

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ  
«ГРОДНЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИМЕНИ ЯНКИ КУПАЛЫ»



Д. И. САФОНЧИК, Л. А. ЧЕРКАС, А. Р. ВОЛИК

# **СПРАВОЧНИК МОДУЛЯ «СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ УСТОЙЧИВОЙ ЗАСТРОЕННОЙ СРЕДЫ»**

**Практическое пособие**  
по дисциплине  
«Строительные материалы для устойчивой застроенной среды»  
для студентов строительных специальностей

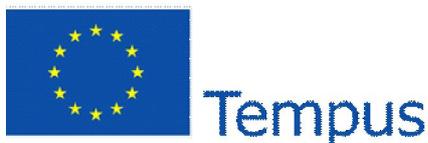
Гродно  
ГрГУ им. Я. Купалы  
2015

УДК 620.22(035)  
ББК 38.3  
С22

Рекомендовано Советом инженерно-строительного факультета  
ГрГУ им. Я. Купалы

Рецензенты:

*Скаскевич А. А.*, кандидат технических наук, доцент;  
*Миклашевич А. П.*, директор Коммунального проектно-изыскательского  
унитарного предприятия «Гродносельстройпроект»



Данный проект финансируется при поддержке Европейской комиссии. Настоящее издание отражает точку зрения авторов на рассматриваемую проблему. Европейская комиссия не несет ответственность за любое использование настоящей информации.

**Сафончик, Д. И.**

С22 Справочник модуля «Строительные материалы для устойчивой застроенной среды»: практ. пособие / Д. И. Сафончик, Л. А. Черкас, А. Р. Волик. – Гродно: ГрГУ, 2015. – 167 с.

ISBN 978-985-515-930-9

Излагаются проблемы и перспективы развития устойчивой застроенной среды, методы применения отходов промышленности при изготовлении строительных материалов, а также возможности повторного использования строительных элементов существующей застроенной среды. В основу издания легли результаты исследований, проведённых в рамках проекта CENEAST «Реформирование образовательных программ в области градостроительства по застройке окружающей среды и стран Восточной Европы», финансируемого при поддержке Европейской комиссии. Выводы и мнения, представленные в настоящем издании, отражают точку зрения только авторов, Европейская комиссия не может нести ответственность за любое использование информации, содержащейся в нём.

Адресовано студентам, бакалаврам, магистрантам строительных специальностей.

УДК 620.22(035)  
ББК 38.3

ISBN 978-985-515-930-9

© Сафончик Д. И., Черкас Л. А., Волик А. Р., 2015  
© Учреждение образования  
«Гродненский государственный университет  
имени Янки Купалы», 2015

## ВВЕДЕНИЕ



Дисциплина «Строительные материалы для устойчивой застроенной среды» разработана сотрудниками инженерно-строительного факультета Учреждения образования «Гродненский государственный университет имени Янки Купалы» для студентов строительных специальностей при поддержке программы TEMPUS «Реформирование программ в сфере градостроительства на пространстве восточного соседства». Данная программа, финансируемая Европейским Союзом, направлена на поддержку процессов модернизации высшего образования в странах-партнерах из Восточной Европы, Центральной Азии, Западных Балкан и Средиземноморья. Программа способствует расширению сотрудничества в области высшего образования между европейскими странами и странами-партнерами и содействует интеграции систем высшего образования стран-партнеров в общеевропейские процессы.

Разработанная дисциплина представлена справочником и лабораторным практикумом. Справочник состоит из трех разделов:

1. Устойчивая застроенная среда. Проблемы и перспективы её развития.
2. Применение отходов промышленности при изготовлении строительных материалов.
3. Повторное использование строительных элементов существующей застроенной среды.

Первый раздел содержит информацию о том, что собой представляет понятие «устойчивая застроенная среда» в современном понимании.

Во втором разделе достаточно подробно описаны технологии создания строительных материалов на основе отходов промышленности, уже нашедшие свое применение как в Республике Беларусь, так и в иных странах. В этом разделе нашли свое отражение и собственные разработки авторов.

Третий раздел является заключительным. В нем отражены некоторые знания о способах повторного применения отдельных строительных элементов в строительной отрасли.

РАЗДЕЛ 1

**УСТОЙЧИВАЯ ЗАСТРОЕННАЯ СРЕДА.  
ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ЕЁ РАЗВИТИЯ**



**1.1. Современные представления об устойчивой застроенной среде**

1.1.1. Общие представления о городской среде

В настоящее время процесс разрастания городов продолжается. По мере формирования гигантских агломераций, в пределах которых границы между отдельными поселениями сугубо условны, ширится практический и теоретический интерес к городу как окружению человека.

Подход к городу с естественнонаучных позиций привел к появлению понятия «городская среда».

*Городская среда* – не просто город, как плотно застроенная территория, а среда существования. Городская среда создается специалистами-проектировщиками, у которых есть свои профессиональные средства, особые стереотипы мышления. Широко употребляемое выражение «городская среда» не имеет пока статуса научного понятия. Начиная с 70-х годов XX столетия, в словаре проектировщика понятие «город» уступает таким выражениям, как «групповая система населённых мест» или «региональная система расселения». «Город» начинает трактоваться как элемент природного окружения. Здание или комплекс зданий рассматриваются как элемент не только функционально-пространственной, но и социальной системы города.

Новому пониманию города противостоят традиционные средства его проектирования. Придя к убеждению, что городская среда есть нечто существенно более сложное, нежели просто пространственная форма существования, оптимизируемая по техническим и эстетическим параметрам, проектировщики столкнулись с двумя тесно связанными между собой проблемами: получение нового знания о городе как о среде обитания; освоение этого знания, превращение его в средство собственной профессиональной деятельности.

Перед проектировщиками встала проблема кооперирования разных видов деятельности. Представление о городе как о замкнутом массиве интенсивной застройки, противостоящем природному окружению, было разрушено. Объект проектирования начал терять чёткость очертаний, так как не ясно, где проходит граница, за которой урбанизированная территория сменяется природной.

Появилась необходимость в принципиальном единстве целей науки и проектирования для обеспечения равновесия между городской средой и природой (в глобальном, региональном и локальном масштабах).

В настоящее время особое значение приобрело методологическое осмысление архитектурно-градостроительного проектирования, нацеленное на то, чтобы обеспечить ассимиляцию социально-экологического знания и системы проектирования, планирования развития городов.

Размещение крупных производств и создание новых индустриальных центров осуществляется с учетом экологической проблематики. Следовательно, можно уже говорить о начале формирования экосистемной ориентации градостроительного проектирования.

Сейчас лишь начальная стадия сложного, длительного процесса развития проектной деятельности и обслуживающего её знания, направленного на проблему городской среды. Два фактора объективно замедляют этот процесс.

Во-первых, сильная инерционность расселенческо-градостроительных процессов, вынуждающая в практике градоформирования закреплять ранее утвердившиеся градостроительные формы.

Во-вторых, обособленность инструментария проектирования и исследования, осложняющая проблему междисциплинарной работы с одним объектом.

### 1.1.2. Устойчивые биопозитивные город и страна

В последнее время город изучается как автономная экосистема, как элемент объемлющей экосистемы в рамках экологических исследований и, как объект проектирования, планирования, формирования и регулирования в рамках теории деятельности, теории организации и т. п.

**Устойчивый город** – это экологичный (биопозитивный), красивый, «здоровый», любимый жителями город, место расселения, в котором удовлетворяются все условия устойчивого развития.

**Биопозитивная страна** – это устойчиво развивающийся регион с устойчивыми местами расселения, постоянно поддерживаемым экологическим равновесием между освоенными и естественными территориями, с сохранением невозобновимых природных ресурсов и использованием возобновимых ресурсов в экологически допустимых пределах, с поддержанием экологически оптимального соотношения форм землепользования, с экологизацией всех направлений человеческой деятельности и всех потребностей, с сохранением и восстановлением биоразнообразия и естественных природных ландшафтов, с обеспечением экологически обоснованной территории естественной природной среды для существования «дикой» природы, с обеспечением высокого качества жизни.

**Устойчивая биопозитивная страна** состоит из биопозитивных мест расселения, которые находятся друг от друга на экологически обоснованных расстояниях и составляют вместе с природными территориями экологический каркас расселения. Биопозитивные места расселения также должны быть устойчиво развивающимися территориями с биопозитивными зданиями и инженерными сооружениями, с использованием замкнутых технологий и достижением уровня отходности, близкого к природному, не загрязняющие окружающую природную среду, с экологически обоснованными озелененными территориями и зелеными коридорами, обеспечивающими существование диких животных, и др.

Города должны быть удалены друг от друга на большие расстояния и при этом обязательно находиться в окружении хорошо озелененных и высокопродуктивных ландшафтов. Цель окружения города хорошей природной средой при этом неэтична – природа должна усваивать и перерабатывать загрязнения от города.

В современный город поступает большое количество энергии и веществ, а из него в окружающую среду идет поток загрязнений, энергии и др. Внутри города потоки веществ и энергии многократно пересекаются, при этом вырабатываются различные изделия, материалы, пищевые продукты, отходы; в окружающую среду поступают загрязнения, возвращающиеся к жителям через многочисленные источники (дыхание, питание и пр.).

В связи с общими тенденциями экологизации в последние годы возрос интерес к реставрационной, восстановительной экологии и связанной с ней природоохранной этике при создании экологичных городов и стран.

Основные положения концепции экологичной страны следующие:

- любая страна не должна наносить экологического, экономического или социального ущерба другим странам, в то же время внутри каждой страны должно поддерживаться сохранение природно-ресурсного потенциала;
- необходимо регулирование пределов использования ресурсов с учетом их конечности и знания экологических ограничений;
- показатель благополучия экосистемы – поддержание определенного взаимоотношения между экологическими компонентами или равновесие между территориями, используемыми интенсивно (урбанизация, агрокомплексы) и экстенсивно (леса, луга, заповедники и др.);
- необходимо демографическое планирование;
- приемлемы только природосберегающие, биосферосовместимые, ресурсосберегающие и малоотходные технологии и объекты техники, замкнутые циклы, полное рециклирование, отсутствие свалок;
- должен быть запрещен экологически неграмотный технократизм, гигантизм и волюнтаризм в природопользовании;
- основой успешного устойчивого развития должна стать система экологического образования, воспитания, информации.

При новом строительстве рекомендуется возведение принципиально нового устойчивого экогорода с максимальным использованием экосовместимых решений, позволяющих минимизировать или полностью исключить внесение загрязнений в среду, повысить качество жизни, приблизить жителя к природе, улучшить понимание поддержки природной среды, снизить энергопотребление, и др. (таблица 1.1).

Таблица 1.1 – Основные направления создания устойчивого города

Совершенствование мест расселения	Энергосбережение	Экологизация	Озеленение	Очистка сточных вод и сбор отходов
Новые решения по реконструкции мест расселения	Минимизация энергопотребления	Решение экологических проблем	Увеличение количества озелененных вертикальных и горизонтальных поверхностей	Глубокая очистка загрязнений, система утилизации и повторного использования

Устойчивый экогород создается, с одной стороны, для жителей, с другой – для поддержки природы (таблица 1.2).

Таблица 1.2 – Цели создания экогородов

Для жителей	Для природы
1. Повышение качества жизни (чистые воздух и вода, зелень, малая этажность, экологичные материалы).	1. Восстановление биосферы, восполнение энергии, биомассы, пищи.
2. Экологическое воспитание взрослых и детей.	2. Создание зеленых коридоров для свободной миграции животных.
3. Обеспечение здоровья и безопасности жителей.	3. Сокращение или исключение загрязнений природы от города.
4. Достижение экономии энергии. Поощрение естественных технологий.	4. Использование возобновимой энергии и сокращение потребления невозобновимой энергии, невозобновимых материалов.
5. Уважение к историческому наследию.	5. Сокращение площади города, недопущение «расползания» городов, сохранение естественных ландшафтов от застройки.
6. Повышение эстетических качеств города. Восприятие города как естественного компонента природной среды, включение его в экосистему.	6. Сохранение природы. Поддержание участков «дикой» природы. Как следствие – поддержание экологического равновесия между освоенными и естественными территориями.

### 1.1.3. Основные направления создания экогородов

К основным направлениям создания экогородов можно отнести следующие:

*Устойчивая энергия:* энергосберегающие объемно-планировочные и конструктивные решения; гелиоколлекторы и солнечные батареи на кровлях и экранах лоджий; регуляторы тепла на каждой батарее и счетчики тепла; пассивное солнечное отопление и летнее охлаждение; использование стратегии «зеленого проектирования»; аккумулирование энергии; утилизация внутреннего тепла; использование подземного тепла, ветровой энергии и др.

*Устойчивые материалы* – природные материалы, невредные для человека; рециклируемые или повторно использованные материалы; ограничение использования выделяющих вредные вещества синтетических отделочных материалов, любых других материалов с вредными выделениями.

*Устойчивая деятельность в городе* – использование только экологичной техники и технологий, безотходность, природоподобие.

*Устойчивый транспорт* – общественный транспорт, не загрязняющий среду или выбрасывающий малые загрязнения, причем преимущество отдается электротранспорту или личным электромобилям или автомобилям на газе; всячески поощряется пешеходное движение и велотранспорт.

*Устойчивое водопотребление* – сбор и использование дождевой воды, стекающей с крыш, с покрытий автодорог и проездов; сбор и повторное использование сточных бытовых вод после глубокой очистки; использование простых способов экономии воды: счетчики, краны с пониженным расходом воды и др.

*Устойчивая система отходов* – система сбора и утилизации всех твердых бытовых отходов с целью их минимизации и полного рециклинга. Для сокращения объемов свалок, исключе-

ния возгорания, размножения грызунов, выделения запахов отходы прессуют. Растительные остатки и органические отходы компостируют и используют для получения биогумуса.

*Очистка, рециклинг, восстановление свойств* – очистка всех загрязнений, сокращение (минимизация) поступления отходов и их повторное использование в результате рециклинга и переработки; очистка воздуха от пыли и загрязнений и улучшение его состава с помощью озеленения и сокращения выбросов, очистка воды, очистка и восстановление свойств почвы с помощью растений и биогумуса, и др.

*Устойчивые ландшафты и устойчивое озеленение; производство биопродукции* – устойчивое озеленение и фитомелиорация города; озеленение всех доступных горизонтальных и вертикальных поверхностей зданий и сооружений; создание системы ухода за зеленью; отведение небольшой части территории для плодоносящего сада и огорода.

*Устойчивая фауна* – создание участков «дикой» природы; устройство в конструкциях зданий и инженерных сооружений специальных «ниш» и скворечников для привлечения и расселения мелких животных и птиц; поддержание «зеленых коридоров», чистой среды, отсутствие шумового загрязнения для привлечения, обеспечения существования, размножения и свободной миграции животных.

*Экологическое образование и воспитание, проверка перспективных экологических решений* – выделение участков на территории города для возведения новых типов перспективных экологических зданий (полностью энергетически автономный дом, энергоактивные здания, здания с пристроенными вертикальными теплицами, здания с утилизацией внутреннего тепла, «умные» здания); возведение экоцентров для экологического образования и воспитания всего населения.

