильных шин; оборудование по производству продукции на основе резиновой крошки; систему организации сбора отходов в городах России;
- разработка законопроектов местного уровня с целью создания системы сбора и утилизации изношенных автомобильных шин.

Деятельность НПП «Экоресурс» способствует совершенствованию учебного процесса, обеспечивает привлечение к инновационной деятельности студентов, магистрантов и аспирантов.

В настоящее время на базе НПП «Экоресурс» разработана технологическая линия по изготовлению напольных и кровельных покрытий, отделочных материалов с использованием в качестве основного сырьевого компонента порошковой резины. Активно ведутся переговоры с ОАО «Чеховский регенератный завод» (г.Чехов, Московская обл.) о внедрении данной линии на предприятии.

На основе известных разработок на первом этапе внедрения инновационных технологий выполнены работы по организации производства травмобезопасных напольных покрытий (рис. 5.1 а, б).

а



б



в



г



Рис. 5.1. Разработанные материалы на основе резиновой крошки:
а, б – травмобезопасные покрытия; в, г – резиновая гибкая черепица

Вторым этапом явилась разработка технологического регламента получения резиновой гибкой черепицы на основе основного компонента переработки автошин – резиновой крошки. Основные предпосылки создания отечественной гибкой черепицы изложены в гл. 3.

Разработанная технологическая линия представляет собой комплект автономных полуавтоматических агрегатов, расположенных в технологической последовательности, с использованием основного, транспортного и вспомогательного оборудования.

Технологический процесс получения резиновой гибкой черепицы состоит из следующих технологических модулей:

- смесительного модуля (модуль подготовки сырьевой смеси);
- подготовки и подачи связующего;
- нанесения гранулярного покрытия;
- прессования;
- термообработки и сушки.

На рис. 5.2 представлена технологическая схема изготовления резиновой кровельной черепицы.

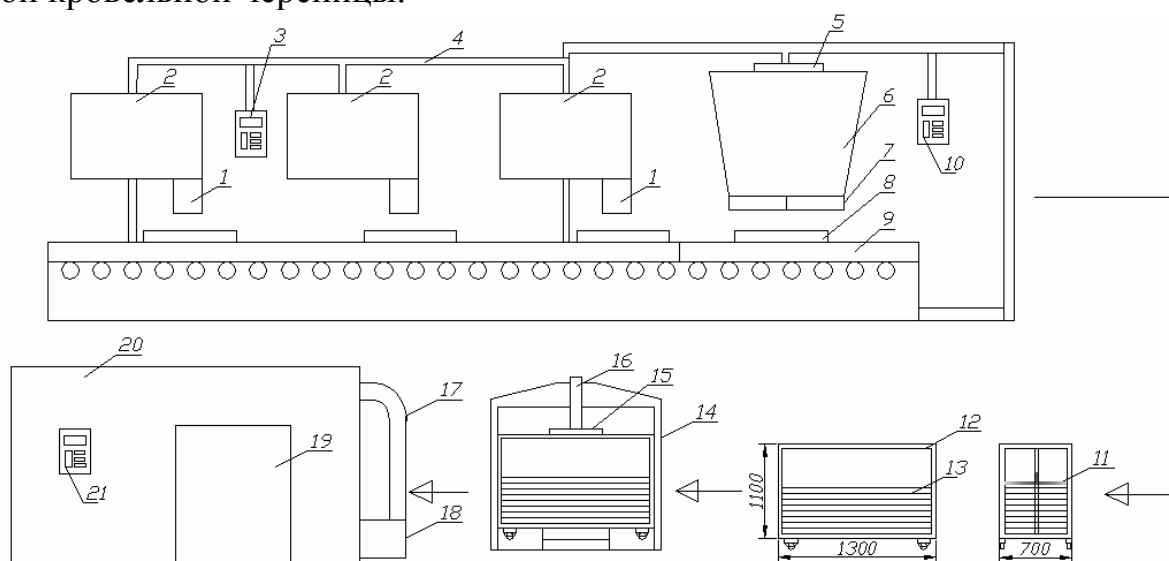


Рис. 5.2. Технологическая линия по производству резиновой кровельной черепицы:

1 – дозатор сырьевой смеси; 2 – смеситель; 3 – пульт управления миксерами;
 4 – рама для крепления системы миксеров; 5 – сито для просеивания декоративного материала; 6 – бункер декоративного материала; 7 – система рассылки декоративного слоя; 8 – пресс-формы; 9 – виброконвейер; 10 – пульт управления бункером; 11 – крепежный элемент; 12 – тележка-рама; 13 – деревянные кассеты; 14 – рама пресса; 15 – распределитель нагрузки; 16 – пресс гидравлический; 17 – вентканал термокамеры; 18 – редуктор вытяжки термокамеры; 19 – вход в термокамеру; 20 – термокамера; 21 – пульт управления технологическими режимами в термокамере

Сырье (резиновая крошка) должно отвечать требуемым показателям по гранулометрическому составу и морфологии поверхности.

Технологический процесс получения кровельной черепицы заключается в следующем. Подготовленная по заданной рецептуре литевая смесь перемешивается в системе миксеров 2 с дозаторами 1, состоящей из трех смесителей. Конструктивно смеситель представляет собой закрепленную на раме 4 цилиндрическую емкость 2, к раме 4 прикреплена пластина, на которой установлен червячный мотор-редуктор. Выходной вал редуктора проходит через ступицу по оси цилиндра внутрь емкости, на конце вала закреплены перемешивающие лопасти смесителя, устроенные таким образом, что на них не налипает смесь за счет использования на каждой лопасти по два прутка диаметром 6 мм, которые расположены вертикально. Включать смеситель необходимо до засыпки в емкость сырьевой смеси, разгрузка ведется автоматически, с помощью весового дозатора 1. Система смесителей обеспечивает соблюдения рецептурных факторов при производстве различных видов продукции (рис. 5.3). Из миксеров с помощью дозаторов 1 смесь подается в пресс-формы 8 (см. рис. 5.2).



Рис. 5.3. Система смесителей

Заполненные сырьевой смесью пресс-формы 8 по виброконвейеру 9 подаются в зону напыления декоративного слоя. Процесс напыления можно выполнять двумя способами: ручным и автоматическим. При ручном способе взвешенный декоративный материал наносится на поверхность равномерным слоем с одновременным разглаживанием. При автоматическом – используется бункер 6 с дозатором 7, с помощью которого равномерно наносится декоративный слой. Конструкция бункера представляет собой закрепленную на раме 4 цилиндрическую емкость 6 с люком для заполнения материалом 5 и выходным отверстием 7, на котором установлено требуемое сито. При производстве кровельного материала рассев производится только на слой меньшей толщины (половина заполненной площади пресс-формы). Бункер с помощью дозатора поступательным движением, которое осуществляется в автоматическом режиме со скоростью 0,2 м/с, рассеивает заданное количество отделочного материала. На всех этапах производства задействованы металлические пресс-формы 8, выполненные из стального листа толщиной 2 мм, различной конфигурации. Далее пресс-формы ручным способом укладываются в специальные кассеты 13, изготовленные из дерева (фанера) и имеющие технологические отверстия необходимого размера. Пресс-формы накрываются специальными крышками различного сечения, выполненными из дерева. На крышках с одной стороны устроены пластины из металла или фторопласта.

Кассеты с пресс-формами закладываются в специальные тележки-рамы 12, изготовленные из металлических, сваренных между собой труб прямоугольного сечения. С двух торцевых сторон устанавливаются крепежные элементы-замки 11, предназначенные для фиксации кассет после снятия нагрузки пресса. На кассеты с сырьевой смесью, установленные в тележках-рамах 12, с помощью пресса 16 мощностью 8 кВт подается равномерно распределенная нагрузка. Для прессования используется обычная рама, в которую устанавливается тележка 14. После достижения прессом

заданного давления кассеты в рамной тележке фиксируются замками 11, нагрузка снимается, и тележка выкатывается из-под пресса. Далее тележка перемещается в термокамеру 20, состоящую из шести отсеков, отделенных друг от друга. На каждые два отсека предусмотрен отдельный нагревательный элемент мощностью до 6 кВт, что позволяет сохранить постоянную заданную технологией температуру. С помощью пульта управления температурными режимами камеры 21 устанавливается технологический режим прогрева. Для выравнивания температуры по объему термокамера оснащена вентилятором циркуляции воздуха 18. После выдержки сырьевой смеси в термокамере (рис. 5.4) тележки-рамы расформовываются, продукция складировается для остаточной полимеризации на стеллажах.



Рис. 5.4. Термокамера для изготовления резиновой гибкой черепицы

Преимуществами технологической линии являются малая трудоемкость, высокая производительность, достигающая 200 м² продукции в сутки, низкая энергопотребляемость (до 20 кВт·ч). Основные агрегаты технологической линии показали стабильную, отлаженную работу.

В настоящее время ведутся работы по замене полиуретанового связующего на «сшиватель» из отходов пластика.

5.2. Технико-экономическое обоснование создания эффективных строительных материалов с использованием изношенных автомобильных шин

Технико-экономическая эффективность предлагаемых ресурсосберегающих строительных материалов обусловлена использованием в качестве сырьевого ресурса техногенных отходов.

Технико-экономическая эффективность производства напольных покрытий. Технико-экономическая эффективность напольных покрытий оценивалась по двум сравниваемым вариантам: 1) вариант изготовления

напольного покрытия толщиной не менее 40 мм с применением резиновой крошки, полученной упругодеформационным способом на установке КПШ-1; 2) вариант изготовления напольного покрытия толщиной 40 мм с использованием резиновой крошки других производителей. Стоимость аренды помещения, оплаты труда рабочих, коммунальные услуги и т.д. условно не учтены. Качественные показатели напольных покрытий, изготовленных по предлагаемой технологии с применением установки по переработке шин КПШ-1 и технологии, используемой в КНР, представлены в табл. 5.1.

Т а б л и ц а 5 . 1

Качественные показатели напольных покрытий

Наименование показателей	Ед. изм.	Качественные показатели напольных покрытий, изготовленные по сравниваемым технологиям.	
		Технология КНР	Предлагаемая технология
Плотность	кг/м ³	700–1100	750–1150
Прочность при 10 % деформации, не менее	МПа	0,65	0,72
Истираемость, не более	г/см ²	0,05	0,04
Водопоглощение, не более	%	8	6
Гибкость при температуре минус 10 °С	–	Отсутствуют трещины и изломы	Отсутствуют трещины и изломы
Теплостойкость, не менее	°С	80	80
Морозостойкость, не менее	Цикл.	200	200

Отличительной особенностью изготовления напольных покрытий является холодный метод формования, что позволяет сохранить высокие упругодеформационные и эксплуатационные характеристики конечной продукции. Расчет стоимости сырьевых компонентов для производства напольных покрытий толщиной 40 мм представлен в табл. 5.2.

Выявлено, что стоимость сырьевых компонентов для получения напольных покрытий изменяется в пределах 730–1030 руб./м², что и подтверждает низкую рентабельность аналогичных производств. Стоимость сырьевых компонентов для изготовления напольных покрытий с использованием установки КПШ-1 по оптимизированной рецептуре снизилась на 4,5–6,5 % по отношению к стандартному производству на оборудовании КНР. Физико-механические и эксплуатационные показатели опытных образцов напольных покрытий, изготовленных по сравниваемым вариантам, идентичны (см. табл. 5.1).

Таблица 5.2

Стоимость сырьевых материалов для производства напольных покрытий

Наименование сырьевых компонентов	Ед. измерения	Стоимость, руб.		Расход материала на 1 м ² напольного покрытия, кг		Стоимость материала по сравнимым вариантам, руб./м ²		
		При наличии собственного оборудования КПШ-1	При закупке крошки	По технологии КНР	По предлагаемой технологии	По технологии КНР		По предлагаемой анной технологии
						При наличии собственного оборудования КПШ-1	При закупке крошки	
Резиновая крошка	т	113	21	26,21	26,38	296,17	550,41	298,1
Полиуретановое связующее	т	115,3	115,3	2,44	2,16	39,2	39,2	39,2
Минеральный краситель	т	174,5	174,5	0,340	0,340	425,78	425,78	376,92
Потребление энергии	кВт.ч	5	5	3,6	3,2	18,0	18,0	16,0
		ИТОГО:				779,15	1033,39	730,22
								986,10

Примечание. Приведена усредненная стоимость материалов по данным различных поставщиков и производителей.

Технико-экономическое обоснование производства гибкой черепицы на основе резиновой крошки. Аналогично оценивалась эффективность производства отечественной гибкой черепицы .

Т а б л и ц а 5.3

Стоимость сырьевых материалов для производства кровельного покрытия

Наименование сырья	Ед. изм.	Стоимость, руб.		Расход сырьевых компонентов на 1 м ² кровельного покрытия, кг	Стоимость сырья по сравниваемым вариантам, руб. /м ²	
		При наличие собственного оборудования КППШ-1	При закупке крошки		При наличии собственного оборудования КППШ-1	При закупке крошки
Резиновая крошка различной фракции	т	11,3	21	4,56	51,52	95,76
Полиуретановое связующее	т	115,3	115,3	0,461	53,15	53,15
Минеральный краситель	т	174,5	174,5	0,046	8,03	8,03
Потребление энергии	кВт.ч	5	5	0,39	1,95	1,95
ИТОГО:					114,65	158,89

Примечание. Приведена усредненная стоимость материалов по данным различных поставщиков и производителей.

Установлено, что стоимость сырьевых материалов для получения отечественной кровельной гибкой черепицы составляет 115–160 руб./м², что значительно ниже стоимости сырья, требуемого для производства напольных материалоемких покрытий. В данном сегменте рынка наиболее популярна битумная черепица (Шинглас, Руфлекс и т.д.), стоимость которой составляет 600–900 руб./м². Очевидно, что производство отечественной гибкой черепицы с использованием в качестве основного сырьевого компонента резиновой крошки- продукта переработки изношенных шин, обеспечивает получение продукции с высокой добавленной стоимостью, что позволяет говорить о высокой рентабельности технологии, позволяющей переработчикам активизироваться в области разработки системы по сбору и утилизации изношенных автошин.

Технико-экономическое обоснование замены промышленной фибры. Проведенные исследования позволили оценить эффективность замены промышленной фибры на металлокорд. Для экономического обоснования применения фибры произведен расчет технико-экономической эффектив-

ности замены фибры для получения высокопрочных бетонов (табл. 5.4). Как было показано ранее, производство высокопрочных и высококачественных дисперсно-армированных бетонов требует использования металлокорда с дополнительной очисткой. В качестве минерального компонента принят измельченный строительный песок ориентировочной стоимостью 360 руб./т.

Т а б л и ц а 5.4

Стоимость сырьевых компонентов
дисперсно-армированного высокопрочного бетона

Наименование сырья	Ед. измерения	Стоимость, руб.	Расход материала на 1 м ³		Стоимость материала, руб.	
			СФБ с пром. фиброй	СФБ с металлокордом	СФБ с пром. фиброй	СФБ с металлокордом
Цемент	т	3800	504,0	504,0	1915,2	1915,2
Минеральный наполнитель	т	360	50,4	50,4	18,14	18,14
Песок	т	600	560,0	560,0	336	336
Щебень	т	480	1183,01	1183,01	567,84	567,84
Суперпластификатор С-3	т	230 000	5,6	5,6	1288,0	1288,0
Вода	м ³	120	162,32	162,32	19,48	19,48
Стальная фибра $d=0,2$ мм	т	35000	120,0		4200,0	
Металлокорд	т	10 000		120,0		1200,0
Итого:					8344,66	5344,66

Стоимость металлокорда с дополнительной очисткой принята, исходя из следующих соображений: цена металлокорда после механической переработки изношенных автомобильных шин определяется стоимостью низколиквидного металлолома и составляет 3–5 руб./кг; цена очищенного металлокорда складывается исходя из суммарных затрат, предусмотренных при очистке.

Технико-экономическая эффективность замены промышленной фибры на высокоочищенный металлокорд составляет 25,5–36,0 %.

Применение металлокорда в низкомарочных бетонах и растворах для устройства полов гражданских и промышленных зданий взамен традиционного армирования сеткой обеспечивает: уменьшение толщины покрытия пола на 30–50 % и, как следствие, сокращение расхода используемых материалов, повышение прочности удару до 8–10 раз, увеличение модуля упругости до 20 % и сопротивляемости статическим, динамическим нагрузкам. Снижение трудозатрат при этом достигает 40 %. Кроме того, для таких конструкций контролем качества допускается наличие в объеме металлокорда примесей резины (2–4 %), что способствует снижению себестоимости фибры из металлокорда до 3–5 руб./кг за счет экономии на доочистке.

Обоснование технико-экономической эффективности применения металлокорда для устройства полов промышленных и гражданских зданий толщиной не менее 100 мм представлено в табл. 5.5.

Т а б л и ц а 5.5

Экономическая эффективность использования металлокорда

Показатели	Вариант армирования		Армирование сеткой			
	металлокордом	промышленной фиброй	Диаметр арматуры 10 мм		Диаметр арматуры 12 мм	
			200×200	150×150	200×200	150×150
Средний расход, кг/м ²	8	8	7	8	10	12
Стоимость фибры, руб./кг	4,0	35,0	17,4	18,9	17,9	19,2
Стоимость устройства пола, м ² /руб.	32,0	280,0	121,8	151,2	179,0	230,4
Экономическая эффективность, руб./ м ²	-	-248,0	-89,8	-119,2	-147,0	-198,4

Как следует из табл. 5.5, экономическая эффективность предлагаемой замены достигает 248 руб. на 1 м² устройства полов.

Таким образом, обоснована и установлена возможность замены промышленной фибры на металлокорд в бетонах различного назначения. Экономическая эффективность при замене промышленной фибры на высокоочищенный металлокорд в щебеночных бетонах составляет 25,5–36,0 %. Эффективность использования металлокорда в бетонных полах промышленных зданий толщиной 100 мм составляет 93–220 рублей на 1 м² устройства пола.

На основании технико-экономического расчета выявлено, что оценка эффективности создания предприятия по переработке утильных шин заключается в выборе не только технологии, но и производства конечного товара.

Расчет эколого-экономической эффективности предприятий по переработке изношенных автомобильных шин. С целью определения рентабельности производства по переработке изношенных автошин построена многоуровневая модель получения прибыли от разработки проекта по созданию ресурсосберегающих материалов. Проведен сравнительный эколого-экономический анализ по различным вариантам (рис. 5.5). В качестве сравниваемых вариантов приняты:

➤ 1 вариант «Продажа крошки и сдача металлокорда в металлолом»;

- 2 вариант «Продажа резиновой черепицы и фибры из металлокорда»;
- 3 вариант «Продажа резиновой крошки и фибры из металлокорда»;
- 4 вариант «Продажа черепицы и сдача металлокорда в металлолом».

Приняты следующие исходные данные для расчета:

- стоимость изношенных шин для переработки – 2 руб./ кг;
- стоимость производства 1 кг резиновой крошки – 8 руб./кг;
- затраты на производство металлокорда (не учитываются, так как металлокорд является побочным продуктом получения резиновой крошки);
- затраты на производство 1 кг фибры – составляют 5 руб./кг;
- затраты на производство 1 кв.м черепицы – 280 руб./м²;
- стоимость металлокорда, используемого в качестве металлолома, – 5 руб./кг;
- цена 1 кв.м черепицы – 650 руб./ м²;
- цена 1 кг фибры – 20 руб./кг;
- цена 1 кг резиновой крошки – 16 руб./кг;
- стоимость оборудования для производства фибры – 1000 тыс. руб.;
- стоимость оборудования для переработки изношенных автомобильных шин – 5000 тыс. руб.;
- стоимость оборудования для производства черепицы – 3500 тыс. руб.;
- производительность оборудования – 350 кг крошки в час.

Наиболее эффективным вариантом исходя из горизонта расчета 3 года является вариант 2, предусматривающий производство резиновой гибкой черепицы и ее продажу потребителям, а также изготовление промышленной фибры из металлокорда. Сальдо денежного потока положительно на всех этапах расчета, что свидетельствует о наибольшей реализуемости данного варианта.

Результаты эффективности различных вариантов работы перерабатывающих предприятий представлены на рис. 5.6.