#### 1.1.4. Сбор и переработка отходов

Особое внимание в биопозитивной стране и городе должно уделяться сбору и переработке отходов. Индустрия сбора и переработки отходов в настоящее время стала одним из самых современных направлений экобизнеса в ряде развитых стран (ФРГ, Япония и др.). Можно выделить ряд направлений совершенствования экологичности индустрии отходов и использования принципов биопозитивности в этом актуальном направлении деятельности человека (таблица 1.3). Однако проблема свалок, переработки их содержимого, сбора отходов, современного их хранения очень актуальна в связи с постоянным ростом объема отходов.

Сейчас практически в любом месте Земли располагаются свалки. Среди них масса действующих, официально отведенных и стихийных, а также старых заброшенных свалок и захоронений. Объем и количество их постоянно растет, стихийные свалки сопровождают места «дикого» отдыха, в том числе в уникальных и практически невозстанавливаемых местах. В связи с ростом числа индивидуальных жилых домов на прилегающих к ним территориях также мгновенно возникают свалки. Любые балки, лощины, низины осваиваются как свалки отходов. Особым (так как эти свалки не видны) и крайне опасным видом свалок являются свалки отходов в море через так называемые «глубоководные» водовыпуски.

Таблица 1.3 – Индустрия городских отходов

<b>Совершенствование индустрии отходов</b>	<b>Новые направления в индустрии отходов</b>	<b>Принципиально новые разработки</b>
Раздельный сбор и пакетирование	Управление отходами и проектирование изделий с учетом их рециклинга	Техногенные месторождения (накопление отходов и их естественная переработка)
Рекуперация, глубокая очистка, утилизация	Экобиотехнология переработки органических отходов с получением гумуса и газа	Биорекуперация отходов
Обезвреживание, новые типы свалок и хранилищ	Повторное использование сточных вод, полное исключение сброса отходов	Биодезодорация с целью удаления плохих запахов и вредных веществ. Одорация городской среды
Разведка и санирование с переработкой старых свалок	Экобиотехнологии для очистки и переработки твердых, жидких и газообразных отходов	Достижение отходности, равной биосферной по составу и объему

На территории Земли есть старые не действующие свалки, на которые выбрасывали отходы лечебных заведений, в том числе, возможно, и содержащие болезнетворные микроорганизмы.

Все без исключения свалки являются источниками загрязнения воздуха (выделение газов от гниения органических веществ), почвы и грунтовых вод (стоки от содержимого свалок); они выделяют также неприятные запахи (аммиак, сероводород, меркаптан и др.), способствуют размножению грызунов, подвержены возгоранию, выделяют дым и пыль, просто занимают территорию и имеют неприятный внешний вид (это называется визуальным, или эстетическим загрязнением ландшафта). Земля не должна использоваться для хранения отходов неразумной деятельности людей.

Для ликвидации старых свалок необходимы изыскания и обследования свалок с целью их выявления (если они закрыты грунтом), определения состояния и состава и немедленного принятия мер по санированию (оздоровлению). Для санирования свалки отходы изолируют от грунта и атмосферы, собирают поступающий биогаз и после очистки используют его как горючее (для больших свалок рационально устройство теплиц недалеко от свалки со снабжением теплом от этой свалки), собирают и очищают стоки, а сверху закрывают растительным грунтом и высаживают деревья. Если при обследовании выявляется возможность разработки свалки для получения полезных вторичных продуктов – свалку разрабатывают, и она постепенно ликвидируется. Для разработки особенно больших старых свалок можно устроить рядом со свалкой временный завод по переработке отходов.

Наиболее актуален вопрос создания новых и функционирования действующих свалок. Объемы свалок снижают еще на стадии образования отходов.

Отходы чаще всего сортируют при их сдаче. Для сокращения объемов свалок отходы, которые туда направляются, прессуют. Отходы на свалках укладывают тонкими ровными слоями, перемежая их слоями грунта, причем перед укладкой первого слоя на грунт кладут геомембрану – пленку, защищающую грунт от поступления стоков от свалки. Свалку прорезают скважинами, из которых получают биогаз, а сверху ее также закрывают пленкой и растительным грунтом. На период складирования отходов место новой свалки закрывают

передвижным покрытием, защищающим материал от увлажнения. После заполнения части свалки и устройства изоляции и засыпки растительного слоя покрытие перемещают.

Гораздо эффективнее защита среды от загрязнений при использовании железобетонных емкостей, в которые засыпают содержимое свалок, или подземных выработок в прочном нефилтующем грунте, где складировать упакованные на прессах отходы. Растительные остатки компостируют и используют для получения биогумуса с помощью разных видов дождевых червей.

Тщательно изучают проблемы образования отходов, причем на первое место ставится вопрос исключения отходов, на второе – их переработка, и только на третье – вывоз на свалки, или сжигание. Для образования свалок тщательно, на основе глубоких исследований и изысканий, выбирают место: естественная или искусственная выемка в прочном нефилтующем грунте, без тектонических явлений, без грунтовых вод. Постепенно выемка заполняется, тогда сверху высаживают деревья.

Для контроля образования в свалке метана и гидролизата по периметру устраивают скважины с датчиками. Образующийся метан можно использовать для получения тепла или энергии при его сжигании.

В настоящее время возникает новая отрасль индустрии – индустрия отходов, которая усовершенствует современную индустрию сбора, хранения и использования отходов с учетом их сокращения, почти полного рециклирования, биорекуперации и биодезодорации, накопления новых техногенных месторождений полезных ископаемых и энергии.

Таким образом, устойчивый город – это здоровый и красивый город, синтез многочисленных устойчивых решений всех сооружений, всей деятельности, всех ландшафтов. В условиях существующих неустойчивых городов наибольшее значение приобретает не новое устойчивое строительство, а устойчивая реконструкция зданий, сооружений, производств, техники и технологий, ландшафтов.

## **1.2. Нормативно-правовое регулирование концепции устойчивого развития застроенной среды**

### **1.2.1. Основные мероприятия по переходу к устойчивому развитию застроенной среды**

Глобальными вехами для перехода к устойчивому развитию стали предпринятые Организацией Объединенных Наций (ООН) следующие мероприятия:

- 1972 г. – Стокгольмская конференция по окружающей среде, где представители 113 стран провели первую всемирную встречу по проблемам окружающей среды.

- 1983 г. – создание Организацией Объединенных Наций Всемирной комиссии по окружающей среде и развитию (комиссия Г. Х. Брунтланд). Комиссия призвала к новой эре экономического развития, безопасного для окружающей среды, и определила понятие устойчивого развития: «Человечество способно сделать развитие устойчивым – обеспечить, чтобы оно удовлетворяло нужды настоящего, не подвергая риску способность будущих поколений удовлетворять свои потребности».

- 1987 г. – доклад Всемирной комиссии по окружающей среде и развитию «Наше общее будущее», в котором прозвучали серьезные предупреждения о необходимости изменения образа жизни и деятельности человечества, чтобы предотвратить дальнейшее ухудшение природной среды.

- 1992 г. – встречи на высшем уровне и Конференция ООН по окружающей среде и развитию в Рио-де-Жанейро (Бразилия). На встрече присутствовали главы и высокопоставленные представители 179 правительств, которые приняли пять документов всемирного устойчивого развития:

1. Декларация по окружающей среде и развитию. 27 принципов этой Декларации определяют права и обязанности стран в деле обеспечения развития и благосостояния людей.

2. «Повестка дня на XXI век» – программа достижения устойчивого развития с социальной, экономической и экологической точек зрения.

3. Заявление о принципах управления, защиты и устойчивого развития всех видов лесов, жизненно необходимых для сохранения всех форм жизни и обеспечения экономического развития.

4. Конвенция об изменении климата с целью стабилизации концентрации газов, вызывающих парниковый эффект в атмосфере, до экологически допустимых уровней.

5. Конвенция о биологическом разнообразии, требующая от всех стран сохранения биологического разнообразия всего живого.

Конференция ООН «Рио-92» настоятельно рекомендовала правительствам всех стран мира разработать стратегии устойчивого развития, имеющие целью социально направленное экономическое развитие наряду с охраной ресурсной базы и окружающей среды на благо нынешнего и будущих поколений. Правительства должны содействовать разработке законодательства по устойчивому развитию, основанного на разумных экономических, социальных и природоохранных принципах. В регионе с ухудшающейся окружающей средой невозможно здоровое общество и экономика.

Для поддержки устойчивого развития городов в Европе создано «Движение европейских устойчивых городов».

Стратегии и программы устойчивого развития являются наиболее совершенными программами, в которых впервые объединена в единое целое вся политика в социальной, экономической, экологической и других сферах на всех уровнях.

Обычный план устойчивого развития включает в себя следующие разделы: советы (требования) к руководству; советы (предложения) гражданам; повышение качества воздуха и воды; сбережение энергии, производство энергии; ландшафты (имеются в виду и городские ландшафты); отходы: сокращение, переработка, хранение; рециклинг, очистка; экономическое развитие с учетом интересов природы; экологичный транспорт; природоохранные технологии; действия местного управления; реклама природоохранной деятельности.

Возможными дополнениями плана устойчивого развития являются: экореконструкция (города, завода, энергокомплекса, агрокомплекса, транспортного комплекса, свалок и др.); восстановление свойств почв; восстановление всех компонентов ландшафтов (в том числе флоры и фауны); материалы (использование возобновимых и широко представленных в земной коре материалов); экологичная конверсия; экомониторинг; экологическое образование и

воспитание; предохранение от природных (землетрясения, оползни, наводнения, сели, и др.) и социальных катастроф.

В программах некоторых городов мира приводятся дополнительные сведения, очень важные для обеспечения устойчивого развития: перечень глобальных, национальных и локальных экологических проблем и взаимосвязь между ними; проблемы обеспечения жизни следующих поколений; обеспечение участия жителей в решении проблем и одновременно обеспечение возможности гражданского неповиновения в рамках закона при сопротивлении жителей намечаемому негативному воздействию на природу.

Совершенно необходимой для планируемого устойчивого развития является **Программа устойчивого развития города**. Это, как правило, комплексный план, не ограничиваемый во времени.

Отличие программы устойчивого развития города от любых известных программ в том, что она построена на центральной идее обеспечения устойчивости, которой подчинены все другие вопросы. Это позволяет видеть в комплексе проблему обеспечения устойчивого развития и своевременно ограничивать развитие отдельных городских отраслей, которое может вести к неустойчивости.

Рекомендуемые пункты программы устойчивого развития:

- декларация о необходимости устойчивого развития города;
- советы руководству и жителям города о политике, образе жизни и действиях, обеспечивающих устойчивое развитие;
- 15–25 разделов программы, разделенных по конкретным направлениям жизни и деятельности человека в городе;
- краткое описание индикаторов, показывающих достижение устойчивого развития города;
- подтверждение принятия программы всеми органами власти и одобрения ее жителями.

### 1.2.2. Декларация о необходимости устойчивого развития города (области)

Обычные программы для городов рассматривают социальные, экономические, производственные, энергетические, сельскохозяйственные, налоговые, транспортные и другие проблемы отдельно и в отрыве от экологических факторов. В то же время в мировой практике в наши дни получила широкое развитие разработка стратегий и программ устойчивого развития, одобренная ООН и рекомендованная конференцией ООН «Рио-92» для правительств и народов всех стран.

Ряд крупных городов и регионов мира уже включились в выполнение Программ устойчивого развития, представили свои «Планы устойчивого развития», в которых решаются практически все без исключения проблемы – от поддержания экологически обоснованного соотношения между освоенными и естественными территориями (в том числе сохранение даже на территории городов участков «дикой» природы) и до создания системы сокращения и утилизации всех отходов. Это программы действий, они направлены

на решение актуальных сегодня и перспективных проблем. Но главное они позволяют видеть проблему обеспечения устойчивого развития в комплексе, во всех видах человеческой деятельности и для всех компонентов загрязняемых ландшафтов (место проживания, промышленность, транспорт, отходы, вода, воздух, и др.). Программы включают мероприятия в области экологического образования и воспитания.

### 1.2.3. «Повестка дня на XXI век» – основа Программы устойчивого развития

Концепция программы устойчивого развития города базируется на «Повестке дня на XXI век», одном из самых важных документов, принятых на глобальном экологическом совещании «Рио-92», и являющимся главным планом действий для устойчивого развития мира в XXI столетии, в котором учтены предложения 179 национальных правительств. «Повестка дня на XXI век» называет главные направления действий на XXI век: минимизация потребления ресурсов; минимизация производства отходов; рециклинг и повторное использование отходов; исключение или минимизация загрязнений; исключение прежних загрязнений и ранее нанесенного вреда; предупреждение нанесения вреда природе; управление энергией, снижение потребления энергии и нужд; поощрение не загрязняющего транспорта и снижение потребностей в транспорте; поддержка лесов, новых лесопосадок и биологического разнообразия; искоренение дискриминации и бедности; обеспечение снабжения товарами и продуктами; обеспечение основных прав человека; обеспечение равных возможностей в получении базового образования для всех; мониторинг состояния природы для включения воздействий на природу в оценку политики и проектов.

Декларация «Повестка дня на XXI век» содержит следующие основные положения:

- люди имеют право на здоровую и плодотворную жизнь в гармонии с природой;
- сегодняшнее развитие не должно осуществляться во вред интересам развития и охране окружающей среды на благо нынешнего и будущих поколений;
- государства имеют суверенное право разрабатывать свои ресурсы без ущерба природе внутри государств и за пределами их границ;
- государства сотрудничают в целях сохранения, защиты и восстановления целостности экосистемы Земли, делятся знаниями и технологиями для достижения устойчивого развития;
- для устойчивого развития защита природы должна быть неотъемлемой частью процесса развития;
- государства должны принять меры для охраны природы, разработать международное законодательство о компенсации за ущерб природе, ликвидировать не отвечающие интересам устойчивого развития модели производства и потребления, поощрять соответствующую демографическую политику;
- тот, кто загрязняет природу, должен нести финансовую ответственность за это загрязнение;
- мир, устойчивое развитие и охрана природы неразделимы.

#### 1.2.4. Порядок выполнения положений по обеспечению устойчивого раз вития здорового города

В настоящее время известно достаточно много способов устойчивого проектирования зданий и сооружений с биопозитивными свойствами – начиная с материалов и кончая сбором и утилизацией отходов. Поэтому рядом специалистов предлагается подвергать проектируемые и реконструируемые микрорайоны, здания и инженерные сооружения следующему «устойчивому» анализу:

1. Способствуют ли архитектурно-планировочные и градостроительные решения поддержанию общения жителей, созданию образа красивого и миролюбивого района, города, выработке новых этических норм, дружбе, солидарности жителей?

2. Способствуют ли архитектурно-планировочные, ландшафтно-архитектурные и урбоэкологические решения экологическому воспитанию и образованию жителей?

3. Удовлетворены ли требования миниатюризации объекта, его соответствия размерам природных форм, визиоэкологии?

4. В полной ли мере используются экологичные строительные материалы, можно ли полностью избежать применения пластмасс? Есть ли возможность использовать безвредные отходы для изготовления отдельных экологичных элементов зданий?

5. Все ли сделано для максимального освобождения почвенно-растительного слоя от застройки? Соблюдается ли требование проницаемости твердых покрытий грунта?

6. В полной ли мере используется подземное пространство для размещения допустимых в нем объектов и частей зданий, сооружений?

7. Все ли возможные вертикальные и горизонтальные поверхности озеленены, можно ли устроить почвенный слой на поверхностях, достаточно ли учтены положения пермакультуры и фитомелиорации?

8. Есть ли возможность устроить укрытия для мелких птиц и животных?

9. Какие способы экономии энергии и утилизации внутреннего тепла использованы, и что еще можно сделать?

10. Какую возобновимую энергию можно использовать в районе строительства, и какие устройства для ее утилизации и накопления (аккумулирования) можно объединить с конструкциями здания, сооружения?

11. В полной ли мере использованы возможности применения естественных технологий вместо энергозатратных искусственных?

12. Каковы в данном объекте реальные пределы полифункциональности зданий и сооружений, возможности снижения опасности катастрофических воздействий?

13. Все ли возможные способы архитектурно-строительной бионики использованы в проекте, учтены ли принципы природоподобия?

14. Можно ли придать «умные» свойства зданию, сооружению или его частям?

15. Все ли сделано для наиболее полного достижения автономности объекта (независимости или малой зависимости от внешних сетей водопровода, канализации, отопления, электроснабжения, газа)?

Таким образом, устойчивое проектирование и строительство – это исключительно актуальные направления прогрессивного развития, поэтому необходимо сосредоточить уси-

лия научных работников и проектировщиков на разработке теоретических основ и детальных устойчивых решений здоровых городов, районов, зданий и инженерных сооружений.

В условиях резкого роста темпов техногенной эволюции, вытеснения природы, роста искусственности жизни и среды неизмеримо возрастает ценность естественной природы. Естественная природа, естественные ресурсы, естественная эволюция – это необходимые и безусловные аспекты сохранения жизни на Земле. Человек должен иметь экологическое право на жизнь в гармонии с естественной средой. Вместе с тем он должен иметь экологические обязанности для сохранения природы Земли и естественной эволюции.

#### 1.2.5. Примеры городов, имеющих стратегии устойчивого развития.

Нормативно-правовые документы, регулирующие устойчивое развитие

*Примеры городов, имеющих (или имевших) стратегии, направленные на обеспечение устойчивого развития:*

- Стратегия управления ростом «Оттава – 2020».
- Канберра – план развития города на 30 лет состоит из трех взаимосвязанных частей – Социальный план, Территориальный план и План экономического развития.
- Стратегический план развития Праги до 2006 года.
- Стратегический план развития Мельбурна до 2030 года.
- Стратегия развития Софии до 2010 года.

*Нормативно-правовые документы:*

1. Руководящие принципы планирования устойчивого развития населенных пунктов / Европейская экономическая комиссия. ООН. – Нью-Йорк – Женева, 1996. – 94 с.
2. Планирование устойчивых городов: Направления стратегии. Глобальный доклад о населенных пунктах (сокращенная версия) / ООН ХАБИТАТ. – Лондон – Стерлинг, Вирджиния, 2009. – 120 с.
3. Национальный доклад «Развитие городов: лучшие практики и современные тенденции» / Экспо-2010, КЕМ. – М., 2011. – 82 с.

#### 1.2.6. Нормативно-правовые документы Республики Беларусь, регулирующие устойчивое развитие застроенной среды

На настоящий момент в нормативно-правовом поле Республики Беларусь отсутствует законодательный акт, регламентирующий общие требования к структуре, содержанию и порядку утверждения документов, определяющих стратегическое социо-эколого-экономическое развитие территорий населенных пунктов в рамках устойчивого развития.

*Некоторые вопросы освещаются в следующих документах:*

1. Об образовании Национальной комиссии по устойчивому развитию Республики Беларусь : постановление Кабинета Министров Республики Беларусь, 20 марта 1996 г., № 197.
2. О составе Национальной комиссии по устойчивому развитию Республики Беларусь : постановление Совета Министров Республики Беларусь, 6 апр. 2006 г., № 464.

3. Национальная стратегия устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2020 г. (НСУР-2020) : утв. Советом Министров Республики Беларусь, 22 июня 2004 г. / Нац. комиссия по устойчивому развитию Респ. Беларусь ; редкол.: Л. М. Александрович [и др.]. – Минск : Юнипак, 2004. – 202 с.

4. Программа развития ООН «Поддержка окружающей среды и Устойчивого развития в Беларуси».

5. Об утверждении генерального плана г. Минска с прилегающими территориями и некоторых вопросах его реализации : Указ Президента Республики Беларусь от 23 апр. 2003 г. № 165 : текст с изм. и доп. на дек. 2013 г.

6. Основные направления Государственной градостроительной политики на 2011–2015 годы : Указ Президента Республики Беларусь от 30 авг. 2011 г. № 385 : с коммент. / М-во архитектуры и строительства Республики Беларусь. – Минск, 2012.

7. Концепция строительства (реконструкции) доступного и комфортного жилья для населения.

8. Концепция стратегии устойчивого развития города Лиды и Лидского района / Л. И. Мاستюгин [и др.]. – Минск, 2014.

9. Стандарт BRE в области окружающей среды и устойчивого развития BES 6001: ВЕРСИЯ 2.0. Рамочный стандарт в области ответственных поставок строительных материалов.

10. ТР 2009/013/ВУ. Здания и сооружения, строительные материалы и изделия. Безопасность.

11. Об утверждении Перечня технических нормативных правовых актов, взаимосвязанных с техническим регламентом ТР2009/013/ВУ (344 документа) : постановление Министерства архитектуры и строительства Республики Беларусь от 28 мая 2013 г. № 13.

12. Методические рекомендации по применению технического регламента ТР 2009/013/ВУ. Здания и сооружения, строительные материалы и изделия. Безопасность : постановление Министерства архитектуры и строительства Республики Беларусь, 9 нояб. 2012 г., № 33.

#### 1.2.7. Нормативно-правовые документы зарубежных стран, регулирующие устойчивое развитие застроенной среды

Рамочные стандарты и европейские нормы проектирования и строительства:

1. LEED – Американский стандарт Зеленого строительства.

2. BREEAM – Британский стандарт Зеленого строительства (BREEAM – стандарт в Великобритании; BREEAM In-Use (для существующих зданий); в разработке BREEAM – распространение и применение в мире).

3. DGNB – Немецкий стандарт устойчивых зданий.

4. Система добровольной сертификации объектов недвижимости – «Зеленые стандарты».

5. ГОСТ Р 54694-2012. Оценка соответствия. Экологические требования к объектам недвижимости.

6. Национальное объединение строителей (Россия) – СТО НОСТРОЙ 2.35.4-2011.

7. LBC – Жизненный вызов строительству.

8. SBAT для оценки стадионов (FIFA 2010).
9. Open House – европейский стандарт устойчивого строительства.
10. Tool – Европейский стандарт (в разработке).
11. Система оценки Code for Sustainable Homes (CSH).
12. Passivhaus – Пассивный, энергоэффективный дом – Немецкий стандарт.
13. Casaclima-KlimaHaus – стандарт Пассивного дома в Италии (в разработке).
14. Технические стандарты guralZED.
15. HQE (High Quality Environmental standard). Стандарт высококачественной экологичности во Франции (в разработке).
16. PromiseE – экостандарт Финляндии.
17. EU Green Building Program (в разработке).
18. Green Globes – стандарт в Америке (в разработке).
19. Model Green Homebuilding Guidelines – стандарт в Америке (в разработке).
20. Built Green Canada (в разработке).
21. NABERS – стандарт в Австралии (в разработке).
22. Green Star – стандарт в Австралии (в разработке).
23. ABGR – стандарт в Австралии (в разработке).
24. Evaluation Standard for Green Buildings – стандарт в Китае (в разработке).
25. The Green Olympic Building Assessment System (GOBAS) – в Китае (в разработке).
26. iiSBE – стандарты в Испании и Португалии (в разработке).
27. SEI – Sustainable Energy Ireland – стандарт в Ирландии (в разработке).
28. Boverket – жилищный стандарт Швеции (в разработке).
29. EN 15232 – стандарт Энергетической производительности зданий (в разработке).
30. EcoMaterial – Российский стандарт экомаркировки строительных материалов.
31. Greenroad – стандарт создания дорог – безопасных для вождения и сокращающих расход топлива (в разработке).
32. Закон США 2005 года «Об энергетической политике».
33. EPBD – Директива по энергетическим характеристикам зданий 2002/91/EC.
34. LEED – The Leadership in Energy and Ecological Design. Руководство в энергетическом и экологическом проектировании.
35. BREEAM – Метод экологической оценки зданий.
36. DGNB – Система сертификации при проектировании и оценке качества зданий во всесторонней перспективе.
37. 2030 Challenge Interim Code Equivalents – Инициатива «Вызов 2030: Промежуточные эквиваленты правил».
38. Серия ISO 9000 по менеджменту качества организаций.
39. ISO 21931-1:2010 – Устойчивость при строительстве зданий.
40. ISO 21930:2007 – Устойчивость при строительстве зданий – Экологическая декларация строительных продуктов.
41. ISO/TS 21929-1 – Устойчивость при строительстве зданий – Индикаторы устойчивости. Часть 1: Общая схема разработки индикаторов для строительной деятельности.

42. ASHRAE Energy Standard 90.1-2007. Эталонный промышленный строительный стандарт для строительных энергетических норм и правил штатов в соответствии с Законом об энергетической политике.

43. Об охране окружающей среды, № 7-ФЗ.

44. Об охране атмосферного воздуха, № 96-ФЗ.

45. Федеральный закон об экологической экспертизе, № 174-ФЗ.

46. О некоторых мерах по повышению энергетической и экологической эффективности российской экономики : Указ № 889.

47. Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности, № 261-ФЗ.

48. О теплоснабжении» от 27 июля 2010 г., № 190-ФЗ.

49. Рейтинговая система оценки качества здания от российской ассоциации инженеров АВОК.

50. Технический регламент о безопасности зданий и сооружений, № 384-ФЗ.

51. О саморегулируемых организациях от 01.12.2007 г., № 315-ФЗ.

52. Нормативная база обращения с отходами строительства и сноса в Российской Федерации.

Развитие стандартизации и упорядочение строительных норм и правил, которые продвигают такие рейтинговые системы, как американская LEED и британская BREEAM, может существенно улучшить экологическую ситуацию и сделать экономические вложения более рентабельными.

BREEAM и LEED признанные в мире системы. Компании, создавшие данные стандарты качества зеленого домостроения, не являются жесткими конкурентами.

Многие принципы оценки рейтинговых систем схожи, однако британская BREEAM считается более строгой системой. Она появилась на 8 лет раньше LEED и в своем портфолио имеет большее число сертифицированных объектов, однако американская система считается более распространенной в мире.

LEED имеет хорошую техническую базу, однако плохо учитывает экономику иностранных государств. Дело в том, что в США применяются программы стимулирования энергоэффективных и зеленых технологий через налоговые послабления или прямые дотации (в зависимости от отрасли и объема вложений в инновации).

Поэтому в США LEED не просто помогает стандартизировать требования к строящемуся объекту и сделать процесс его строительства и эксплуатации наиболее безопасным для природы и здоровья человека, но и дает существенный экономический эффект.

Во многих странах, в том числе и России, государственных программ поддержки зеленых технологий пока не разработано. Таким образом, применение LEED вне американского социально-политического контекста зависит от этических ценностей местного бизнес-общества и от их амбиций по развитию трансграничной предпринимательской деятельности (LEED имеет международное признание; наличие сертификата позволит, к примеру, привлечь крупных иностранных арендаторов коммерческих площадей).

Оценочные критерии BREEAM считаются более академичными и строгими по отношению к LEED. Однако разработчики британской рейтинговой системы готовы учитывать специфику местных экономик и законодательных требований – в этой гибкости заключается достоинство BREEAM.

### **1.3. Анализ проблем развития существующей устойчивой застроенной среды**

#### 1.3.1. Социальные проблемы развития городов

Современные города имеют существенные различия по экономическим, географическим, природно-климатическим, этническим, конфессиональным и другим признакам. Города также имеют и целый ряд схожих характеристик и проблем: социальных, экономических, экологических. Наиболее схожие проблемы ряда городов – это необходимость в растущих объемах энергии и других ресурсах, в сокращении выбросов от расширяющегося парка автомобилей, в переработке больших объемов бытовых и промышленных отходов и другие.

Социальные проблемы развития городов обусловлены значительной дифференциацией населения по уровню доходов, этническим признакам, культурному уровню, социальному статусу и т. д. Кроме того, в них наблюдается большой приток мигрантов, имущественный статус которых весьма неоднороден, что также оказывает влияние на специфику развития мегаполисов. За счет притока мигрантов численность населения города увеличивается, что усиливает нагрузку на коммунальную и транспортную инфраструктуру, приводит к росту преступности. Для нормального функционирования города ему необходима сложная система инженерной и транспортной инфраструктуры. Концентрация мощных энергетических установок, транспортных сооружений, плотность сетей (водопроводных, канализационных, газовых и т. п.) создают риски техногенных катастроф. Для большинства наших городов характерен высокий уровень износа инженерной и транспортной инфраструктуры, рост аварий на сетях, особенно в зимнее время.

К проблемам городов следует отнести и наличие уплотненной застройки центра и близлежащих к нему районов, несоответствие между инфраструктурой и плотностью застройки, размещение промышленных предприятий вблизи жилых кварталов, сокращение площадей зеленых зон и др.

Социальных проблем городов существует большое разнообразие, но рассмотрим чуть более подробно наиболее часто встречающиеся социальные проблемы, которые присущи большинству городов.

**Городской общественный транспорт** – один из важнейших социальных институтов современного общества, неотъемлемый элемент социальной инфраструктуры. Предназначен для перевозок различных социальных групп населения, в том числе с низким уровнем доходов, обеспечения территориальной целостности городов, доступности всех элементов городского хозяйства. В свою очередь, развитие городов, рост численности населения массовая потребность в транспортной коммуникации обуславливают изменения института общественного транспорта.

Функция общественного транспорта, как социального института, заключается в повышении доступности учреждений медицины, образования, культуры, торговли, в массовом удовлетворении потребности человека в перемещении. Современная жизнь невозможна без эффективного функционирования городского общественного транспорта: выбор места работы, учебы и магазинов ограничивается временем в пути и стоимостью проезда. Мобильность населения обеспечивает свободу конкуренции (на рынках труда, потребительских то-

варов и др.), то есть является неотъемлемым атрибутом свободно развивающегося рынка и даже демократии в целом. Транспорт не только обеспечивает мобильность, но и «генерирует» вокруг себя трудовые ресурсы и покупателей. Общественный транспорт в качестве социального института призван упорядочивать, формализовать, регулировать многочисленные взаимодействия людей в процессе их перемещения по территории.