Приведенная экономическая эффективность использования вторичного сырья в предлагаемых ресурсосберегающих материалах позволяет сделать выводы о том, что основная инициатива создания производств по переработке шин должна принадлежать частным предпринимателям, поскольку данная рыночная ниша практически свободна и имеется потенциал к росту.

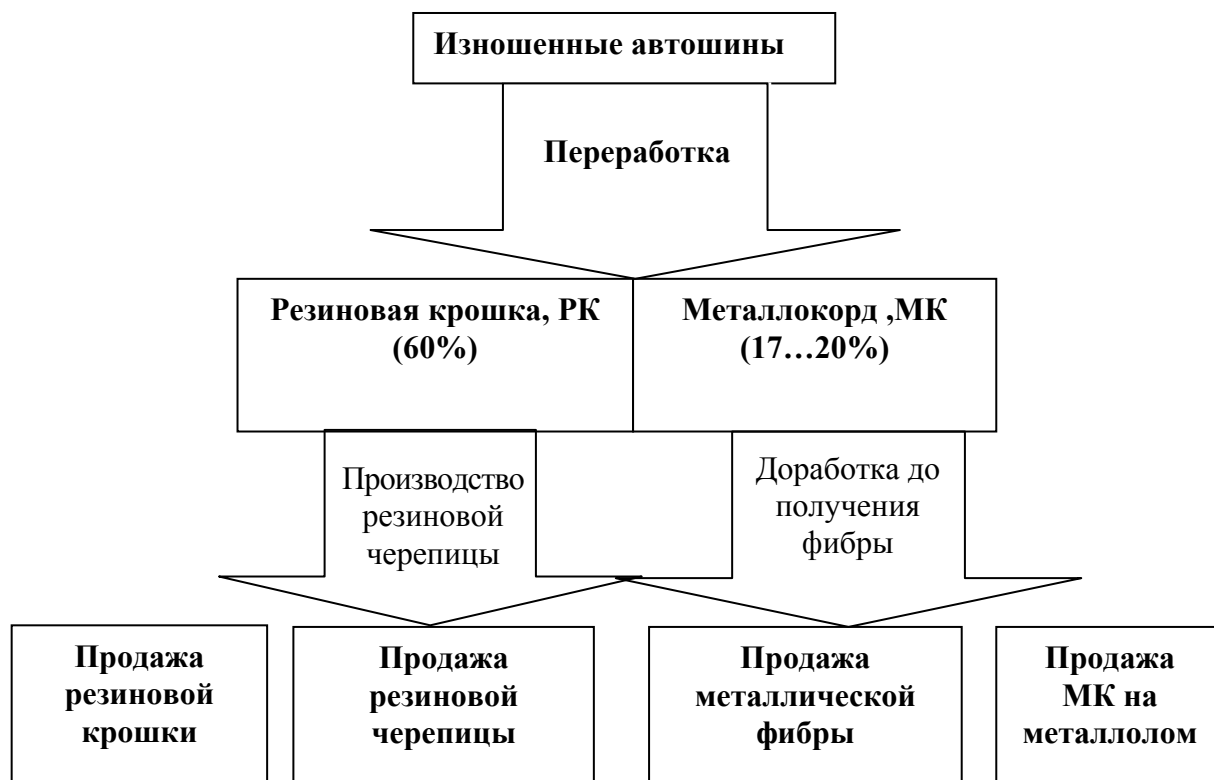


Рис. 5.5. Многоуровневая модель получения прибыли

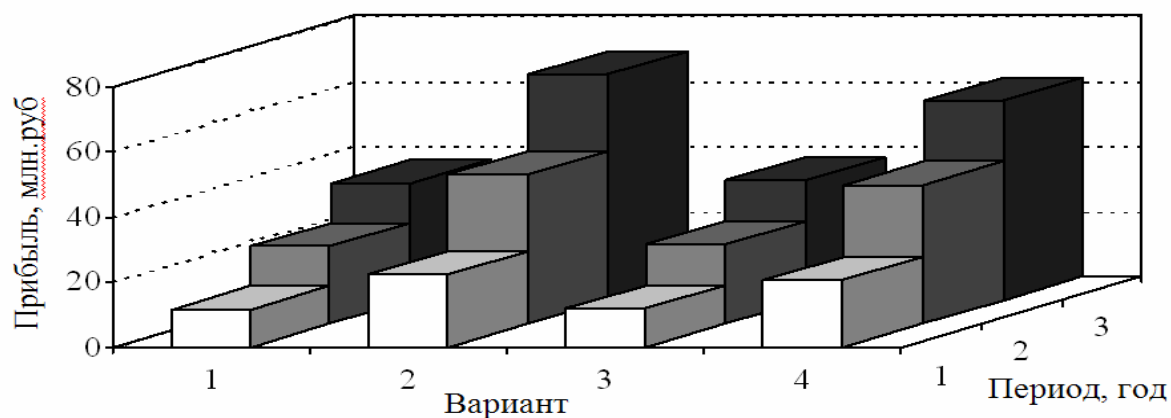


Рис. 5.6. Эффективность различных вариантов реализации:
 1 – продажа крошки и сдача металлокорда в металлолом; 2 – продажа резиновой черепицы и фибры из металлокорда; 3 – продажа резиновой крошки и фибры из металлокорда; 4 – продажа черепицы и сдача металлокорда в металлолом

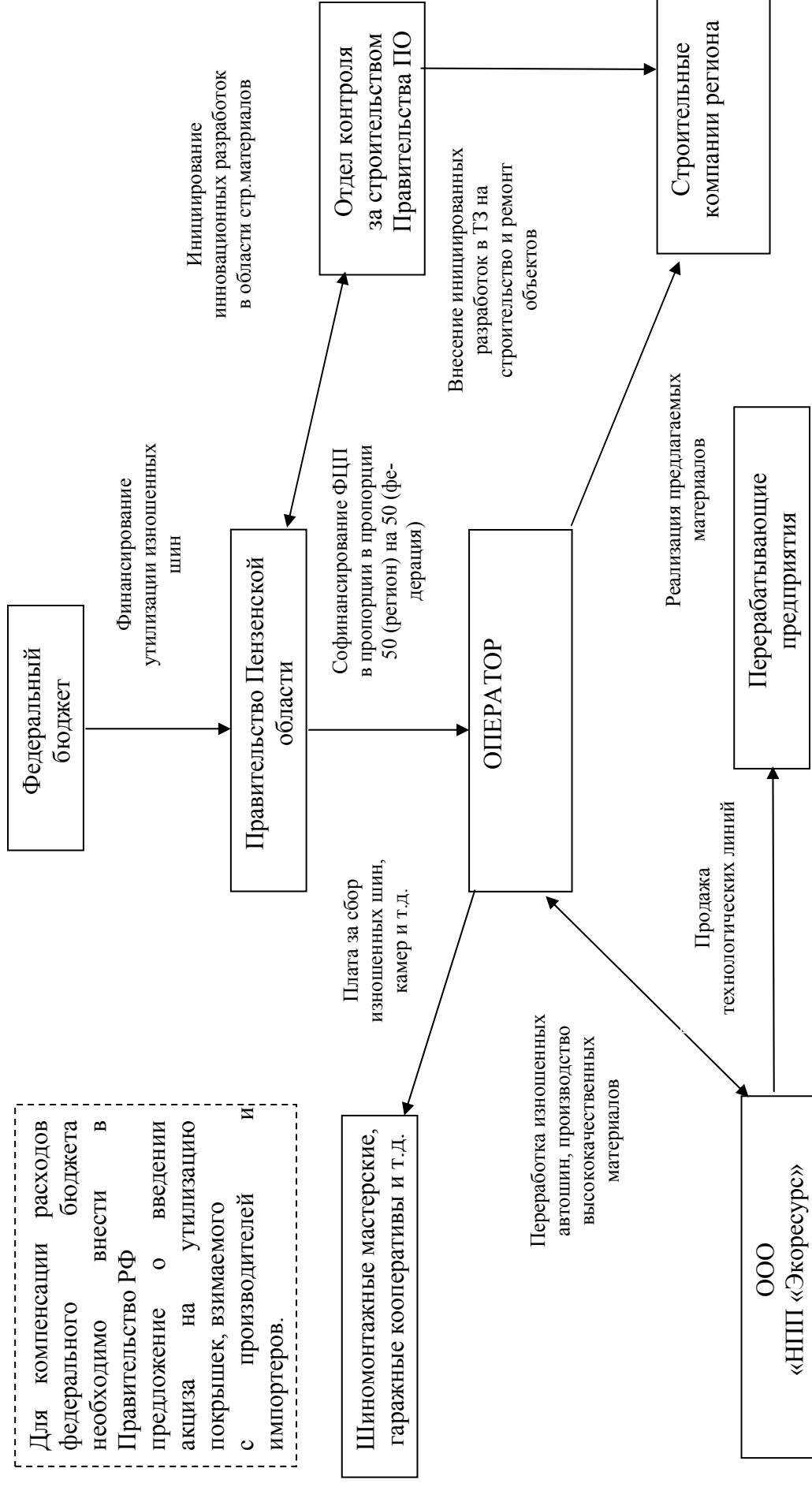


Рис.5.7. Схема внедрения ресурсосберегающих технологий в реальный сектор экономики

Система внедрения предлагаемых ресурсосберегающих строительных материалов. Система организации внедрения предлагаемых ресурсосберегающих строительных материалов в реальный сектор экономики, реализуемая НПП «Экоресурс», включает:

- покупка отработанных автопокрышек у компаний, осуществляющих первичное накопление данного вида отходов (автосервисы, компании, отвечающие за содержание автодорог и проч.);
- переработка отработанных автопокрышек для получения вторичного сырья (резина, металлокорд);
- производство на основе полученного вторичного сырья продукции с высокой добавленной стоимостью (резиновая гибкая черепица и фибра из металлокорда);
- реализация продукции.

Результатом реализации проекта являются:

- значительный экологический эффект за счет увеличения доли отработанных покрышек, направляемых на утилизацию;
- высвобождение земель, занятых полигонами отработанных покрышек;
- сокращение расходов на производство ресурсосберегающих строительных материалов – напольных и кровельных покрытий, фибробетонных конструкций – за счет использования инновационных технологий.