Таким образом, городской общественный транспорт как социальный институт – это устойчивая, исторически сложившаяся форма организации совместной деятельности людей, выраженная с помощью статусов и ролей, социальных норм и санкций, социальных организаций, возникшая для удовлетворения социальных потребностей общества в перемещении и обеспечивающая мобильность человека в городском пространстве. Однако в настоящее время общественный транспорт как социальный институт перестает справляться со своей основной задачей – удовлетворять потребность населения в перемещении. Когда институт не справляется с выполнением своих функций, его непременно ждет дезорганизация. Деформация института общественного транспорта приводит к тому, что общественный транспорт утрачивает свое значение «общественного», предназначенного для перевозки достаточно большого количества пассажиров одновременно. Общественный транспорт выполняет уже не общесоциальную, а стратификационную функцию (перевозка льготников, лиц с низким уровнем доходов), либо коммерческую функцию (перевозка маршрутными такси), становится объектом экономических интересов, средством извлечения прибыли, борьбы за власть. Изменение функции социальных институтов неизбежно влечет за собой качественные изменения нормативной системы, трансформацию самих социальных норм и, как следствие, изменение отношения к ним людей, трансформацию массового сознания, его ценностно-мотивационной структуры. Значимость общественного транспорта как инструмента регулирования общественной жизни с каждым днем возрастает. Доступность и качество городского общественного транспорта, а вместе с ним и многих социальных благ, во многом определяют и реальный уровень жизни, и социальный климат. Для выполнения своей общественной миссии, общественный транспорт должен не только осознаваться обществом как жизненно важная структура города, выполняющая социальную функцию по удовлетворению потребности большого количества людей в перемещении, но и подвергнуться процессу коренного усовершенствования, на основе использования новейших достижений науки и техники, принятия законодательных и нормативных актов, выработке общей стратегической концепции развития.

**Благотворительность** – универсальная общечеловеческая ценность, один из важнейших атрибутов гражданского общества. Ряд авторов считает, что благотворительность является важным фактором регионального и городского развития. Благотворительность лежит в основе социального партнерства и представляется независимым от государства, и в то же время поощряемым им механизмом перераспределения частных средств в интересах осуществления общественно полезных программ. Наиболее авторитетные эксперты по проблемам развития подчеркивают, что сверхдержавами XXI века будут страны, в развитии которых сделана ставка на культуру и образование. Благотворительность важна не только для создания в обществе атмосферы социальной солидарности, она может стать либерально-рыночной альтернативой административным способом придания экономике социального характера.

**Агломерация** как фактор развития монопрофильных городских образований. Агломерация – попытка сохранить население в границах региона в условиях деградации окраинных территорий за счет стягивания его в агломерационный центр.

**Социальная дифференциация в морфологии города.** Учитывая существование комплекса форм городского пространства, возникает вопрос о том, каким образом они соотносятся, какое влияние осуществляют на формирование отличий в различных сферах социальной жизни. Для изучения современного города, элементы пространства которого наполняются различными смыслами и являются изменчивыми, наиболее адекватным представляется анализ в рамках конструктивистского структурализма. Именно такой подход позволяет комплексно и разносторонне подходить к изучению современного городского пространства и социальной дифференциации, взаимосвязанной с морфологической системой города. Город в контексте изучения его морфологии рассматривается как культурная форма, определяемая как совокупность исторически обусловленных схем восприятия мира и собственного «Я», суждений и поведения определенной общности. При обращении к понятию статуса морфологической единицы, на первый план выходят следующие категории: «престижность», «элитность», «удобство». Эти характеристики используются при обращении к таким морфологическим единицам уровня, как район (микрорайон, исторически сложившийся район, а также административный) и дом (как высотный, многоквартирный, так и частный). Морфологические единицы могут быть как «престижными», «элитными», так и просто «удобными», «комфортными», причем именно последние оцениваются участниками фокусированных групповых интервью как наиболее желаемые при определении собственной позиции. К основным чертам престижных морфологических единиц относят хорошую транспортную развязку, чистоту, а также наличие «влиятельных соседей». «Удобство» и «комфорт» – понятия, применяемые участниками «фокус-групп» для описания тех морфологических единиц, на которые они ориентируются на индивидуальном уровне, при этом высокая позиция в отношении престижности не рассматривается в качестве необходимой. Факторы, резко понижающие статус морфологической единицы в представлениях жителей: близость к промышленной зоне, непосредственная близость представителей субкультурных и этнонациональных групп, плохо развитые транспортные сети.

### 1.3.2. Экономические проблемы развития городов

Одна из важнейших проблем экономического развития городов – трансформация функциональной структуры. Ее цель – более рациональное использование народнохозяйственного потенциала и установление большего соответствия функциональной структуры города в системе расселения страны и региона. Трансформация имеет характер естественного процесса, в ходе которого город последовательно освобождается от ставших неуместными для него производств. Можно также сказать, что город покидают те производства и виды деятельности, которые уже не выдерживают затрат, необходимых при пользовании городскими ресурсами (по мере роста города это затраты естественно возрастают, ресурсы становятся все дороже).

Трансформация – это и «обогащение» народнохозяйственной (функциональной) структуры города путем образования в ней новых блоков. Переход от однофункциональных городов к многофункциональным означает, во-первых, более полное и рациональное использование городских ресурсов. Во-вторых, это придает городу большее социальное разнообразие. Он меняет не только свой производственный профиль, но и среду.

Типичен такой способ трансформации, как внедрение в промышленные центры предприятий легкой промышленности и машиностроения, проектных и научно-исследовательских организаций, обычно связанных с ведущей отраслью, средних специальных и высших учебных заведений и других видов деятельности. Это позволяет вовлекать в производство свободные трудовые ресурсы (преимущественно женщин), расширяет возможности выбора работы и профессии, делает город более привлекательным для молодежи, решающей вопросы своего будущего после окончания школы.

Обогащение функциональной структуры, сулящее жителям города многие материальные и социальные блага, делающее город менее подверженным спадам производства, на практике непростое решение. Например, город-курорт, в силу своей монофункциональности имеющий социальные изъяны и в случае неблагоприятной ситуации оказывающийся в весьма неустойчивом положении, заинтересован в расширении своей градообразующей базы путем привлечения новых видов деятельности, например, промышленности. Но это негативно скажется на его окружающей среде, уменьшит привлекательность. Кроме того, промышленность вызовет рост населения. Возникнет эффект мультипликатора. Для новых жителей потребуются дополнительная территория под жилищное строительство. А в курортных городах, чаще всего приморских или горных, обычен большой дефицит территории. В результате емкость города по отношению к отдыхающим и лечущимся снизится. Дополнительно разместить какое-то число рекреантов уже не удастся, так как их место в городе уже занято. Привлекательность шахтерских городов для других видов деятельности невелика вследствие специфики угледобычи (занятие территории отвалами, просадки грунта, загрязнение водоемов шахтными водами, рассеченность территории подъездными путями).

Особый случай – перепрофилизация горнодобывающих центров, которым необходимо «сменить профессию» после исчерпания запасов в месторождениях. Она должна готовиться заранее, обеспечивая постепенность в смене профиля, эластичный переход к «новой профессии» и, следовательно, в занятиях жителей. В результате градообразующая база таких городов может быть существенно расширена. В то же время шахтеры могут не проявить склонности к переходу в другие отрасли промышленности, предпочтут после закрытия шахт искать работу в других центрах угледобычи. А на новые предприятия придется дополнительно привлекать население из сельской местности, что приведет к ухудшению состояния дел на селе.

Рациональное использование высокоценной городской территории должно основываться на ее комплексной экономической оценке, определяющей платежи за землю. Городские земли вследствие разных причин сильно дифференцированы по своей ценности, в зависимости от местоположения того или иного участка, характера его использования, оснащенности транспортными

ми и инженерными сетями, особенностей природных условий. Поэтому градостроителям-проектировщикам нужен экономический механизм, позволяющий определять ценность разных частей городской территории и учитывать ее в своих решениях.

Эту задачу решает комплексная экономическая оценка территории: определяется и сравнивается ценность городских территорий на основе учета затрат, необходимых на их освоение или переосвоение, и социально-экономический эффект, получаемый в результате освоения.

Оценка дается по трем категориям показателей.

Первая охватывает затраты на инженерное освоение для строительства. При этом учитываются средства, как ранее вложенные на создание инженерного освоения, так и требуемые.

Во вторую категорию входят затраты, обусловленные изменениями функционального использования территории (например, учитывается ущерб от занятия сельскохозяйственных земель, лесов, рекреационных угодий), а также вызываемые сносом зданий и сооружений, перемещением коммуникаций.

Показатели третьей категории отражают различную социально-экономическую ценность территории: ее удобство для разных видов строительства, природные условия, определяющие санитарно-гигиеническую обстановку, транспортную доступность, эстетические достоинства.

Зафиксированные на плане или карте показатели позволяют выделить разные по уровню интегральной оценки зоны, что создает основу для решения ряда градостроительных задач (целесообразные размеры сноса зданий при реконструкции, определение оптимальной этажности, вывод промышленных предприятий из данного района, выбор лучшего варианта реконструкции и др.).

Определение цены на землю необходимо для хозяйствования в условиях рыночных отношений. О разной стоимости земли в разных частях города свидетельствуют устанавливающиеся стихийно, т. е. естественным образом, цены на жилую площадь.

Развитие рыночных отношений приводит к более глубокому социальному расслоению населения, углублению его социально-пространственной дифференциации. Расширение рынка жилья вызывает заметные сдвиги в распределении населения по территории города на основе большего следования закономерностям его пространственно-временной самоорганизации.

### 1.3.3. Экологические проблемы развития городов

**Загрязнение атмосферы промышленными выбросами.** Одной из экологических проблем является загрязнение атмосферы выбросами автомобильного транспорта. Автомобили заполнили улицы, создают гигантские «пробки», сжигают дорогостоящее топливо и отравляют воздух выхлопными газами. Автомобили «сжигают» гораздо больше горючего, чем все тепловые электростанции средней европейской страны.

Виды транспорта имеют различную степень влияния на окружающую среду. Выбросы транспорта представляют очень высокую долю всех выбросов: более 90 % всех свинцовых выбросов, более 50 % выбросов  $\text{NO}_2$  и более 30 % всех летучих органических составляющих. Транспорт выделяет до 22 % всех выбросов  $\text{CO}_2$ .

Угарный газ и окислы азота, выделяемые дымком глушителя автомобиля – одна из основных причин головных болей, усталости, немотивированного раздражения, низкой трудоспособности. Сернистый газ способствует бесплодию и врожденным уродствам.

Автомобиль также добавляет в почву и воздух тяжелые металлы и другие вредные вещества.

Главным загрязнителем атмосферного воздуха свинцом в настоящее время является автотранспорт, использующий этилированный бензин. При сжигании одной тонны этилированного бензина в атмосферу выбрасывается приблизительно 0,5...0,85 кг оксидов свинца. Радикальный метод борьбы с загрязнением окружающей среды свинцом (выбросы автомобильного транспорта) – отказ от использования этилированных бензинов. Однако из-за финансовых и организационных трудностей полный отказ от производства этилированных бензинов задерживается.

Загрязнение воздуха от автомобильного транспорта идет по трем каналам: 1) выбросы через выхлопную трубу (65 %); 2) картерные газы (20 %); 3) испарение топлива из бака, карбюратора и трубопроводов (15 %).

Многообразие продуктов выхлопов автомобильных двигателей может быть классифицировано по группам, сходным по характеру воздействия на организм или химической структуре и свойствам:

1) нетоксичные вещества: азот, кислород, водород, водяной пар и углекислый газ, содержание которых в атмосфере в обычных условиях не достигает уровня, вредного для человека;

2) монооксид углерода, наличие которого характерно для выхлопов бензиновых двигателей;

3) оксиды азота, которые по мере пребывания в атмосфере соединяются с кислородом;

4) углеводороды (алкаин, алкены, алкадиены, цикланы, ароматические соединения);

5) альдегиды;

6) сажа;

7) соединения свинца;

8) сернистый ангидрид.

Чувствительность населения к действию загрязнения атмосферы зависит от большего числа факторов, в том числе от возраста, пола, общего состояния здоровья, питания, температуры и влажности и т. д. Лица пожилого возраста, дети, больные, курильщики, страдающие хроническим бронхитом, коронарной недостаточностью, астмой являются более уязвимыми.

**Загрязнение атмосферы промышленными выбросами.** Крупнейшие города любой страны – это, как правило, крупные промышленные центры, в которых сосредоточены десятки и сотни промышленных предприятий различных отраслей. Предприятия химической, металлургической и других отраслей промышленности выбрасывают в атмосферу пыль, сернистые и другие вредные газы, выделяющиеся при различных технологических процессах.

*Черная металлургия.* Процессы выплавки чугуна и переработки его на сталь сопровождаются выбросом в атмосферу различных газов. Загрязнение воздуха пылью при кок-

совании углей сопряжено с подготовкой шихты и загрузкой ее в коксовые печи, с выгрузкой кокса в тушильные вагоны и с мокрым тушением кокса. Мокрое тушение кокса сопровождается также выбросом в атмосферу веществ, входящих в состав используемой воды.

*Цветная металлургия.* При получении металлического алюминия путем электролиза с отходящими газами от электролизных ванн в атмосферный воздух выделяется значительное количество газообразных и пылевидных фтористых соединений.

Воздушные выбросы предприятий нефтедобывающей и нефтехимической промышленности содержат большое количество углеводородов, сероводородов и дурнопахнущих газов. Выброс в атмосферу вредных веществ на нефтеперерабатывающих заводах происходит главным образом вследствие недостаточной герметизации оборудования.

*Производство цемента и строительных материалов* может являться источником загрязнения атмосферы различной пылью. Основными технологическими процессами этих производств являются процессы измельчения и термическая обработка шихт, полуфабрикатов и продуктов в потоках горячих газов, что связано с выбросами пыли в атмосферный воздух.

К химической промышленности относится большая группа предприятий. Состав их промышленных выбросов весьма разнообразен. Основными выбросами от предприятий химической промышленности являются окись углерода, окислы азота, сернистый ангидрид, аммиак, пыль от неорганических производств, органические вещества, сероводород, сероуглерод, хлористые и фтористые соединения. Из всех видов химических производств наибольшее загрязнение дают те, где изготавливаются или используются лаки и краски. Это связано с тем, что лаки и краски часто изготавливают на основе алкидных и иных полимерных материалов, а также нитролаков, обычно они содержат большой процент растворителя.

Загрязнение атмосферного воздуха таит в себе угрозу не только человеческому здоровью, но и наносит большой ущерб природным экосистемам, например лесам. Так называемые кислотные дожди, вызванные главным образом диоксидом серы и оксидами азота, поражают огромные участки таежного леса.

Загрязнение воздуха наносит большой ущерб и экономике. Ядовитые вещества в воздухе отравляют домашний скот, обесцвечивают краску на стенах домов и корпусах автомашин.

*Проблемы бытовых отходов.* В настоящее время жители любой страны ежедневно выбрасывают тысячи тонн различного хлама: стеклянные контейнеры, макулатуру, пластик и пищевые отходы. В этой смеси содержится большое количество опасных отходов: ртуть из батареек, фосфорокarbonаты из флюоресцентных ламп и токсичные химикаты из бытовых растворителей, красок.

Существуют различные способы захоронения отходов. Это выделение площадей для свалок, но образующийся при гниении отходов газ метан представляет серьезную угрозу для жителей, проживающих рядом с этим объектом, т. к. он может попросту взорваться. Это и закапывание мусора, тогда это представляет большую опасность для грунтовых и подземных вод. Это и сжигание отходов, но многие города, использующие печи для сжигания, отказались от этого способа из-за ухудшения качества воздуха. Наиболее перспективным способом являет-

ся переработка мусорных отходов. Здесь используются следующие направления в переработке: органическая масса расходуется на изготовление удобрений, текстильная масса и бумажная макулатура – получение новой бумаги, металлолом направляется в переплавку. Основной проблемой тогда остается сортировка мусора.

Отходы просто собираются для захоронения на полигонах, а это ведет к отчуждению свободных территорий в пригородных районах и ограничивает использование городских территорий для строительства жилых зданий. Также совместное захоронение различных видов отходов может вести к образованию опасных соединений.

Возможна ликвидация бытовых отходов путем создания специальных штаммов бактерий и грибов, способных разрушать органические соединения и полимеры.

**Шумовое загрязнение.** Уровень шума измеряется в единицах, выражающих степень звукового давления, децибелах. Уровень шума в 20–30 децибелов практически безвреден. В среднем для города нормальным шумом днем считается 55 децибел, но в больших городах этот уровень значительно выше. Шум уличного транспорта составляет 80–100 децибелов, а шум реактивного самолета при взлете – 140. Очень высок уровень и промышленных шумов. На многих работах и шумных производствах он достигает 90–110 децибелов. Не намного тише и у нас дома, где появляются все новые источники шума – так называемая бытовая техника.

Шум, передающийся не по воздуху, а по строительным конструкциям, называется вибрацией. Источниками вибрации служат линии метрополитена, железнодорожные и автотранспортные магистрали. Для их предотвращения жилые дома в городе строятся на расстоянии 50 метров от трамвайных и других транспортных линий.

В настоящее время ученые во многих странах мира ведут различные исследования с целью выяснения влияния шума на здоровье человека. Их исследования показали, что шум наносит ощутимый вред здоровью человека, но и абсолютная тишина пугает и угнетает его.

Каждый человек воспринимает шум по-разному. Многое зависит от возраста, темперамента, состояния здоровья, окружающих условий.

Для борьбы с шумом в крупных городах применяется комплекс различных мер. Запрещены громкие гудки автомобилей, современные крупные предприятия строят в удаленной зоне от жилого комплекса, вдоль транспортных магистралей высаживают большое количество деревьев, которые известны своим мощным звукопоглощающим эффектом.

**Проблема питьевой воды.** Обеспечение чистой питьевой водой жителей городов, водоснабжение промышленных и коммунальных предприятий относятся к числу первостепенных экологических проблем городских территорий. Оптимизация водоснабжения предполагает решение целого комплекса задач: наряду с удовлетворением потребностей в питьевой воде обеспечить благоприятные санитарно-гигиенические условия для разнообразных видов отдыха людей.

В крупных городах водоснабжение, как правило, осуществляется при помощи поверхностных вод рек, озер и водохранилищ. Но для этого приходится строить сложные гидротехнические сооружения: каналы, шлюзы, очистные станции. Чем крупнее город, тем большие гидротехнические сооружения приходится создавать внутри его и за пределами. Так, во многих городах приходится строить специальные каналы, по которым вода из дальних рек поступает в город.

Деятельность человека сильно меняет характер земной поверхности, особенно в городе. Это и асфальтированные территории, дороги, промышленные зоны, свалки отходов. Поверхностный сток с таких территорий характеризуется крайней загрязненностью. В отличие от грунтовых вод, проходящих все же через естественные фильтры, он включает в себя все виды загрязняющих землю материалов:

- смываемую в процессе эрозии почву;
- биогены, входящие в состав удобрений, экскременты животных;
- пестициды, используемые в сельском хозяйстве, сажу, пыль и токсические вещества от атмосферных выбросов промышленности и транспорта, остатки нефти и горюче-смазочных веществ, бытовой мусор и т. д.

Одним из видов загрязнения водоемов является «тепловое» загрязнение. Электростанции, промышленные предприятия часто сбрасывают подогретую воду в водоем. Это приводит к повышению в нем температуры воды. С повышением температуры в водоеме уменьшается количество кислорода, увеличивается токсичность загрязняющих воду примесей, нарушается биологическое равновесие. В загрязненной воде с повышенной температурой начинают бурно размножаться болезнетворные микроорганизмы и вирусы. Попав в питьевую воду, они могут вызвать вспышки различных заболеваний.

Города являются одним из основных источников загрязнения водного бассейна, поэтому они нуждаются в мощных очистных сооружениях.

Особую проблему представляет проникновение загрязненных поверхностных стоков в подпочвенные воды. Поверхностные стоки городов всегда имеют повышенную кислотность. Если под городом располагаются меловые отложения и известняки, проникновение в них закисленных вод неизбежно приводит к возникновению антропогенного карста. Пустоты, образующиеся в результате антропогенного карста непосредственно под городом, могут представлять серьезную угрозу для зданий и сооружений, поэтому в городах, в которых существует реальный риск его возникновения, необходима специальная геологическая служба по прогнозу и предотвращению его последствий.

Выделяют пять категорий экологического состояния городов:

- 1 – благополучное;
- 2 – удовлетворительное;
- 3 – умеренно напряженное;
- 4 – напряженное;
- 5 – критическое.

Мегаполисы согласно этой градации отнесены к 5 категориям. При этом негативное влияние на экологию распространяется далеко за пределы мегаполиса, прямо или косвенно воздействуя на глобальные биосферные процессы.

Для мегаполисов характерно не только глобальное загрязнение окружающей среды, но и загрязнение городских улиц, большое скопление бытовых отходов. Нарушение санитарных требований повышает опасность возникновения эпидемий и требует значительных затрат на их предупреждение и прекращение.

#### 1.3.4. Перспективы решения проблем развития устойчивой застроенной среды

Устойчивая застроенная среда – это не только большая застроенная территория, это еще и сложная социально-экономическая система, которая динамично развивается и активно взаимодействует с внешней средой, оказывая на нее как позитивное, так и негативное влияние.

Решая проблемы развития городов, необходимо думать о современных общественных пространствах, выделять территории под парки, строить современные спортивные, культурные и торговые объекты. Качественная среда проживания должна обеспечивать горожанам все виды социальных сервисов на той территории, где они проживают, и не вынуждать их ехать в другой район для их получения. Такой подход в наибольшей степени соответствует современной концепции устойчивого, сбалансированного развития мегаполисов, способствует повышению его конкурентоспособности за счет лучших условий проживания, обеспечивает способность мегаполиса справляться со всеми настоящими и будущими вызовами.

Выбор путей обеспечения устойчивого развития застроенной среды каждого отдельного государства должен осуществляться с учетом его стратегических целей, реалий настоящего, тенденций развития мирового сообщества, места и роли страны в мире. То есть основная цель дальнейшего устойчивого развития и пути ее достижения уникальны для каждого региона и являются результатом анализа его прошлого и настоящего положения, конкретных условий.

Основой устойчивого эколого-экономического развития является паритетность отношений в триаде человек – государство – природа, что обеспечивает переход к гармоничному сосуществованию природы и общества. В данном аспекте обеспечение сбалансированного общественного производства и потребления должны стать неразрывными составляющими этого процесса в каждой отдельной стране и во всех странах мира. Реализация основной цели предусматривает обеспечение духовного, физического развития человека и социальных гарантий; макроэкономические преобразования; формирование эколого-экономической политики государства; обеспечение устойчивого развития регионов; устойчивое развитие поселений; международное сотрудничество. Намеченные цели не могут быть достигнуты одновременно и в сравнительно короткий период. Переход к устойчивому развитию может быть осуществлен в несколько этапов:

**Первый этап** – обеспечение макроэкономической стабилизации, создание условий для экономического роста, разработка нормативно-правовой базы, повышение уровня жизни, переход к мировым стандартам экологической безопасности.

**Второй этап** – структурная перестройка экономики страны, переход к использованию преимущественно экономических механизмов стимулирования и регулирования структурных преобразований, решение топливно-энергетической проблемы, обеспечение сбалансированного использования природоресурсного потенциала.

**Третий этап** – обеспечение устойчивого развития производства, создание экологически чистых производств, удовлетворение потребностей населения с учетом экологических требований, создание глобальной системы экологической безопасности.

Трансформационным процессам присущи не только общенациональные, но и региональные особенности. Именно поэтому трансформационные процессы неодинаково успешны в

разных странах. Реализация поставленных на государственном уровне задач, общих для всей страны, должна начинаться с их конкретизации для регионов, так как большинство проблем социально-экономического и экологического характера изначально возникают на уровне региона и только потом разрастаются до национальных, глобальных масштабов.

Региональные цели могут включать обеспечение рационального природопользования и экологическую безопасность хозяйственной деятельности, восстановление качества окружающей природной среды, экономический рост, социальное благополучие.

В экономическом развитии – это формирование социально ориентированной рыночной экономики, обеспечение возможности мотивов и гарантий труда граждан, качества жизни, рационального потребления материальных ресурсов.

В охране природы – создание условий для жизни в качественной окружающей природной среде с чистым воздухом, землей, водой и восстановленным биоразнообразием.

Для достижения социальной справедливости – установление гарантий равенства граждан перед законом, обеспечение гарантий равных возможностей для достижения материального, экологического и социального благополучия.

В рациональном использовании природных ресурсов – создание системы гарантий рационального использования природных ресурсов на основе соблюдения национальных интересов и с целью их сохранения для будущих поколений.

Для стабилизации численности населения – формирование государственной и региональной политики с целью повышения продолжительности жизни и стабилизации численности населения.

В образовании – обеспечение гарантий доступности и бесплатности получения образования, сохранение и развитие интеллектуального потенциала страны.

В международном сотрудничестве – активное сотрудничество со всеми странами и международными организациями с целью сохранения, воспроизводства и рационального использования экосистем, обеспечение безопасного будущего.

Значение регионального подхода в современных условиях подтверждает и мировой опыт. Он показывает, что баланс равновесия в государстве, его целостность и развитие могут быть достигнуты только при условии учета территориальных особенностей, региональной политики, расширении прав и обязанностей региона в развитии факторов производства. Опыт стран Европейского Союза и других государств показывает, что региональная политика – это тонкий инструмент, который требует аккуратного обращения. С одной стороны, государство не может заниматься благотворительностью и брать на себя все расходы, необходимые для развития регионов. В то же время и регионы не могут решать свои проблемы самостоятельно. Сегодняшняя ситуация требует пересмотра роли территории в развитии государства и приведение ее в рамки новых ограничений, диктуемых необходимостью устойчивого развития.

Региональный подход к планированию, управлению, обеспечению безопасности и устойчивому развитию является одним из наиболее эффективных путей решения существующих проблем, так как развитие социальных, производственных и других региональных процессов обусловлено всей совокупностью общественно-экономических и экологических интересов, являющихся уникальными для группы людей на определенной территории. Важ-

ность проблемы внедрения экологического императива в структуру управления социально-экономическим развитием очевидна. Однако необходимо еще раз подчеркнуть, что в качестве ограничителей уровня воздействия на природу служит лишь деструкция или экономическая нерентабельность дальнейшего использования ресурсов в связи с их истощением. Невыгодность такого экстенсивного подхода осознается только с позиций долгосрочной перспективы, в то время как сиюминутная выгода доминирует. Такая постановка вопроса делает очевидным тот факт, что производительным силам эколого-ориентированное направление развития может быть задано только в рамках и при условии экологизации системы управления в целом. Успех экологических преобразований может быть обеспечен при условии, что государство реально внесет экологический императив в свои приоритетные цели, по которым производится оценка результативности политики реформ. В качестве общей оценки эффективности эколого-экономического регулирования может выступить уровень развития производительных сил страны, соединяющий в себе осязаемые цели и средства достижения. Реформация системы экологического управления должна производиться в русле общих процессов децентрализации экономики, которые предполагают перераспределение полномочий между государственными и региональными структурами в пользу последних. Сформировать базу, которая позволит территориальным органам управления реализовать свои экологические установки, возможно только при четком отлаженном механизме взаимодействия регионов с центром и между собою. Создание предпосылок для максимальной децентрализации принятия экологического решения в рамках единого общегосударственного эколого-экономического пространства должно основываться на фундаментальной общности экологических устремлений, обеспечивающих проведение на конкретных уровнях управления именно той эколого-ориентированной народнохозяйственной политики, которая в наибольшей степени согласуется с реальными нуждами отдельных регионов и государства в целом.

#### **1.4. Основные строительные конструкции существующей застроенной среды**

##### 1.4.1. Конструктивные типы и схемы зданий

**Конструктивный тип здания** определяется пространственным сочетанием стен, колонн, перекрытий и других несущих элементов, которые образуют его остов.

В зависимости от пространственной комбинации несущих элементов различают следующие конструктивные типы зданий:

- с несущими стенами (*бескаркасные*), в которых большинство конструктивных элементов совмещает несущие и ограждающие функции;
- *каркасные* с четким разделением конструкций по их функциям – несущие и ограждающие. Пространственная система (каркас), состоящая из колонн, балок, ригелей и других эле-

ментов, вместе с перекрытиями в данном случае воспринимает все нагрузки, действующие на здание. Помещения от воздействия внешней среды защищаются наружными стенами;

- с *неполным каркасом*, в которых наряду с внутренним каркасом несущими являются и наружные стены.

Каждый из рассмотренных выше конструктивных типов зданий в свою очередь может иметь несколько конструктивных схем, которые отличаются особенностями расположения несущих элементов и их взаимосвязью.

Для *бескаркасных* зданий характерны следующие конструктивные схемы:

- с продольными несущими стенами, на которые опираются перекрытия;
- с поперечными несущими стенами, когда наружные продольные стены, освобожденные от нагрузки перекрытий, являются самонесущими;
- совмещенная, с опиранием перекрытий на продольные и поперечные стены.

Конструктивные схемы зданий с *неполным каркасом* могут быть:

- с продольным расположением ригелей;
- с поперечным расположением ригелей;
- безригельными.

В этих схемах несущие внутренние стены заменены колоннами и перегородками между ними, что уменьшает расход стеновых материалов. Нагрузки от ригелей и перекрытий воспринимаются также и наружными стенами.

**Конструктивная система** представляет собой взаимосвязанную совокупность вертикальных и горизонтальных несущих конструкций здания, которые совместно обеспечивают его прочность, жесткость и устойчивость.

По виду вертикальной несущей конструкции различают пять основных и семь комбинированных *конструктивных систем* (таблица 1.4).

**Каркасная система** с пространственным рамным каркасом применяется преимущественно в строительстве многоэтажных общественных зданий в 9 и более этажей.

**Бескаркасная система** самая распространённая в жилищном строительстве, ее используют в зданиях различных планировочных типов высотой от одного до 16 этажей и более.

**Объемно-блочная система** зданий в виде установленных друг на друга объемных блоков применяется для жилых домов высотой до 12 этажей в обычных и сложных грунтовых условиях.