Для целей реализации проекта запущен пилотный проект на территории Пензенской области (рис. 5.7).

Предлагаемые ресурсосберегающие строительные материалы обеспечивают:

- формирование местной сырьевой базы;
- создание и использование рынка модифицирующих добавок, в том числе на базе отходов нерудных каменных материалов месторождений Пензенской области и продуктов переработки изношенных автомобильных шин, что обеспечивается оптимальной рецептурой предлагаемых эффективных строительных материалов и технологическим регламентом их изготовления.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Аверко-Антонович, Л.А. Химия и технология синтетических каучуков [Текст] / Л.А. Аверко-Антонович, Ю.О. Аверко-Антонович, И.М. Давлетбаева, П.А. Кирпичников. – М.: Колос С, 2008. – 359 с.
2. Авинкин, В.С. Композиционные материалы на основе вторичных полимеров [Текст] / В.С. Авинкин, М.Ю. Вдовин, О.А. Серенко, Ю.М. Будницкий // Успехи в химии и хим. технологии: тезисы докл. Междунар. конф. мол. ученых. – М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 1999. Вып.13. – С. 7-11.
3. Агаянц, И.М. Альбом технологических схем переработки эластомерных материалов [Текст]: учеб.-метод. пособие / И.М. Агаянц, В.М. Оськин, А.Е. Корнев. – М.: ИПЦ МИТХТ им. М.В. Ломоносова, 2010. Ч. 2. – 84 с.
4. Алаторцева, У.В. Применение модифицированных нанодобавок для повышения прочности фибробетонов [Текст] / У.В. Алаторцева [и др.] // Известия вузов. Строительство. – 2009. – №8. – С. 17-20.
5. Аминов, О.А. Технологии переработки шин: перспективы применения [Текст] / О.А. Аминов// Твердые бытовые отходы. – 2009. – №3. – С. 46-48.
6. Ананьев, С.В. Состав, топологическая структура и реотехнологические свойства реологических матриц для производства бетонов нового поколения [Текст]: автореф. дис.... канд. техн. наук / С.В. Ананьев. – Пенза, 2011. – 20 с.
7. Андреева, Г.Н. Прогрессивные конструкции и технологии кровельных работ [Текст] / Г.Н. Андреева // Градостроительство, реконструкция, инженерное оборудование устойчивого развития городов Поволжья: сборник докладов. – Тольятти, 1999. Ч.2. – С.137-142.
8. Андреева, Г.Н. Однослойные кровли из новых полимерных материалов [Текст] / Г.Н. Андреева [и др.] // Труды ЦНИИПромзданий. – М., 1990. – С. 29–41.
9. Антропова, В.А. Свойства модифицированного сталефибробетона [Текст] / В.А. Антропова, В.А. Дробышевский // Бетон и железобетон. – 2002. – №3. – С.3-5.
10. Артемов, В.М. Изучение влияние природы резиновой крошки и температуры смешения на свойства резинобитумных композиций [Текст] / В.М. Артемов, Л.П. Макаренкова, М.Л Купермидт //Производство шин, резинотехнических изделий. – 1983. – №7. – С.4-7.
11. Бадертдинов, И.Р. Анализ состояния производства фибры в стране и за рубежом [Текст] / И.Р. Бадертдинов, М.Г. Габидуллин // Теория и практика повышения эффективности строительных материалов: материалы V Всероссийской конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – Пенза: ПГУАС, 2010. – С. 17-21.

12. Баженов, Ю.М. Бетоны XXI века [Текст] / Ю.М. Баженов // Ресурсо- и энергосберегающие технологии строительных материалов, изделий и конструкций: материалы Международной конференции. – Белгород, 1995. – С. 3–5.
13. Баженов, Ю.М. Бетоны повышенной долговечности [Текст] / Ю.М. Баженов // Строительные материалы. – 1999. – №7-8. – С. 21–22.
14. Баженов, Ю.М. Многокомпонентный мелкозернистый бетон для высотного строительства [Текст] / Ю.М. Баженов // Современное высотное строительство. Эффективные технологии и материалы: сб. докл. II Международный симпозиум по строительным материалам КНАУФ для СНГ. – М.: АСВ, 2005. – С. 7–73.
15. Баженов, Ю.М. Модифицированные высококачественные бетоны [Текст] / Ю.М. Баженов, В.С. Демьянова, В.И. Калашников. – М.: АСВ, 2006. – 368 с.
16. Баженов, Ю.М. Новый век: новые эффективные бетоны и технологии [Текст] / Ю.М. Баженов, В.Р. Фаликман // Материалы I Всероссийской конференции. – М., 2001. – С. 91-101.
17. Баженов, Ю.М. Технология бетона [Текст] / Ю.М. Баженов. – М.: АСВ, 2002. – 500 с.
18. Баженов, Ю.М. Технология бетонов XXI века [Текст] / Ю.М. Баженов // Новые научные направления строительного материаловедения. Академические чтения РААСН. – Белгород, 2005. Ч. 1. – С. 9–20.
19. Бакфиш, К. Новая книга о шинах [Текст]: справ. / К. Бакфиш, Д. Хайнц. – М.: ООО «Издательство Астрель», 2003. – 303 с.
20. Бальзанников, М.И. Экологические аспекты производства строительных материалов из отходов промышленности [Текст] / М.И. Бальзанников, В.П. Петров // Современное состояние и перспективы развития строительного материаловедения / Восьмые академические чтения РААСН. – Самара, 2004. – С. 47-50.
21. Балыбердин, В.П. Диспергаторы для тонкого измельчения полимерных материалов, резин и композитов [Текст] / В.П. Балыбердин, В.Г. Никольский, А.Э. Аринштейн // Технология машиностроения. – 1998. – №4. – С. 94-101.
22. Батраков, В.Г. Модифицированные бетоны [Текст] / В.Г. Батраков. – М.: Стройиздат, 1998. – 768 с.
23. Батраков, В.Г. Модификаторы бетона – новые возможности [Текст] / В.Г. Батраков // Материалы Первой Всероссийской конференции по бетону и железобетону. – М., 2001. – С. 184-197.
24. Батраков, В.Г. Оценка ультрадисперсных отходов металлургических производств как добавок в бетон [Текст] / В.Г. Батраков, С.С. Каприелов, Ф.Н. Иванов // Бетон и железобетон. – 1990. – № 12. – С. 15–17.

25. Беркович, Я.Б. Исследование микроструктуры и прочности цементного камня, армированного коротковолокнистым хризотил-асбестом [Текст]: автореф. дис.... канд. техн. наук / Я.Б. Беркович. – М., 1975. – 20 с.
26. Блинков, Е.Л. Криотехнология переработки покрышек и бескамерных автомобильных шин [Текст] / Е.Л. Блинков, А.Г. Ляпин // Экологические системы и приборы. – 1999. – № 5. – С. 20-22.
27. Боравский, Б.В. Изношенные автопокрышки: методы переработки [Текст] / Б.В. Боравский // Твердые бытовые отходы. – 2007. – №4. – С. 4-5.
28. Бобров, А.П. Технология резиновых изделий [Текст] / А.П. Бобров, О.Н. Шевердяев, И.А. Ильина. – М.: МГОУ., 2001. – 271 с.
29. Буркасов, Б.В. Бетоны, наполненные модифицированными шлаками [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Б.В. Буркасов. – М., 1996. – 20 с.
30. Буткевич, Г.Р. Промышленность нерудных строительных материалов: достигнутое и перспективы [Текст] / Г.Р. Буткевич [и др.]// Строительные материалы. – 2003. – № 11. – С. 2-5.
31. Буянов, Ю.Д. Экономическая безопасность России при разработке сырья для промышленности строительных материалов [Текст] / Ю.Д. Буянов// Строительные материалы. – 2001. – № 4. – С. 21-23.
32. Вайсберг, А.А. Старые шины – и опасный, и полезный вид отходов [Текст] / А.А. Вайсберг // Мир шин. – 2008. – №1. – С. 50-52.
33. Веденеев, А.С. Армирующие материалы для фибробетона [Текст] / А.С. Веденеев // Архитектура и строительство. – 2009. – №11. – С. 24-29.
34. Виды продукции переработки изношенных шин [Электронный ресурс] // Cleandex Research Techart: электронные данные. – 2010. – URL: http://www.cleandex.ru/articles/2010/03/19/tires_recycling_products.
35. Винтицких, Л.Е. Опыт примененияшламоотходов Тюменской ТЭЦ-2 для производства строительных растворов [Текст] / Л.Е. Винтицких, Н.Г. Митрофанов, Т.Н. Шабанова // Строительный вестник Тюменской области. – 2010. – № 3(53). – С. 51-54.
36. Власов, Г.Я. Основы технологии шинного производства [Текст] / Г.Я. Власов. – Воронеж, 2002. – 460с.
37. Власов, В.К. Закономерности оптимизации состава бетона с дисперсными минеральными добавками [Текст] / В.К. Власов// Бетон и железобетон. – 1993. – №4. – С. 10–12.
38. Волженский, А.В. Минеральные вяжущие вещества [Текст] / А.В. Волженский. – М.: Стройиздат, 1986. – 464 с.
39. Волков, И.В. Фибробетон – состояние и перспективы применения в строительных конструкциях [Текст] /И.В. Волков// Строительные материалы, оборудование, технологии 21 века. – 2004. – № 5. – С. 5–7.