**Ствольную систему** применяют в зданиях высотой более 16 этажей.

Наиболее целесообразно применение ствольной системы для компактных в плане многоэтажных зданий, особенно в сейсмостойком строительстве, а также в условиях неравномерных деформаций основания (на просадочных грунтах, над горными выработками и т. п.)

**Оболочковая система** присуща уникальным высотным зданиям жилого административного или многофункционального назначения.

Таблица 1.4 – Классификация конструктивных систем

КОНСТРУКТИВНЫЕ СИСТЕМЫ		
ОСНОВНЫЕ		Стеновая
		Каркасная
		Объемно-блочная
		Ствольная
		Оболочковая
КОМБИНИРОВАННЫЕ	Каркасные	Каркасно-стеновая
		Каркасно-блочная
		Каркасно-ствольная
		Каркасно-оболочковая
	Бескаркасные	Блочно-стеновая
		Ствольно-стеновая
		Ствольно-оболочковая

**Конструктивная схема** представляет собой вариант *конструктивной системы* по признакам состава и размещения в пространстве основных несущих конструкций (продольному, поперечному, смешанному, каркасному).

Для бескаркасных типов зданий характерны следующие схемы: с продольным расположением несущих стен (на них опираются междуэтажные перекрытия); с поперечным расположением несущих стен (наружные стены, за исключением торцовых – самонесущие, на них не передаются нагрузки от перекрытий); перекрёстная – с опиранием плит перекрытия (по контуру, т. е. опирание на четыре стороны) на продольные и поперечные стены.

Для каркасного типа зданий используются следующие схемы: с продольным расположением ригелей; с поперечным расположением ригелей; с перекрёстным расположением ригелей; безригельные.

Выбор *конструктивной схемы* влияет на объёмно-планировочное решение здания и определяет тип его основных конструкций.

В зависимости от технологии возведения здания, способов разбивки его на захватки и применения одного или двух видов бетонов возможна различная последовательность бетонирования поперечных и продольных *монолитных* стен.

Вертикальное соединение сопрягаемых стен возможно трех типов: торцовое, фронтальное, фронтально-торцовое.

#### 1.4.2. Основные строительные конструкции зданий

К основным конструкциям зданий относят:

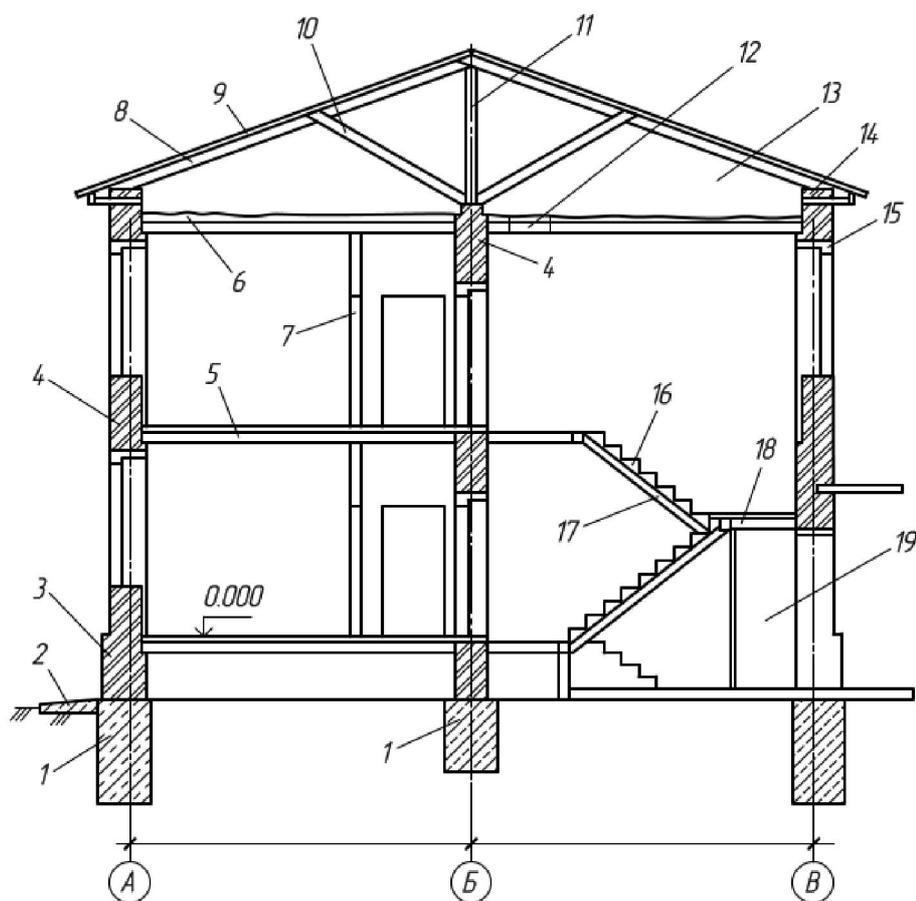
- фундаменты;
- стены и отдельные опоры;
- перегородки;
- каркас;
- перекрытия и покрытия;
- полы;
- лестницы.

**Фундаменты** – подземные конструкции, воспринимающие и перераспределяющие нагрузки от всех вышерасположенных элементов здания на грунты, называемые основанием. Фундаменты располагают под всеми вертикальными несущими конструкциями здания. По форме и способу укрепления в грунте фундаменты делятся на столбчатые, ленточные и плитные.

**Стены** – вертикальные, а иногда наклонные поверхности, защищающие помещения от внешних воздействий (наружные стены) или выделяющие в объеме здания отдельные помещения или группы помещений (внутренние стены). Стены делятся на несущие (они, как правило, являются конструкциями смешанного типа и выполняют одновременно ограждающие функции) и ненесущие (выполняют только ограждающие функции).

В стенах предусматривают оконные и дверные проемы, размеры которых в несущих стенах ограничены требованиями прочности стены, в ненесущих стенах таких ограничений нет. Отдельные опоры выполняют в виде вертикальных линейных (столбы) или пространственных (стволы) элементов.

**Перегородки** – внутренние (ненесущие) стены, имеющие только ограждающие функции. Перегородки разделяют внутреннее пространство здания на отдельные помещения, не имеют фундаментов и опираются непосредственно на горизонтальные конструкции.



- 1 – фундамент; 2 – отмостка; 3 – цоколь; 4 – несущие стены; 5 – междуэтажные перекрытия; 6 – чердачное перекрытие; 7 – перегородка; 8 – наклонные стропила; 9 – обрешетка кровли; 10 – подкос; 11 – стойка; 12 – люк; 13 – чердак; 14 – мауэрлат; 15 – перемычка; 16 – лестничный марш; 17 – косяк; 18 – лестничная площадка; 19 – тамбур

**Рисунок 1.1 – Основные конструктивные элементы гражданских зданий**

**Каркас** – несущая конструкция из вертикальных (стойки или колонны) и горизонтальных несущих элементов.

При необходимости в конструкцию каркаса включают связи, или диафрагмы жесткости.

**Перекрытия** – горизонтальные несущие и ограждающие конструкции, разделяющие объем здания по вертикали на отдельные этажи. По конструктивному решению различают балочные и плиточные перекрытия. Все воспринимаемые перекрытиями нагрузки передаются на стены или каркас (в без ригельных каркасах плита перекрытия является одновременно элементом каркаса).

Нижняя видимая часть перекрытия называется потолком, сверху может располагаться конструкция пола.

В зависимости от месторасположения различают перекрытия междуэтажные, цокольные, над проездами и проходами, чердачные.

**Лестницы** служат для сообщения между этажами и для эвакуации людей в экстремальных ситуациях.

В состав лестниц входят площадки (этажные и промежуточные) и марши.

**Покрытие** – верхняя часть здания, защищающая его от атмосферных осадков. Состоит из несущей и ограждающей (основание под кровлю, кровля) частей. При наличии в объеме покрытия проходного или полупроходного пространства крыша называется чердачной, при наличии жилых помещений в объеме крыши – мансардной. Если в объеме чердака размещают инженерное оборудование, применяют термин технический этаж. Видимые плоскости крыши называют скатами, им придают уклон для стока дождевых и талых вод. Атмосферную влагу с покрытий или сбрасывают по всей линии фасада (неорганизованный водосток), или удаляют через систему водосточных труб (организованный водосток). В последнем случае различают наружный и внутренний водоотвод.

**Кровля** – это верхний элемент покрытия, предохраняющий здание от проникновения атмосферных осадков и механических воздействий. Это очень важный элемент здания, от её надёжной службы зависит долговечность и сохранность всего сооружения, включая отделку и оборудование. Основное её назначение – ограждать здание сверху от атмосферных воздействий.

#### 1.4.3. Области применения строительных конструкций в зданиях и сооружениях существующей застроенной среды

**Бетонные и железобетонные конструкции** – наиболее распространенные как по объёму, так и по областям применения. Для современного строительства особенно характерно применение железобетона в виде сборных конструкций индустриального изготовления, которые используются при возведении жилых, общественных и производственных зданий и многих инженерных сооружений.

Рациональные области применения монолитного железобетона: гидротехнические сооружения, дорожные и аэродромные покрытия, фундаменты под промышленное оборудование, резервуары, башни, элеваторы и т. п.

Специальные виды бетона и железобетона используют при строительстве сооружений, эксплуатируемых при высоких и низких температурах или в условиях химически агрессив-

ных сред (тепловые агрегаты, здания и сооружения черной и цветной металлургии, химической промышленности и др.).

Применение высокопрочных бетонов и арматуры, рост производства предварительно напряженных конструкций, расширение областей использования легких и ячеистых бетонов способствуют уменьшению массы, снижению стоимости и расхода материалов в железобетонных конструкциях.

**Стальные конструкции** применяются главным образом для каркасов большепролетных зданий и сооружений, для цехов с тяжелым крановым оборудованием, домен, резервуаров большой емкости, мостов, сооружений башенного типа и др.

Области использования стальных и железобетонных конструкций в ряде случаев совпадают. При этом выбор типа конструкций производится с учетом соотношения их стоимостей, а также в зависимости от района строительства и местонахождения предприятий строительной индустрии.

Существенное преимущество стальных конструкций по сравнению с железобетонными – их меньшая масса. Этим определяется целесообразность их применения в районах с высокой сейсмичностью, труднодоступных областях Крайнего Севера, пустынных и высокогорных районах. Расширение объемов использования сталей высокой прочности и экономичных профилей проката, а также создание эффективных пространственных конструкций, в том числе из тонколистовой стали, все это позволит значительно снизить вес зданий и сооружений.

Основная область применения **каменных конструкций** – стены и перегородки.

Здания из кирпича, природного камня, мелких блоков и т. п. в меньшей степени удовлетворяют требованиям индустриального строительства, чем крупнопанельные здания. Поэтому их доля в общем объеме строительства постепенно снижается. Однако использование высокопрочного кирпича, армокаменных и комплексных конструкций (каменных конструкций, усиленных стальной арматурой или железобетонными элементами) позволяет значительно увеличить несущую способность зданий с каменными стенами, а переход от ручной кладки к применению кирпичных и керамических панелей заводского изготовления – существенно повысить степень индустриализации строительства и снизить трудоемкость возведения зданий из каменных материалов.

В современном строительстве значительное распространение получают новые типы индустриальных конструкций – асбестоцементные изделия и конструкции, пневматические строительные конструкции, конструкции из легких сплавов и с применением пластических масс. Их основные достоинства – низкая удельная масса и возможность заводского изготовления на механизированных поточных линиях. Легкие трехслойные панели (с обшивками из профилированной стали, алюминия, асбестоцемента и с пластмассовыми утеплителями) применяют в качестве ограждающих конструкций вместо тяжелых железобетонных и керамзитобетонных панелей.

С точки зрения эксплуатационных требований строительные конструкции должны отвечать своему назначению, быть огнестойкими и коррозиестойкими, безопасными, удобными и экономичными в эксплуатации.

Масштабы и темпы массового строительства предъявляют к строительным конструкциям требования индустриальности их изготовления (в заводских условиях), экономичности, удобства транспортировки и быстроты монтажа на строительном объекте.

Особое значение имеет снижение трудоемкости как при изготовлении строительных конструкций, так и в процессе возведения зданий и сооружений.

Одна из важнейших задач современного строительства – снижение массы строительных конструкций на основе широкого применения легких эффективных материалов и совершенствования конструктивных решений.

## **1.5. Основные строительные материалы и изделия существующей застроенной среды**

### 1.5.1. Бетон и железобетон

Бетон и железобетон – основной конструкционный материал.

Железобетон успешно занял свою нишу и постоянно расширяет ее границы в рядах строительной продукции, заменив собой в большинстве случаев дорогостоящий металл.

Использование бетона и железобетона позволит возводить долговечные объекты и сооружения.

Критерии, которым должны отвечать прогрессивные строительные материалы:

- минимальное изъятие природных ресурсов для производства и максимальное использование продуктов и отходов других отраслей;
- более высокие по сравнению с применяемыми материалами показатели по прочности и долговечности;
- сочетаемость с другими видами материалов;
- перерабатываемость для вторичного использования;
- высокие эстетические и архитектурные качества;
- экологическая безопасность при производстве и эксплуатации.

Этим критериям в полной мере соответствуют бетон и железобетон. Тогда как для производства одной тонны стали необходимо переработать 20 тонн первичных ресурсов. Из них 19 тонн в виде отходов возвращаются в окружающую среду.

Производство бетона может быть полностью безотходным, а в большинстве случаев служить способом утилизации отходов других отраслей. При этом исследования показали, что некоторые экологически опасные промышленные отходы в бетоне нейтрализуются, что является немаловажным обстоятельством.

За 150 лет своего существования бетон прошел серьезную эволюцию. Он перестал быть смесью цемента, воды и заполнителей и превратился в сложный композиционный материал, приготавливаемый по высоким технологиям.

Бетоны «high performance» стандартизированы во всех технологически развитых странах мира.

Появились *самоуплотняющиеся бетоны* – высокопластичные смеси. Они отличаются повышенной устойчивостью к расслоению, высокой жизнеспособностью, перекачиваемостью и интенсивным набором прочности при твердении.

Подход к бетонаведению с позиций высоких технологий вызвал бурный прогресс в этой области. Фирма Lafarge представила материал под названием Ductal (дактал). Это само-

уплотняющийся бетон с исключительно высокими техническими и потребительскими свойствами (ultra-high-performance).

Прочность этого бетона при сжатии превышает 200 МПа, а при изгибе достигает 50 МПа.

Такие прочностные показатели далеко не предел. В Канаде построен экспериментальный пешеходный мост с пролетом 60 м из бетона прочностью 350 МПа, а в лабораторных условиях получены бетоны с прочностью 680 МПа.

Естественно, что с усложнением технологии бетона и железобетона возрастает его стоимость. Но при этом возрастает эксплуатационная надежность и срок службы конструкций.

Основные затраты, связанные с эксплуатацией строительных объектов складываются из затрат на вторичную защиту конструкций от коррозии и затрат на ремонт и восстановление сооружения. Таким образом, понятно, почему долговечность становится одним из основных требований для строительных материалов будущего.