40. Волков, И.В. Проблемы применения фибробетона в отечественном строительстве [Текст] /И.В. Волков// Строительные материалы. – 2004. – №6. – С. 12–13.
41. Вольфсон, С.И. Динамически вулканизированные термоэластопласты: Получение, переработка, свойства [Текст] / С.И. Вольфсон. – М.: Наука, 2004. – 173 с.
42. Воронин, А.М. Исследование физико-механических свойств новых битуминозных рулонных материалов [Текст] /А.М. Воронин// Труды ЦНШШпромзданий. – М., 1990. – С. 5-15.
43. Вострокнутов, Е.Г. Переработка каучуков и резиновых смесей (реологические основы, технология, оборудование) [Текст] / Е.Г. Вострокнутов, М.И. Новиков, В.И. Новиков, Н.В. Прозоровская. – М., 2005. – 369 с.
44. Вторичные полимеры: реалии и перспективы [Электронный ресурс] // Евразийский Химический Рынок: электронные данные. – 2010. – URL: http://www.newchemistry.ru/letter.php?n_id=983.
45. Высоцкий, С.А. Оптимизация состава бетона с дисперсными минеральными добавками [Текст] /С.А. Высоцкий, М.И. Бруссер, В.П. Смирнов, А.М. Царик// Бетон и железобетон. – 1990. – №2. – С. 7-9.
46. Галкин, В.В. Сталефибробетон с заполнителями и дискретной арматурой из отходов местных производств [Текст]: автореф. дис.... канд. техн. наук / В.В. Галкин. – Липецк, 2007. – 24 с.
47. Гончарук, Г.П. Резинопласты композиционные материалы на основе полиэтилена низкой плотности и измельченных резин [Текст]: дис. ... канд. хим. наук / Г.П. Гончарук // ИСПМ РАН. – М., 2001. – 153 с.
48. Горшков, В.С. Применение отходов синтетических каучуков и латексов в производстве полимерных строительных материалов [Текст] / В.С. Горшков, Б.И. Кац, Н.А. Глотова. – М.: ВНЗШЭСМ, 1986. Сер. 6, вып. 2. – С. 1-2.
49. Гофштейн, Ф.А. Производство стальных фибр из отходов промышленности [Текст] / Ф.А. Гофштейн // Фибробетон: свойства, технология, конструкции: тезисы докладов Республиканского научно-технического совещания. – Рига: ЛатНИИСтроительства, 1988. – С. 98-100.
50. Гришин, Б.С. Материалы резиновой промышленности (информационно-аналитическая база данных) [Текст] / Б.С. Гришин / Изд. КГТУ 2010, т.1 – 506 с, т.2 – 488 с.
51. Гришин, Б.С. Тонкодисперсные шунгитовые порошки – перспективный наполнитель полифункционального действия для эластомерных композитов ИШП М [Текст] / Б.С. Гришин, Ю.К. Калинин. – Петрозаводск, 2005. – 19 с.

52. Дворкин, Л.И. Строительные материалы из резиновых и каучуковых отходов [Текст] / Л.И. Дворкин, О.Л. Дворкин // Строительные материалы из отходов. – М.: Феникс, 2007. – С. 368.
53. Девяткин, В.В. Отходы как вторичные материальные ресурсы [Текст] / В.В. Девяткин // Экология производства. – 2007. – №2. – С.32-36.
54. Дегтярева, М.М. Технология и свойства бетона с бинарным наполнителем «кварц известняк» [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук / М.М. Дегтярева. – М., 1995. – 19 с.
55. Демьянова, В.С. Методологические и технические основы производства высокопрочных бетонов с высокой панней прочностью для беспротвердных и малопротвердных технологий [Текст]: автореф. дис. ... д-ра техн. наук / В.С. Демьянова. – Пенза, 2002. – 43 с.
56. Демьянова, В.С. Быстротвердеющие высокопрочные бетоны с органоминеральными модификаторами [Текст] / В.С. Демьянова, В.И. Калашников. – Пенза: ПГУАС, 2003. – 195 с.
57. Демьянова, В.С. Особо тяжелый высокопрочный бетон на основе вторичного сырья [Текст] / В.С. Демьянова, А.П. Прошин, Д.В. Калашников // Экология и промышленность. – 2003. – №8. – С.8-9.
58. Демьянова, В.С. Композиционные строительные материалы из отходов [Текст] / В.С. Демьянова, В.И. Логанина, Н.М. Дубошина // Экология и промышленность. – 2003. – №7. – С. 12-13.
59. Демьянова, В.С. Дисперсно-армированный сталефибробетон [Текст] / В.С. Демьянова, В.И. Калашников, Г.Н. Казина, С.М. Саженко // Строительные материалы. – 2006. – №9. – С. 54-55.
60. Демьянова, В.С. Многокомпонентные высококачественные бетоны различного функционального назначения [Текст]: моногр. / В.С. Демьянова, В.И. Калашников, В.М. Тростянский. – Пенза: ПГУАС, 2006. – 131 с.
61. Демьянова, В.С. Экологические и техноэкономические аспекты использования отходов нерудной промышленности в производстве цемента [Текст] / В.С. Демьянова, В.И. Калашников, Г.Н. Казина, В.М. Саженко // Строительные материалы. – 2006. – №11. – С. 52-55.
62. Демьянова, В.С. Комплексное использование промышленных отходов [Текст] / В.С. Демьянова // Экология и промышленность. – 2008. – №1. – С. 12-14.
63. Демьянова, В.С. Снижение техногенной нагрузки на окружающую среду путем использования отходов автопромышленного комплекса [Текст] / В.С. Демьянова, М.М. Макаров, Р.А. Дяркин, П.А. Кураков // Экология урбанизированных территорий. – 2008. – №4. – С. 86-92.
64. Демьянова, В.С. Обращение с отходами производства и потребления на предприятиях автотранспортного комплекса [Текст]: учеб. пособие / В.С. Демьянова, М.М. Макаров, О.А. Чумакова. – Пенза: ПГУАС, 2009. – 131 с.

65. Дроздовский, В.Ф. Получение измельченных вулканизатов [Текст] / В.Ф. Дроздовский // Каучук и резина. – 1997. – №5. – С. 44-50.
66. Емельянова, С.С. Резиновый коврик из колес [Текст] / С.С. Емельянова // Твердые бытовые отходы. – 2007. – №4. – С. 38-40.
67. Железобетон в XXI веке: состояние и перспективы развития бетона и железобетона в России [Текст] / Госстрой РФ; НИИЖБ. – М.: Готика, 2001. – 123 с.
68. Звездов, А.И. Бетон и железобетон: наука и практика [Текст] / А.И. Звездов, Ю.С. Волков // Сборник статей МНТК «Композиционные строительные материалы. Теория и практика». – Пенза, 2010. – С.66-70.
69. Звонов, В.А. Экологическая безопасность автомобиля в полном жизненном цикле [Текст] / В.А. Звонов, А.В. Козлов, Ф.В. Кутенев. – М., 2001. – 244 с.
70. Звонов, В.А. Утилизация автомобильной техники: концепция специального технического регламента [Текст] / В.А. Звонов [и др.] // Стандарты и качество. – 2004. – №8. – С. 31-34.
71. Зельманович, Я.И. Критерии качества СБС-модифицированных битумно-полимерных материалов [Текст] / Я.И. Зельманович, С.Г. Андронов // Строительные материалы. – 2001. – № 3. – С. 12-13.
72. Иваницкий, М.А. Перспективный процесс переработки использованных автомобильных шин [Текст] / М.А. Иваницкий [и др.] // Экология и промышленность России. – 1997. – №10. – С. 9-12.
73. Иванов, И.А. Эффективность пластифицирования минеральных дисперсных композиций в зависимости от концентрации в них твердой фазы [Текст] / И.А. Иванов, В.И. Калашников // Реология бетонных смесей и ее технологические задачи: тез. докл. III Всесоюзного симпозиума. – Рига: РПИ, 1979. – С. 35–38.
74. Иванов, В.А. Утилизация и вторичное использование отходов и сбросов от производственной деятельности транспортных предприятий и эксплуатации автотранспортных средств [Текст] / В.А. Иванов, С.В. Селищев, В.В. Кулагин // Легковое и грузовое автохозяйство. – 2000. – №8. – С. 46-52.
75. Инновационный центр высоких технологий. Утилизация шин – рентабельность, простота и надежность [Текст] // Твердые бытовые отходы. – 2007. – №4. – С. 14-17.
76. Исследование рынка автомобильных шин в России [Электронный ресурс]: по данным аналитического агентства. 2012. – URL: <http://www.79auto.ru>.
77. Калашников, В.И. Основы пластифицирования минеральных дисперсных систем для производства строительных материалов [Текст]: дис. ... д-ра техн. наук: 05.23.05 / В.И. Калашников. – Воронеж, 1996. – 89 с.

78. Калашников, В.И. Методологические и технологические аспекты получения и применения высокодисперсных наполнителей бетонов [Текст] / В.И. Калашников, В.С. Демьянова, Е.Ю. Миненко // Строительные материалы. – 2004. – №3. – С. 5–7.

79. Калашников, С.В. Топология композиционных дисперсных и дисперсно-армированных систем [Текст] / С.В. Калашников, В.И. Калашников, В.М. Журавлев // Композиционные строительные материалы. Теория и практика: материалы Международной научно-практической конференции. – Пенза: ПГУАС, 2005. – С. 79–87.

80. Калашников, В.И. Промышленность нерудных строительных материалов и будущее бетонов [Текст] / В.И. Калашников // Строительные материалы. – 2008. – №3. – С. 20 – 22.

81. Калашников, В.И. Порошковые высокопрочные дисперсно-армированные бетоны нового поколения [Текст] / В.И. Калашников // Популярное бетоноведение. – 2008. – №6. – С. 5-8.

82. Калашников, В.И. Высокопрочные и особовысокопрочные бетоны с дисперсным армированием [Текст] / В.И. Калашников, С.В. Ананьев // Строительные материалы. – 2009. – № 6. – С. 59-61.

83. Калашников, В.И. К оптимизации геометрических размеров плоской стальной фибры [Текст] / В.И. Калашников, С.В. Ананьев, И.М. Куликов // Композиционные строительные материалы. Теория и практика: материалы междунар. науч.-техн. конф. – Пенза: Приволжский Дом знаний, 2010. – С. 66-70.

84. Калашников, В.И. Проблемы использования отсеков камнедробления в промышленности нерудных строительных материалов / В.И. Калашников, С.В. Ананьев // Новые энерго- и ресурсосберегающие наукоемкие технологии в производстве строительных материалов: материалы междунар. науч.-техн. конф. – Пенза: Приволжский Дом знаний, 2009. – С. 97-105.

85. Калашников, В.И. Перспективы использования реакционно-порошковых сухих бетонных смесей в строительстве [Текст] / В.И. Калашников // Строительные материалы. – 2009. – №7. – С. 59–61.