Только прочность и долговечность не охватывают весь спектр потребительских качеств бетона. Нельзя не обратить внимания на бетоны-утеплители. Они находят все более широкое применение в строительстве, заменяя плитный полистирол и минеральную вату. Например, бетон-утеплитель с объемным весом 60 кг/м<sup>3</sup> и с коэффициентом теплопроводности 0,06. Бетоны-утеплители с такими теплотехническими характеристиками имеют низкую механическую прочность, что затрудняет их транспортировку и монтаж, поэтому появились монолитные бетоны-утеплители, которые в будущем наверняка получат широкое распространение.

Сочетаемость с другими материалами. Наряду с тем, что постоянно совершенствуется металлическая арматура: появляются ее новые виды, все сложнее и эффективнее становятся способы ее защиты от коррозии, все шире применяется металлическая фибра промышленного производства – идет интенсивная работа над неметаллической арматурой, в том числе для внешнего армирования.

В последние годы используют углепластики, хотя по-прежнему применяются стеклопластики и базальтопластики.

Неметаллическая арматура обладает высокой коррозионной стойкостью, электроизолирующей способностью, магнитной и радиопрозрачностью.

Неметаллическая арматура в 2 раза прочнее и в 5 раз легче металлической, поэтому затраты на армирование вполне сопоставимы, а эксплуатационные преимущества неметаллической арматуры очевидны.

Перерабатываемость для вторичного использования у железобетона весьма высокая. Арматурная сталь и закладные детали идут в переплавку, а отходы бетона практически полностью могут быть применены повторно в качестве заполнителя для ординарных бетонов или как балласт в дорожно-транспортном строительстве. Кроме строительства, дробленый бетон применяют при рекультивации земель для засыпки выработок в грунте.

Высокие эстетические и архитектурные свойства бетона общепризнанны во всем мире. Поэтому железобетон повсеместно применяется и для уникальных сооружений и для мас-

совой городской застройки. Все шире применяется бетон для элементов архитектуры. Архитектурный бетон стал самостоятельным направлением в технологии бетона. Это связано с тем, что к этому виду бетона, по сравнению с конструкционным, предъявляется значительно больше различных требований (качество поверхности, цвет, поверхностная твердость, смазываемость и др.).

Экологическая безопасность при производстве и эксплуатации железобетона не составляет проблемы, а является технической задачей, которая, к сожалению, решается по-разному. Современный бетон является вполне комфортной средой для жизнедеятельности человека.

Представляя собой капиллярно-пористый композит, бетон вполне обеспечивает желательный температурно-влажностный режим в помещениях.

Железобетон остается основным конструкционным материалом с широкими перспективами в строительстве будущего. Он применим в самых разных эксплуатационных условиях, гармонично сочетается с другими строительными материалами и окружающей средой, обладает высокой архитектурной выразительностью, отвечает современным требованиям экономики и эстетики, обеспечивая при этом экологическую безопасность и эксплуатационную надежность.

### 1.5.2. Металлы

Одними из самых распространенных в настоящее время строительных материалов являются изделия из металла. Практически никакое строительство невозможно без использования металлических конструкций.

Изделия из металлопроката (черного или цветного) применяются не только в строительстве, но и в различных областях производства.

В строительстве наиболее широко применяются стали и чугуны, представляющие собой сплавы железа с углеродом.

Основным материалом металлических строительных конструкций является строительная сталь различных марок.

Чугун в строительстве используется реже и встречается главным образом в опорных подушках балок и ферм, а иногда применяется также для колонн небольшой высоты и при небольших нагрузках.

Строительные стали благодаря высоким механическим характеристикам и однородности строения имеют перед чугуном большие преимущества и встречаются почти во всех видах строительных конструкций.

Кроме стали и чугуна, в строительстве находят применение легкие алюминиевые сплавы, прочность которых такая же, как у стали при почти в три раза меньшем удельном весе.

Строительные стали делятся на малоуглеродистые стали обыкновенного качества и низколегированные.

Малоуглеродистые стали содержат от 0,09 до 0,37 % углерода, который повышает предел прочности стали, но снижает ее пластичность; в состав стали входят примеси: марганец, кремний, сера и фосфор.

В состав низколегированных сталей, кроме указанных выше примесей, вводятся легирующие добавки (хром, медь, никель и др.), повышающие механические характеристики сталей и их устойчивость против коррозии.

Примеси кремния и марганца в обычных углеродистых сталях не превышают: кремния 0,3 % и марганца 0,9 %; при таких количествах эти примеси не оказывают существенного влияния на механические свойства сталей.

Фосфор и сера относятся к вредным примесям, поэтому их содержание в стали обычно ограничивается. Фосфора может быть не более 0,05 %, так как при содержании его более 0,2 % сильно возрастает хрупкость стали. При содержании серы в стали свыше 0,07 % она становится менее прочной и при температурах красного каления хрупкость (красноломкость) делает эту сталь непригодной для горячей механической обработки. Поэтому содержание серы в стали ограничивается. Кислород также является вредной примесью для стали. Он сообщает стали хрупкость, понижает ее ударную вязкость и свариваемость.

Строительные стали можно разделить на конструкционные (углерода до 0,65 %) и инструментальные (углерода от 0,65 до 1,5 %).

При необходимости возвести в короткое время склад или иное производственное помещение наилучшим выбором являются металлоконструкции.

Возведение подобных сооружений невозможно без использования черного фасонного металлопроката.

Всевозможные балки, швеллеры и уголки являются неотъемлемой частью металлоконструкций быстровозводимых зданий.

Строительство зданий без использования арматуры и других изделий черного металлопроката в настоящее время невозможно себе представить. Пользуясь популярностью монолитно-каркасное домостроение предполагает использование долговечных и прочных изделий из металла.

Невозможно представить себе современное строительство и без такого изделия металлопроката как трубы. Трубы могут быть различного диаметра и иметь различную форму сечения. Применяются в водопроводных и газовых, а также отопительных сетях. В строительстве используются трубы, изготовленные из углеродистой, низколегированной или нержавеющей стали. Для повышения их надежности применяются различные способы обработки металла.

При проведении сварочных работ, без которых никакое строительство не обходится, так же используются изделия из металлопроката. Для ручной или автоматической сварки используется специальная металлическая сварочная проволока, а для производства электродов – оцинкованная.

С течением времени области применения металлопроката расширяются, поэтому данный материал еще долгое время не потеряет своей актуальности.

### 1.5.3. Керамические материалы и изделия

Керамические изделия, выпускаемые промышленностью для использования в строительстве, подразделяют в зависимости от их назначения на следующие группы: стеновые,

облицовочные, кровельные, для полов, дорожные, теплоизоляционные, огнеупорные, кислотоупорные и санитарно-технические.

**Стеновые материалы.** Основными в этой группе являются: кирпич глиняный обыкновенный и так называемый эффективный кирпич – глиняный пустотелый и пористый пластического формования, глиняный пустотелый полусухого прессования и строительный легкий. Камни керамические пустотелые пластического формования также применяются в качестве стенового материала.

Находят применение в качестве стенового материала крупноразмерные виброкирпичные панели заводского изготовления.

**Облицовочные изделия.** Керамические изделия, применяемые для облицовки зданий, делятся на две группы – для облицовки фасадов зданий и для внутренней облицовки помещений.

Основными видами облицовочных керамических материалов для фасадов зданий являются, камни, плиты и плитки. Кирпич и камни делают сплошными и пустотелыми. Плиты в зависимости от конструкции, способов изготовления и крепления подразделяют на закладные, устанавливаемые одновременно с кладкой стен, и прислонные, устанавливаемые на растворе после возведения и осадки стен. Плитки фасадные выпускают с наружной гладкой и фактурной поверхностью, а на тыльной стороне делают углубления для лучшего сцепления с цементным раствором. Для ускорения отделочных работ тонкие фасадные плитки наклеивают на бумажную основу в виде ковров с различным рисунком. Такие плитки носят название ковровой керамики.

Керамические материалы для внутренней облицовки помещений не подвергаются действию отрицательных температур и резких перемен погоды, поэтому они не должны отвечать всем требованиям, предъявляемым к материалам для внешней облицовки зданий. Однако точность размеров, правильность формы и одинаковая окраска приобретают особо важное значение. Вследствие этого для материалов внутренней облицовки поставлены более жесткие требования по внешнему виду, чем к материалам для наружных работ. Для внутренней облицовки помещений применяют в основном керамические плитки различной формы и толщины.

Керамическими плитками для полов настилают полы в вестибюлях общественных зданий, банях, прачечных, санитарных узлах, лечебных помещениях и на предприятиях химической промышленности. Эти плитки практически водонепроницаемы, т. е. надежно защищают несущие конструкции перекрытий от увлажнения, стойко сопротивляются истирающим воздействиям, не дают пыли, легко моются, не впитывают жидкостей и хорошо противостоят действию кислот и щелочей.

**Санитарно-технические изделия и канализационные трубы.** Различают три группы санитарно-технических изделий: из твердого фаянса, отличающиеся пористым черепком, из санитарного фарфора, обладающие спекшимся черепком, и из полуфарфора, имеющие полуспекшийся черепок.

Санитарно-технические изделия обладают высокой механической прочностью и теплоустойчивостью. Для их изготовления необходимо высококачественное сырье, строгое соответствие массы установленной рецептуре и точное соблюдение технологического режима производства.

К санитарно-техническим изделиям относится оборудование санитарных узлов и кухонь жилых, общественных и промышленных зданий. Ассортимент изделий этой группы весьма разнообразен – ванны, умывальники, унитазы, радиаторы и др. Изделия должны иметь правильную форму, без прогибов, искривлений и трещин, равномерный покров блестящей глазури (белой или цветной), устойчивой против образования мелких трещин (цека); при простукивании изделия должны издавать чистый (не дребезжащий) звук, указывающий на обжиг их до соответствующей температуры и отсутствие трещин.

Канализационные трубы покрываются глазурью изнутри и снаружи и отличаются большой устойчивостью к действию агрессивных вод и блуждающих электрических токов.

**Прочие керамические изделия.** Глиняная черепица – спекшееся изделие в виде прямоугольных плиток или желобов, используется как кровельный материал. Выпускается черепица четырех видов: штампованная пазовая и ленточная, плоская ленточная и коньковая.

Теплоизоляционные материалы – диатомовые (трепельные), пенотрепельные изделия и керамзитовый гравий. Из специальных керамических изделий также применяются огнеупорные и кислотоупорные изделия, различные виды специального кирпича (дорожный повышенной прочности, лекальный, огнеупорный, футеровочный, кислотоупорный и др.).

#### 1.5.4. Древесина

Древесина – обладает малой плотностью и высокой прочностью при отличных теплофизических свойствах, что позволяет использовать ее для изготовления несущих конструкций.

Древесина – экологически чистый материал, применяется довольно широко, в том числе и в строительстве таких ответственных сооружений, как мосты, спортивные или зрелищные залы. Древесина по сравнению с другими строительными материалами требует минимального расхода энергии при изготовлении, транспортировке и монтаже строительных деталей. Кроме того, древесина – возобновляемый материал, дающий ежегодный прирост.

Древесина обладает уникальными физико-механическими показателями: высокой прочностью при малой плотности, низкой теплопроводностью и звукопроводностью, способностью гасить вибрации, коррозионной стойкостью в агрессивных средах, легкой обрабатываемостью и богатыми возможностями при переработке и формообразовании.

Изменения и перестройки деревянных сооружений легко осуществимы. Без особых затрат деревянные сооружения можно легко демонтировать, разобрать на отдельные детали, приспособить под здание необходимой площади и назначения.

Деревянные конструкции имеют высокую заводскую готовность. Детали деревянных конструкций, а также оконные и дверные блоки изготавливаются в обогреваемых цехах, имеют низкую влажность древесины, что исключает увлажнение материалов на стройплощадке и позволяет сразу же после монтаже начать отделочные работы в новом здании.

Клееные деревянные конструкции имеют богатые возможности. Технология деревянного строительства за последние десятилетия значительно усовершенствовалась, в частности, достигнута высокая прочность балок путем их склеивания из отдельных слоев, уве-

личена формостабильность деталей и их пожаростойкость, стало возможным сооружение зданий большого пролета без промежуточных опор, достигнуто оптимальное соотношение между ценой и параметрами сооружений.

Древесина противостоит агрессивной химической среде. Древесину можно применять там, где другие строительные материалы разрушаются (например, склады калийных удобрений).

Древесина позволяет получать оптимальное соотношение цена – качество. Высокая заводская готовность, малые энергозатраты и транспортные расходы, высокая скорость монтажа и малые расходы на сооружение фундамента делают деревянные конструкции конкурентоспособными.

Древесина создает в доме здоровую атмосферу, как природный продукт придает интерьеру комфортную среду, снижает опасность стрессов и стимулирует душевные силы, улучшает самочувствие людей. В больших сооружениях использование древесины позволяет избежать ощущения холода. Деревянные здания хорошо гармонируют с окружающим ландшафтом и всей окружающей средой.

Древесина регулирует климат помещения. Деревянные поверхности создают приятный климат в помещении, так как они способны эффективно регулировать влажность воздуха. Древесина благоприятно действует на иммунную систему человека, так как способна поглощать вредные вещества, выделяющиеся при дыхании, и снижать их концентрацию за несколько часов в десять раз.

Применение древесины снижает парниковый эффект. По окончании срока службы деревянных сооружений в течение десятков лет древесина и древесные материалы могут быть переработаны путем сжигания или биологическим путем без создания нагрузки на окружающую среду, так как древесина включается в естественный круговорот веществ в природе.

Древесина является долговечным материалом даже без специальных защитных мер. При правильном проектировании сооружений она отличается высокой долговечностью, особенно под крышей и в интерьере. При учете естественной сопротивляемости различных древесных пород и соблюдении необходимых строительных мер защиты деревянные конструкции могут служить очень долго и без специальной химической обработки.

Древесина при пожаре показывает высокую огнестойкость. опыты показали, что массивные детали начинают разрушаться при температуре в 300 град. только через 80 минут, так как на поверхности древесины образуется защитный угольный и пиролизный слой. В этих же условиях железобетонные и металлические конструкции теряют свою несущую способность из-за высоких температурных деформаций металла. Сталь при температуре в 600 град. имеет только 20 % начальной прочности, что ведет к обрушению конструкций. В то же время металлодеревянные конструкции при пожаре более огнестойки, так как древесина не дает металлу интенсивно нагреваться.

### 1.5.5. Полимеры

С природными и искусственными полимерами современный человек сталкивается повсюду.

Полимерные материалы уже довольно давно используются в различных областях науки и техники, однако самое большое применение они нашли в строительстве и архитектуре. На сегодняшний день химия оказалась главным источником инноваций в строительстве. Современное строительство уже немыслимо без полимеров.

Полимерные материалы – это природные или синтетические высокомолекулярные органические соединения.

В зависимости от особенностей строения молекул полимерные материалы имеют различные свойства.

Полимеры, молекулы которых имеют линейный характер, обладают термопластичностью – многократно размягчаются при нагревании и снова затвердевают при охлаждении. Такие свойства у полиэтилена и полистирола.