86. Калашников, В.И. Геометрические параметры фибры для высокопрочных бетонов [Текст] / В.И. Калашников, Ю.П. Скачков, С.В. Ананьев, И.Ю. Троянов // Региональная архитектура и строительство. – 2011. – №1. – С. 27-33.

87. Калашников, В.И. Физико-механические и гигрометрические свойства порошково-активированных высокопрочных щебеночных бетонов и фибробетонов с низким удельным расходом цемента на единицу прочности [Текст] / В.И. Калашников, А.В. Хвастунов, В.Л. Хвастунов // Научно-технический вестник Поволжья. – 2011. – № 5. – С. 161-164.

88. Калашников, В.И. Порошковые фибробетоны со сверхвысокой прочностью с дисперсным армированием фиброй [Текст] / В.И. Калашников [и др.] // Новые энерго- и ресурсосберегающие наукоемкие технологии в производстве строительных материалов / Международная научно-техническая конференция: сб. ст. – Пенза: ПГУАС, 2011. – С. 41-48.
89. Калашников, В.И. Бетоны нового поколения с низким удельным расходом цемента на единицу прочности [Текст] / В.И. Калашников, С.В. Ананьев, В.Л. Хвастунов, М.Н. Мороз // Вестник отделения строительных наук. – Москва-Иваново, 2010. Вып. 14, Т.2. – С. 27-32.
90. Калашников, Д.В. Особо тяжелый высокопрочный бетон для защиты от радиации [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05 / Д.В. Калашников. – Пенза, 2001. – 201 с.
91. Калашников, С.В. Тонкозернистые реакционно-порошковые дисперсно-армированные бетоны с использованием горных пород [Текст]: автореф. дис.... канд. техн. наук / С.В. Калашников. – Пенза, 2006. – 22 с.
92. Каприелов, С.С. Научные основы модифицирования бетонов ультрадисперсными материалами [Текст]: дис. ... д-ра техн. наук: 05.23.05 / С.С.Каприелов. – М., 1995. – 41 с.
93. Каприелов, С.С. Комплексный модификатор бетона марки МБ-01 [Текст] / С.С. Каприелов, А.В. Шейнфельд, В.Г. Батраков // Бетон и железобетон. – 1997. – № 5. – С. 38–41.
94. Клищенко, В.П. Мини-завод по утилизации изношенных автошин [Текст] / В.П. Клищенко // Экология и промышленность России. – 2009. – №1. – С. 4-5.
95. Комаров, С.А. Переработка изношенных покрышек [Текст] / С.А. Комаров, Н.С. Кокин // Твердые бытовые отходы». – 2008. – №3. – С. 34-35.
96. Комаров, С.А. Процесс переработки шин: новый подход [Текст] / С.А. Комаров [и др.] // Твердые бытовые отходы. – 2008. – №5. – С. 48-49.
97. Комохов, П.Г. Оценка модификации бетона на макро- и микро-уровне [Текст] / П.Г. Комохов [и др.] // Общие проблемы и решения теории и практики строительного материаловедения: доклад к Международной конференции. – Казань: КГАСА, 1996. Ч.1. – С. 14–18.
98. Комохов, П.Г. О бетоне XXI века [Текст] / П.Г. Комохов // Вестник РААСН. – 2001. – №5. – С. 9-12.
99. Кононова, Г.А. Экономика автомобильного транспорта [Текст]: учеб. пособие / Г.А. Кононова. –2-е изд. – М.: Издательский центр «Академия», 2006. – 320 с.
100. Копацкий, А.В. Структура бетонной составляющей зон сталефибробетона с повышенным содержанием крупных фибр [Текст] / А.В. Копацкий, Л.Г. Курбатов, В.М. Ефремова // Технология изготовления и

свойства новых композиционных строительных материалов: межвуз. темат. сб. науч. тр. – Л.: ЛИСИ, 1986. – С. 44 – 49.

101. Корнев, А.Е. Технология эластомерных материалов [Текст]: учебник для вузов / А.Е. Корнев, А.М. Буканов, О.Н. Шевердяев. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: НППА «Истек», 2009. – 504 с.

102. Крыжановский, В.К. Технические свойства полимерных материалов [Текст]: учеб.-справ. пособие / В.К. Крыжановский, В.В. Бурлов, А.Д. Паниматченко, Ю.В. Крыжановская. – СПб.: Профессия, 2003. – 248 с.

103. Кузнецов, Ю.С. Применение отходов производства антибиотиков в качестве пластифицирующих добавок для бетонов [Текст] / Ю.С. Кузнецов [и др.] // Бетон и железобетон. – 1985. – №1. – С.38–39.

104. Куперман, Ф.Е. Новые каучуки для шин [Текст] / Ф.Е. Куперман. – М., Альянс Пресс: 2005. – 329 с.

105. Лазуткин, А.В. Использование отсеков дробления – важный фактор экономического роста предприятий нерудной промышленности [Текст] / А.В. Лазуткин, В.И. Эйрих, В.П. Жуков // Строительные материалы. – 2003. – № 11. – С. 6-7.

106. Лебедев, А.Н. Техничко-экономические и экологические проблемы рециклинга изношенных автомобильных покрышек [Текст] / А.Н. Лебедев [и др.] // Экология промышленного производства. – 2009. – №3. – С. 50-54.

107. Леонтьев, В.Н. О возможности использования углеродных волокнистых материалов для армирования бетонов [Текст] / В.Н. Леонтьев, В.А. Приходько, В.А. Андреев // Строительные материалы. – 1991. – №10. – С. 27–28.

108. Лобанов, И.А. Особенности структуры и свойства дисперсно-армированных бетонов [Текст] /И.А. Лобанов // Технология изготовления и свойства новых композиционных строительных материалов: межвуз. темат. сб. науч. тр. – Л.: ЛИСИ, 1986. – С. 5-10.

109. Лобачева, Г.К. Состояние вопроса об отходах и современных способах их переработки [Текст]: учеб. пособие / Г.К. Лобачева [и др.]. – Волгоград: ВолГУ, 2005. – 176 с.

110. Лукавин, В.Н. Промышленно-транспортная экология [Текст] / В.Н. Лукавин, Ю.В. Трофименко. – М.: Высшая школа, 2001. – 273 с.

111. Маилян, Д.Р. Влияние фибрового армирования базальтовым волокном на свойства легкого и тяжелого бетонов [Текст] /Д.Р. Маилян, А.В. Шилов, Н. Джаварбек // Новые исследования бетона и железобетона. – 1997. – С. 7–12.

112. Маилян, Р.Л. Взаимосвязь изменения характеристик и диаграммы деформирования фибробетона при сжатии и растяжении и ее аналитическое описание [Текст] / Р.Л. Маилян, А.В. Шилов // Вопросы технологии бетона и проектирования железобетонных конструкций. – 1998. – С. 17-20.

113. Маилян, Л.Р. Изгибаемые керамзито-фиброжелезо-бетонные элементы на грубом базальтовом волокне [Текст] / Л.Р. Маилян, А.В. Шилов. – Ростов н/Д: Рост. гос. строит. ун-т, 2001. – 174 с.

114. Макарова, И.В. Снижение техногенной нагрузки на окружающую среду при использовании отходов горнопромышленного комплекса в производстве силикатных материалов [Текст]: дис. ... д-ра техн. наук : 03.00.16, 05.17.11 Б. м., Б. г. / И.В. Макарова. – 334 с.

115. Макеев, В.В. Эксплуатационная надежность конструкций кровель из резино-полимерных рулонных материалов [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук / В.В. Макеев. – М., 2005. – 20 с.

116. Мальцев, В.В. Листовые и рулонные кровельные материалы из измельченных автошин для малоэтажного строительства [Текст] / В.В. Мальцев // Строительные материалы. – 2003. – № 12. – С. 27-28.

117. Манербаева, Ф.Д. Исследование физико-химической стойкости дисперсно-армированного шлакосеробетона [Текст] / Ф.Д. Манербаева, В.Н. Воликов // Работоспособность строительных материалов при воздействии различных эксплуатационных факторов: межвузовский сборник. – Казань: КХТИ, 1988. – С. 49-52.

118. Михайлов, К.В. Взгляд на будущее бетона и железобетона [Текст] / К.В. Михайлов // Бетон и железобетон. – 1995. – №6. – С. 2-5.

119. Моисеев, В.В. Синтетические каучуки России и материалы для их производства [Текст]: справочник / В.В. Моисеев, Ю.В. Перина. – Воронеж, 2001. – 118 с.

120. Моргун, Л.В. Технология производства и применение фибробетона в строительстве [Текст] / Л.В. Моргун // Строительные материалы. – 2005. – № 8. – С. 34-35.

121. Мосгордума – круглый стол [Текст] / О проблемах переработки и утилизации изношенных автопокрышек: круглый стол в Мосгордуме // Твердые бытовые отходы. – 2009. – №4. – С. 48-53.

122. Музалевская, Н.В. Составы безусадочных стяжек для полов с применением высококальцевой золы ТЭЦ [Текст] / Н.В. Музалевская [и др.] // Теория и практика повышения эффективности строительных материалов: материалы Пятой Всероссийской конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – Пенза: ПГУАС, 2010. – С. 175 – 178.

123. Нефедов, Б.К. Новая технология производства качественных резинобитумных связующих для асфальтобетонных дорожных покрытий [Текст] / Б.К. Нефедов, Е.Е. Горлова, Е.Г. Горлов // Экология и промышленность России. – 2008. – №5. – С. 8-11.

124. Никольский, В.Г. Старые крыши в современном дорожном строительстве [Текст] / В.Г. Никольский [и др.] // Строительная орбита. – 2009. – №12. – С. 50-51.

125. Новиков, В.У. Полимерные материалы для строительства [Текст] / В.У. Новиков. – М.: Высшая школа, 1995. – 448 с.
126. Норекайте, В. Переработка шин в Италии [Текст] / В. Норекайте // Твердые бытовые отходы. – 2007. – №4. – С. 54-55.
127. О вторичных материальных ресурсах [Электронный ресурс]: концепция федерального закона. – URL: <http://ref.unipack.ru/88/>.
128. Оборудование для переработки шин (Обзорная статья) [Текст] // Твердые бытовые отходы. – 2008. – №5. – С. 38-44.
129. Орлецкая, Л.В. Ценные вторичные ресурсы [Текст] / Л.В. Орлецкая // Рециклинг отходов. – 2006. – №6. – С. 3-4.
130. Панфилов, Д.В. Дисперсно-армированные строительные композиты на основе полибутадиенового олигомера [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Д.В. Панфилов. – Воронеж, 2004. – 18 с.
131. Пат. 2146322 Российская Федерация МПК E04D005/10 . Кровельный рулонный материал и способ его изготовления [Текст] / Житник Э.В., Змиевский Д.В.; заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью «Эльф-2000». №99117548 заявл. 12.06.2009 Бюл. №2146322, 3 с.: ил. 1
132. Пат. 2176713 Российская Федерация МПК C 08 L 23/02 (2006.01) C 08 L 23/02. Материал для защитных покрытий строительных сооружений и конструкций [Текст] / Дудченко А.В., Котова Н.И., Сиротинин В.Н.; заявитель и патентообладатель: Общество с ограниченной ответственностью «КСТ Экология». № 2006112646/04: заявл. 18.04.2006; опубл. 27.07.2007. Бюл. № RU (11) 2303610 (13) C1, 3 с.: 12 з.п. ф-лы, 2 табл.
133. Пат. 2129133 Российская Федерация МПК C 08 L 23/02 Материал для защитных покрытий строительных сооружений и конструкций и способ его получения [Текст] / Крючков А.Н., Кнунянц М.И., Бурбело А.А., Гончарук Г.П.; заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью «КСТ Экология». № 2006112646/04, заявл. 2006.04.18; опубл. 2007.07.27, Бюл. № 2303610 (13) C1 с.: ил.
134. Пат. 4795603 США. 1989. B29C 45/00.
135. Пашинский, В.М. Сколько отходов образуется в России [Текст] / В.М. Пашинский // Твердые бытовые отходы. – 2011. – №7. – С.44-48.
136. Пичугин, А.М. Материаловедческие аспекты создания шинных резин [Текст] / А.М. Пичугин. – М.: Машиностроение, 2008. – 383 с.
137. Плотников, Р.С. Измельчение покрышек с помощью дискового ножевого устройства [Текст] / Р.С. Плотников // Экология и промышленность России. – 2008. – №7. – С. 6 – 7.
138. Плотников, Р.С. Экологические проблемы переработки покрышек и устройства для их рециклинга [Текст] / Р.С. Плотников // Экология и промышленность России. – 2009. – №6. – С. 1 – 3.

139. Плотникова, И.А. Пособие по строительству асфальтобетонных покрытий и оснований автомобильных дорог и аэродромов [Текст] / И.А. Плотникова [и др.]. – М.: Союздорнии, 1991. – 10 с.
140. Поплевин С. Дороги становятся резиновыми [Электронный ресурс] / С. Поплевин // Pravda-News.ru: электронные данные. 2011. – URL: <http://www.pravda-news.ru/topic/9661.html>.
141. Попов, И. Взрывной характер [Текст] / И. Попов // Forbes. – 2007. – №7. – С. 98-101.
142. Прохоров, В.В. Мини-комплекс для изношенных автопокрышек [Текст] / В.В. Прохоров // Твердые бытовые отходы. – 2009. – №2. – С. 24-25.
143. Прут, Э.В. Химическая модификация и смешение полимеров в экструдере реакторе [Текст] / Э.В. Прут, А.Н. Зеленецкий // Успехи химии. – 2001. – №1. – С. 72-87.
144. Пулатов, З.В. Ресурсосберегающая технология комплексного использования золоотходов при производстве легкого бетона [Текст] / З.В. Пулатов [и др.] // Композиционные материалы. – Ташкент, 2010. – № 3(40). – С. 36-39.
145. Рабинович, Ф.Н. Эффективность применения сталефибробетона в промышленном строительстве [Текст] / Ф.Н. Рабинович, Г.А. Шикунов // Применение фибробетона в строительстве. – Л.: ЛДНТП, 1985. – С. 9-15.
146. Рабинович, Ф.Н. Об уровнях дисперсности армирования бетонов [Текст] / Ф.Н. Рабинович // Известия вузов. Строительство и архитектура. – 1981. – №11. – С. 30-36.
147. Рабинович, Ф.Н. О механических свойствах цементного камня, дисперсно – армированного стекловолокном [Текст] / Ф.Н. Рабинович // Бетон и железобетон. – 1982. – №7. – С. 10-12.
148. Рабинович, Ф.Н. Применение сталефибробетона в конструкциях инженерных сооружений [Текст] / Ф.Н. Рабинович, Л.Г. Курбатов // Бетон и железобетон. – 1984. – №12. – С. 22-25.
149. Рабинович, Ф.Н. О пределе трещиностойкости мелкозернистого бетона, армированного стальными фибрами [Текст] / Ф.Н. Рабинович, В.П. Романов // Механика композитных материалов. – 1985. – №2. – С. 277-283.
150. Рабинович, Ф.Н. Об оптимальном армировании сталефибробетонных конструкций [Текст] / Ф.Н. Рабинович // Бетон и железобетон. – 1986. – №3. – С. 17-19.
151. Разгон, Д.Р. Переработка изношенных шин. Состояние и перспективы [Текст] / Д.Р. Разгон // Твердые бытовые отходы. – 2008. – №5. – С. 12-15.
152. Разгон, Д.Р. Переработка изношенных автомобильных шин [Электронный ресурс] / Д.Р. Разгон, Ж.В. Перлина // Полимерные материалы XXI века: материалы 2-й Международной конференции (14-я Международная выставка

«Химия-2007»). – URL: http://www.newchemistry.ru/printletter.php?n_id=932 (дата на момент запроса: 13.07.2010).

153. Рахимов, Р.З. Современные кровельные материалы [Текст] / Р.З. Рахимов, Г.Ф. Шигапов. – Казань: Центр инновационных технологий, 2001. – С. 96-97.

154. Рахимова, Н.Р. Влияние добавок золы на свойства шлакощелочных вяжущих и бетонов [Текст] / Н.Р. Рахимова, Р.З. Рахимов, Р.Ф. Гатауллин // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2007. – № 3(98). – С. 36-37.

155. Рахимов, М.М. Композиционные шлакощелочные вяжущие с использованием цеолитсодержащего сырья природного и техногенного происхождения, растворы и бетоны на их основы [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук / М.М. Рахимов.. – Казань, 2007. – 24 с.

156. Рашевский, Н.Д. Переработка изношенных автомобильных шин с металлокордом [Текст] / Н.Д. Рашевский [и др.] // Экология и промышленность России. – 2000. – №12. – С. 17-20.

157. Ращупкина, М.А. Влияние дисперсности золы гидроудаления экибастузских углей и добавки жидкого стекла на свойства мелкозернистого бетона [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук / М.А. Ращупкина. – Новосибирск, 2009. – 15 с.

158. Романов, В.П. Влияние параметров дисперсного армирования на прочность элементов из сталефибробетона при статических и динамических нагрузках [Текст] / В.П. Романов, Ф.Н. Рабинович, И.Д. Захаров // Исследование и расчет новых типов пространственных конструкций гражданских зданий: труды ЛенЗНИИЭП. – Л., 1985. – С. 88–94.

159. Сапронова, И.А. Легкие бетоны с добавками техногенных отходов на основе резинотехнических изделий и ЗОЛ ТЭС [Текст]: автореф. дис.... канд. техн. наук / И.А. Сапронова. – Иваново, 2007. – 18 с.

160. Свиридов, В.Л. Опыт использования дробленой резины в составе асфальтобетонных смесей [Текст] / В.Л. Свиридов, Е.Ю. Махров, Е.В. Деметьева // Ползуновский вестник. – 2011. – №1. – С. 183-191.

161. Свиточ, Н.А. Утилизация отходов – путь к сохранению природных ресурсов [Текст] / Н.А. Свиточ // Твердые бытовые отходы. – 2010. – №5. – С.10-13.

162. Селяев, В.П. Изменение структурных параметров цементных композиций путем введения наполнителей [Текст] / В.П. Селяев, Л.И. Куприяшкина, О.В. Фролкина // Современные проблемы строительного материаловедения / Шестые Академические чтения РААСН. – Иваново, 2000. – С. 419-423.

163. Серенко, О.А. Течение высоконаполненных композиций термопластичный полимер – дисперсный эластичный наполнитель [Текст] /

О.А. Серенко, Г.П. Гончарук, М.И. Кнунянц, А.Н. Крючков // Высокомолекулярные соединения. – 1998. – №7. – С. 1186-1192.

164. Симакина, Г.Н. Высокопрочный дисперсно-армированный бетон [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Г.Н. Симакина. – Пенза, 2006. – 20 с.

165. Скобло, Л.И. Использование промышленных отходов в цементной промышленности США [Текст] / Л.И. Скобло // Цемент и его применение. – 2005. – №4. – С. 75-76.

166. Смирнов, Н.В. Использование резиновой крошки в наполнении битума для асфальтового покрытия автодорог [Текст] / Н.В. Смирнов, Б.М. Смирнов, А.П. Булгаков // Новые технологии. Инжиниринг. – 2009. – №11. – С. 1-17.

167. Соколов, Э.М. Переработка изношенных шин [Текст] / Э.М. Соколов [и др.]. – Тула. Тульск. ГУ, 1999. – 115 с.

168. Соловьев, В.Г. Влияние дисперсного армирования на структурообразование и прочностные свойства сталефибробетонов, подвергаемых тепловлажностной обработке [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук / В.Г. Соловьев. – Воронеж, 2009. – 28 с.

169. Соломатов, В.И. Интенсивная технология бетона [Текст] / В.И. Соломатов, Н.К. Тахиров. – М.: Стройиздат, 1989. – 284 с.

170. Соломатов, В.И. Химическое сопротивление материалов [Текст] / В.И. Соломатов, В.П. Селяев, Ю.А. Соколова. – М.: МИИТ, 2001. – 283 с.

171. Степанова, И.В. Разработка и применение новых зольсодержащих добавок для повышения качества бетонов разной плотности [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук / И.В. Степанова. – СПб., 2004. – 24 с.

172. Строителева, Е.А. Модификация структуры цементных бетонов наполнителем из золы-уноса ТЭС Дальнего Востока [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Е.А. Строителева. – СПб., 2007. – 23 с.

173. Суранкулов, Ш.Ж. Резиновая крошка в асфальтобетонных композициях [Текст] / Ш.Ж. Суранкулов // ҚазҰТУ Хабаршысы. – Казахстан: КГТУ. – 2011. – №5. – С. 12-15.

174. Сурус, О.В. Шины – под пресс [Текст] / О.В. Сурус // Твердые бытовые отходы. – 2007. – №4. – С. 36-37.

175. Схемы входного и операционного контроля качества строительно-монтажных работ «Кровли» [Текст] // ФГУП «Центр управления федеральной собственностью». – М., 2002. Ч.1, вып. 4.

176. Сырицин, Л.М. Производство шинного корда и технология его обработки [Текст] / Л.М. Сырицин, И.Л. Шмурак. – Воронеж: Воронежский государственный университет, 2006. – 400 с.

177. Тараканов, О.В. Химические добавки в растворы и бетоны [Текст] / О.В. Тараканов, Т.В. Пронина. – Пенза: ПГУАС, 2007. – 102 с.

178. Тарасеева, Н.И. Структурообразование и твердение цементных материалов, модифицированных солевыми и шламовыми отходами пред-

приятый энергетики [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05 / Н.И. Тарасева. – Пенза, 2005. – 278 с.

179. Турчанинов, В.И. Строительные материалы из промышленных отходов и местного сырья Оренбургской области [Текст]: учеб. пособие / В.И. Турчанинов. – Оренбург: ИПК ГОУ ОГУ, 2006. – 149 с.

180. Тюленев, М.А. Переработка покрышек. Достоинства и недостатки [Текст] / М.А. Тюленев // Твердые бытовые отходы. – 2007. – №4. – С. 42-48.

181. Хурнова, Л.М. Экологические критерии рационального природопользования в сфере производства строительных материалов [Текст]: учеб. пособие / Л.М. Хурнова. – Пенза: ПГАСА, 2006. – 43 с.

182. Цывьян, Б.М. Параметры термообработки отработанных шахтных канатов для изготовления фибры [Текст] / Б.М. Цывьян, Н.В. Этман // Фибробетон: свойства, технология, конструкции: тезисы докладов республиканского научно-технического совещания. – Рига: ЛатНИИСтроительства, 1988. – С. 100-104.

183. Чернышов, Е.М. Повышение трещиностойкости цементного бетона при многоуровневом дисперсном армировании его структуры [Текст] / Е.М. Чернышов, Д.Н. Коротких // Современные строительные материалы / Шестые академические чтения РААСН. – Белгород, 2001. – С. 587-598.

184. Чумаченко, Н.Г. Методологические основы производства строительной керамики на основе природного и техногенного сырья [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Н.Г. Чумаченко. – Пенза, 1999. – 42 с.

185. Шмурак, И.Л. Шинный корд и технология его обработки [Текст] / И.Л. Шмурак. – М., 2007. – 220 с.

186. Шульженко, Ю.П. Полимерные кровельные материалы и материалы для покрытия полов [Текст] / Ю.П. Шульженко, С.В. Горшков // Обзорный доклад о мировом уровне и тенденциях развития строительной науки и техники. – М.: ВНИИС Госстроя СССР, 1988. – С. 1-10.

187. Шульженко, Ю.П. Мастичные кровельные и гидроизоляционные материалы на основе хлорсульфополиэтилена [Текст] / Ю.П. Шульженко. – М.: ВНИИЭСМ, 1998. Сер. 6, вып. 3. – 48 с.

188. Шульженко, Ю.П. Полимерные кровли – основные проблемы и опыт применения [Текст] / Ю.П. Шульженко // Строительные материалы. – 2002. – № 12. – С. 2-5.

189. Шульженко, Ю.П. К вопросу долговечности кровель [Текст] / Ю.П. Шульженко // Строительные материалы. – 2003. – № 12. – С. 4-6.

190. Эллок, С. Сколько отходов образуется в России [Текст] / С. Эллок, А. Лифтинг, А. Тсуи, Т. Ютли, У. Сноу // Твердые бытовые отходы. – 2011. – №8. – С. 56 – 59.

191. Юловская, В.Д. Сетчатые эластомеры [Текст] / В.Д. Юловская, В.А. Шершнев. – М.: МИТХТ им. М. В. Ломоносова, 2009. – 20 с.

192. Adams M.J./ M.J. Adams, B.J. Briscoe, M. Kamjab // Adv. Coll. Int. Sei. 1993. V. 4 1. – P. 143.
193. Allman T. Great Idea/ Recycled Tires/ T. Allman // Chicago, IL: Norwood House Press – 2009. – p.49.
194. Bindiganavile V. / Impact response of ultra-high-strength fiber-reinforced cement composite. / V. Bindiganavile, N. Banthia, B. Aarup // ACI Materials Journal. – 2002. – Vol. 99. – №6. – P. 543–548.
195. European Rubber J. 1980. V.62. №7. – P.36-39.
196. J. Hannat. Fibre cements and fiber concretes. – New York.– 1998.
197. A.Magu mdar. Glass fiber reinforced cement. – London. – 1991.
198. Mennig G. / G. Mennig, M. Hannes, W. Pzyski, P. Scholz / Polimery. 1997. – №7-8. C.491-493.
199. White L. / L. White // Eur.Rubber J. 1995. V. 177. № 2. P. 20.
200. Patrick j. Carroll. Tire collection and recycling service/ Patrick j. Carroll // «APWA Convention Exhibitors», September 2011. – p.22-27
201. Portland Cement Association. Tire-derived fuel //Tire Derived Fuel Sustainable Manufacturing Fact Sheet 2008. – p.7-15.
202. Pramanik P.K. / P.K. Pramanik, W.E. Baker // Plast., Rubber and Compos. Process, and Appl. 1995. V. 24. – № 4. P. 229.
203. Rajalingam P., Sharpe J., Baker W.E. / P. Rajalingam, J. Sharpe, W.E. Baker // Rubber Chem. and Technol. 1993. V. 66. № 4. P. 664.
204. Rittes R. / R. Rittes // Chem. Eng. 1997. 104. №4. P.88-90,92.
205. Schmidt M. and other. Ultra-Hochfester Beton: Perspektive fur die Betonfertigteiling industrial. /M. Schmidt and other.// Betonwerk+Fertigtal-Technik. – 2003, – №3. S.16-29.
206. Schmidt M. 50 Jahre Entwicklung bei Zement, Zusatzmittel und Beton. Schriftenreihe Baustoffe. / M. Schmidt Centrum Baaaustoffe und Material-prufund.– 2003. – H.2, – P. 189-198.
207. Schmidt M. Ultrahochfester Beton-und Fertigteiltechnik./ M. Schmidt, E. Fenling // – 2003, – H. 11, P. 16-19.
208. Selvadurai A.P.S. The opening of an elastically bridges penny shaped flaw in a fibre reinforced composite by concentrated surfase loads /A.P.S. Selvadurai // Wiss. Z., 1982. – №2. – P. 187–190.
209. Stroeven P. Structural modelling of plain and fibre-reinforced concrete / P. Stroeven //Composites. – 1982. – vol. 13. – №2. – P. 129–139.

ОГЛАВЛЕНИЕ

НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ	3
ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ	4
ВВЕДЕНИЕ	5
Глава 1. ЗАРУБЕЖНЫЙ И ОТЕЧЕСТВЕННЫЙ ОПЫТ ПРОИЗВОДСТВА И ПРИМЕНЕНИЯ РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ.....	7
1.1. Масштабы образования и накопления техногенных отходов	7
1.2. Теоретические предпосылки получения эффективных строительных материалов с использованием продуктов переработки изношенных автомобильных шин	12
1.3. Опыт применения техногенных отходов в промышленности строительных материалов	20
Глава 2. ХАРАКТЕРИСТИКА И ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ИСПОЛЬЗУЕМОГО ОБОРУДОВАНИЯ И МАТЕРИАЛОВ	29
2.1. Оборудование по переработке изношенных автомобильных шин	29
2.2. Характеристика исходных материалов	34
Глава 3. СТРОИТЕЛЬНАЯ ГИБКАЯ ЧЕРЕПИЦА НА ОСНОВЕ РЕЗИНОВОЙ КРОШКИ, ПРОДУКТА МЕХАНИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ИЗНОШЕННЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ШИН.....	43
3.1. Выбор и обоснование методов переработки	43
3.1.1. Исследование морфологии поверхности резиновой крошки в зависимости от методов механической переработки.....	43
3.1.2. Подбор оптимального гранулометрического состава резиновой крошки	50
3.2. Определение технологических параметров формования гибкой черепицы на основе резиновой крошки	53
3.3. Эксплуатационные характеристики резиновой гибкой черепицы	59
Глава 4. КОМПЛЕКСНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ДИСПЕРСНО-АРМИРОВАННЫХ БЕТОНОВ	67
4.1. Влияние органоминеральных модификаторов на реологические и физико-механические свойства цементной матрицы дисперсно-армированных бетонов	68
4.2. Сравнительный анализ влияния вида и содержания армирующих элементов на прочность сталефибробетона	72

4.3. Эксплуатационные показатели фибробетона с использованием техногенных отходов	89
Глава 5. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ В ПРОИЗВОДСТВЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРОДУКТОВ ПЕРЕРАБОТКИ ИЗНОШЕННЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ШИН	96
5.1. Инновационные технологии создания эффективных строительных материалов с использованием отходов.....	96
5.2. Техничко-экономическое обоснование создания эффективных строительных материалов с использованием изношенных автомобильных шин	100
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	110

Научное издание

Демьянова Валентина Серафимовна
Гусев Алексей Дмитриевич

ЭФФЕКТИВНЫЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ

Монография

Р е д а к т о р М.А. Сухова
В е р с т к а Н.А. Сазонова

Подписано в печать 5.11.13. Формат 60×84/16.
Бумага офисная «Снегурочка». Печать на ризографе.
Усл. печ. л. 7,44. Уч.-изд. л. 8,0. Тираж 500 экз. 1-й завод 100 экз.
Заказ №191.

Издательство ПГУАС.
40028, г.Пенза, ул. Германа Титова, 28.