Полимеры, у которых строение молекул объёмное, обладают термореактивными свойствами. После того, как при первом нагревании они приобретут пластичность и заданную форму, впоследствии уже не могут обратимо расплавляться и затвердевать. Такие полимеры (фенопласты) переходят в нерастворимое и неплавкое состояние.

По методу получения полимеры подразделяют на полимеризационные и поликонденсационные.

Для изготовления полимерных строительных материалов, изделий и конструкций чаще всего используются: полиэтилен (производство труб и плёнок), полистирол (производство плит и лаков), полихлорвинил (производство линолеума), полиметилметакрилат (производство органического стекла).

Область применения полимерных строительных материалов в строительстве и архитектуре современных зданий и сооружений постоянно расширяется.

В настоящий момент в строительных технологиях применяют полимерные композитные материалы, использовавшиеся ранее в авиационной и космической промышленности. Таким материалам присущи особые свойства: повышенная прочность, гибкость, износостойчивость и многие другие.

Искусственные полимеры в настоящее время входят в перечень более всего значимых на рынке материалов для строительства.

С применением полимерных материалов разработаны опалубочные пенополистирольные системы, предназначенные для создания зданий с разным количеством этажей по технологии несъемной опалубки.

Применение полимеров в строительстве обусловлено возможностью создания из них, материалов с изначально заданными свойствами. Полимеры применяют при изготовлении напольных покрытий (линолеум, ПВХ-плитка и т. д.), звукоизоляционных материалов (пенопласты, сотопласты и др.), кровельных покрытий, блоков окон и дверей, различных отделочных материалов, а также всевозможных красок, эмалей, лаков, клеев на основе полимерных связующих.

### 1.5.6. Биопозитивные материалы

В последнее время появилось такое понятие, как «биопозитивные материалы», к которым относят строительные материалы из возобновимых природных ресурсов. Эти материалы не оказывают негативного воздействия на человека (и даже оказывают позитивное влияние на здоровье человека), не загрязняют природную среду и требуют минимальных затрат энергии в процессе изготовления, они полностью рециклируемые или разлагающиеся после выполнения функций подобно материалам живой природы.

К этим материалам относят естественные материалы: дерево (и другие растительные материалы – бамбук, тростник, солома и др.), шерсть, войлок, кожа, пробка, коралловый песок и камни, натуральный шелк и хлопок, натуральная олифа, натуральный каучук, натуральные клеи и др.

Несколько условно к биопозитивным материалам можно отнести строительные материалы, полученные из широко представленных в земной коре полезных ископаемых, или почти полностью рециклируемые материалы (следовательно, испытывающие незначительную убыль и к тому же позволяющие экономить до 80–90 % энергии на их производство). К ним относятся изделия из глины, стекла, алюминия.

Под биопозитивными материалами подразумеваются такие материалы, которые удовлетворяют принципам биопозитивности: при их изготовлении используются возобновимые ресурсы, они поддаются саморазложению после выполнения функций без загрязнения среды; как частично биопозитивные можно рассматривать полностью рециклируемые материалы, изготовленные из полезного ископаемого (алюминий, кремний).

Совершенствование материалов в направлении их биопозитивности возможно как в соответствии с современными направлениями (применение рециклируемых материалов, сокращение материалоемкости, повышение их долговечности и др.), так и в направлении более полного использования природных воспроизводимых материалов, создание новых материалов с заданными свойствами и биоподобных материалов, которые могли бы подпитываться энергией.

## **1.6. Основные направления и перспективы развития устойчивой застроенной среды**

### 1.6.1. Направления развития устойчивой застроенной среды

Основные направления развития застроенной среды следующие:

- освоение рекреационных пространств общего и ограниченного пользования, в том числе и точечная застройка;
- создание новой застройки на месте ранее снесенной застройки, в том числе аварийной, неблагоустроенной и ветхой.

В процессе развития городской среды происходят многочисленные градостроительные и экологические конфликты различной направленности и напряженности с различными группами участников, затрагивая различные аспекты формирования и развития среды.

Хаотичное активное вмешательство в сложившуюся структуру городской среды приводит к нарушениям и разрушениям архитектурно-планировочных, объемно-пространственных и функциональных свойств территории, а также активное преобразование геологической структуры города.

Необходимо выявление, разработка и внедрение общих и частных правил для определенного поселения (населенного пункта), в т. ч. и установление эталонных (предельных) свойств, правил преобразования городской среды.

Основные (общие) правила формирования и развития городской среды можно свести к следующим положениям:

- *композиционное решение определенного микрорайона или района* должно быть обусловлено природно-ландшафтными условиями местности и функциональным построением плана города;

- *функциональное зонирование* и направление транспортных связей, гидрография и рельеф должны определять структуру (конфигурацию) основных планировочных осей. В свою очередь функциональное назначение пространства диктует его основные параметры, степень замкнутости, этажность и тип застройки, характер благоустройства.

Главная задача эффективного использования территории заключается в правильном выборе этажности, максимальном приближении к допустимому пределу плотности застройки, в последовательности и эффективности реконструктивных мероприятий, в соответствии площади улиц требованиям городского движения и т. п.

Градостроительное регулирование антропогенных воздействий на природный ландшафт заключается в следующих мероприятиях:

- минимизация воздействий на наиболее уязвимые элементы ландшафта (уступ плато, балки, овраги, долины малых рек), разработка мероприятий по их рекультивации, повышению устойчивости;

- ограничение этажности и протяженности зданий, возводимых на склонах;

- повышение интенсивности использования (плотности, этажности застройки) пологих водоразделов. В настоящее время наблюдается неэффективное использование этих выгрышных для размещения высокоплотной застройки участков. Необходимо более рачительно относиться к этим элементам ландшафта, являющимся территориальным резервом для высокоплотного строительства в границах города;

- запрет на строительство объектов, загрязняющих окружающую среду, вынос из природоохранной зоны существующих объектов с такими характеристиками;

- разуплотнение, расчленение зелеными коридорами плотно застроенных участков, повышение турбулентности воздушных потоков за счет применения застройки разной этажности в целях улучшения условий проветривания, борьбы с инверсиями.

Основными мероприятиями повышения интенсивности использования городских территорий являются:

- укрупнение структурных элементов селитебной части города с укрупнением и кооперацией объектов обслуживания;

- повышение плотности и высотности новой жилой застройки;
- реконструкция районов с экстенсивно застроенными территориями;
- существенное повышение уровня очистки промышленных выбросов с сохранением площади санитарно-защитных зон;
- повышение коэффициента использования (занятости) промышленных, коммунально-складских и прочих территорий;
- вынос за пределы городской застройки, а иногда и городской черты сортированных и торговых станций, грузовых портов, аэродромов, объектов спецназначения внегородского значения и прочих;
- освоение значительной части неудобных территорий (требующих повышенных затрат на освоенных) и незанятых территорий.

Для создания комфортных микроклиматических и санитарно-гигиенических условий при создании застройки на сложном рельефе необходимо следующее:

- функциональное зонирование территории жилой застройки с учетом влияния рельефа на инсоляцию, температурный и ветровой режим, распространение шума и загрязнения воздушного бассейна;
- установление разрывов между зданиями и плотностей застройки с учетом экспозиции склонов;
- использование типов зданий, обеспечивающих необходимую инсоляцию помещений и ориентацию всех квартир (минимум одной из комнат) в сторону падения рельефа, при размещении на склонах различных уклонов;
- усиление или ослабление влияния рельефа на объемно-пространственную композицию застройки в зависимости от общего композиционного замысла за счет строительного зонирования по этажности.

Основными видами градостроительного освоения являются:

1. Новое комплексное освоение.
2. Новое строительство путем предоставления земельных участков множеству застройщиков.
3. Реконструкция территории сложившейся застройки (процесс освоения предполагается силами инвестора посредством заключения договора о развитии застроенной территории).
4. Выборочное строительство отдельных объектов (уплотнение существующей застройки, регенерация частной индивидуальной застройки).
5. Сложившаяся застройка, соответствующая генеральному плану (документация по планировке территории необходима для проработки вопросов, связанных с регулированием земельно-имущественных отношений).

Выявлены следующие виды преобразований территорий:

1. Освоение свободных от застройки участков.
2. Новое строительство на территориях сноса с изменением исходной планировки участка реконструкции.
3. Новое строительство с сохранением первоначальной планировки территории.

4. Интенсификация использования сложившихся территорий за счет уплотнения застройки.

5. Дисперсные включения новой застройки, не изменяющие сложившуюся морфологию территории.

Установлены следующие изменения функций территорий:

1. Нарращивание (интенсификация) первоначальной функции, при этом возможно длительное сохранение «коренной» функции неизменной.

2. «Вторичное» функциональное освоение территории, обусловленное изменением первоначальной функции на качественно иную (вытеснение коренной функции).

Стадия интенсификации функционального использования связана с развитием общегородских функций и повышением функционального потенциала территории без ее существенных морфологических изменений.

При создании и развитии застройки на неудобных территориях развитие подразумевает уменьшение этажности застройки, которая зависит от зоны элементарных типов ландшафта: наиболее пригодными для формирования урбанизированной среды являются склоны. При этом освоение территорий с крутыми склонами можно использовать для застройки при соблюдении определенных условий: при больших уклонах поверхности для уменьшения работ по преобразованию рельефа здания следует располагать длинной стороной под небольшим углом к горизонталям или использовать здания свободной конфигурации или плавных очертаний, позволяющих располагать их вдоль горизонталей.

При развитии города природные свойства территории следует рассматривать с двух позиций:

1) естественное стремление минимизировать затраты на освоение территории;

2) фактором разброса векторов пространственного развития, определяя трассировку структуроформирующих магистралей, регулируя этажность застройки.

В ряду планировочных ограничений развития застройки выделяются следующие крупные элементы структуры природного каркаса:

1. Природные территории особо экологически ценные и подлежащие территории.

2. Территории, исключаемые из освоения строительством:

а) согласно нормативным предписаниям и регламентам;

б) ввиду экономической нецелесообразности застройки, при этом нуждающиеся в реабилитации и застройке от проявления неблагоприятных инженерно-геологических процессов с использованием средств лесомелиорации;

3. Нормативные, имеющие территориальные параметры зоны охраны природных ресурсов (источники питьевого водоснабжения, лечебные воды и грязи и пр.).

В большинстве случаев в границах города земля является дефицитным ресурсом, при этом город не имеет свободных территорий для строительства новых жилых и общественных зданий и сооружений. В подобной ситуации в структуре города существуют значительные территориальные резервы, к которым относятся:

- территории, занятые вредными для города предприятиями, нуждающимися в выводе за его пределы;

- участки несостоявшегося строительства;

- занятые территории, размеры которых не оправданы производственной необходимостью и т. д.

В подобной ситуации необходимо проведение и развитие застроенных территорий (реконструкция застройки) с целью повышения эколого-экономической и социальной эффективности использования их территорий.

Для решения широкого круга задач по реконструкции сложившейся среды в масштабах всего города выделяют типы застройки, для которых предполагается особый характер реконструкции:

- 1) центральные исторические районы, где требуется сохранение, особый режим реконструкции, реставрация;
- 2) наиболее популярные по месту проживания районы застройки 30–50-х гг. XX века – ремонтные работы;
- 3) «островные» участки промышленно-селитебной зоны – реконструкция и уплотнение застройки;
- 4) стандартная застройка 60-х гг. XX века – уплотнение с возможным сносом устаревшего фонда;
- 5) стандартная застройка 70-х гг. – уплотнение;
- 6) районы пригородного типа – реновация с сохранением основных качеств среды.

Развитие застроенных территорий (реконструкция застройки со сносом аварийного и ветхого жилья) основывается на положениях, закрепленных в генеральном плане города, т. е. «исходя из более общих задач преобразования города и его районов, которые определяются как комплекс мероприятий, направленных на придание современных и перспективных социальных, экономических и технических качеств его структуре, объектам и коммуникациям». Достижение этих качеств обеспечивается следующими мероприятиями:

- 1) переустройством планировочной структуры и функционального зонирования города;
- 2) обновлением его жилищного фонда, общественной и производственной застройки;
- 3) развитием инженерно-технической и транспортной инфраструктуры;
- 4) оздоровлением окружающей среды;
- 5) реставрацией и охраной памятников истории, культуры и архитектуры.

Точечная застройка и реконструкция, застройка без серьезного учета всего комплекса социальных, градостроительных, экологических и других последствий, связанных с переуплотнением застройки и с последующими многочисленными проблемами, что привело к разрушению ранее существовавшей системы, создаваемой с конца 50-х годов. Это свидетельствует о необходимости:

- 1) повышения уровня обоснованности принимаемых местными властями градостроительных решений;
- 2) возврата к соблюдению принципов комплексности освоения градостроительной территории, что предусмотрено действующими нормами и правилами планировки и застройки городов, основами государственной градостроительной политики.

Основные мероприятия по реконструкции сложившейся планировки и застройки заключаются в следующем:

- 1) сохранение общего характера ее исторически сложившейся структуры;

- 2) изменение структуры и ее более или менее радикального переустройства;
- 3) снос сложившейся застройки и создание новой планировочной структуры.

В любом случае при реконструкции застройки (развитии застроенных городских территорий) возникают определенные проблемы, связанные с различными аспектами функционирования города. В подобной ситуации на месте сносимых объектов недвижимости в зависимости от сложившихся условий той или иной территории предлагаются следующие варианты:

1) создание новых объектов недвижимости, отвечающих современным архитектурно-пространственным, объемно-пространственным и функциональным свойствам (требованиям) определенного участка территории. В этом случае создание различных объектов недвижимости происходит в зависимости от антропогенных и природных свойств определенного участка территории. При этом реконструкция застройки обладает определенными экономическими преимуществами по сравнению с застройкой свободных территорий: это, во-первых, уменьшение стоимости дополнительного жилья (например, реконструкция (надстройка и пристройка) типовых пятиэтажных зданий) в 1,5–2 раза по сравнению с новым строительством; во-вторых, это приводит к снижению на 25–40 % расходов материальных ресурсов; и, в-третьих, к снижению в 1,5 раза затрат на инженерную инфраструктуру;

2) создание новых рекреационных пространств общественного пользования, но локального значения. В подобной ситуации целесообразно размещать рекреационные пространства «насаждения общего пользования внутри города размещают равномерно по всем районам пропорционально численности населения в каждом из них и на расстоянии от жилой застройки, позволяющем жителям пользоваться ими при минимальной затрате времени на передвижение». Подобное создание рекреационных пространств способствует формированию и дальнейшему развитию природного каркаса города. При этом при реконструкции городской среды в природный каркас могут быть включены такие территории:

- 1) существующие зеленые насаждения;
- 2) ветхое жилье и дачи;
- 3) территории промпредприятий;
- 4) земли сельскохозяйственного назначения;
- 5) свалки;
- 6) неудобья.

При формировании дисперсной системы рекреационных пространств местного значения складывается парадоксальная ситуация:

- с одной стороны, при реконструкции сложившейся застройки легче добиться результата по увеличению озелененных территорий за счет создания небольших рекреационных пространств. Такие небольшие по площади рекреационные территории предназначены для одной определенной функции (парки тихого отдыха, выставочные, мемориальные и другие парки), т. е. здесь невозможно функциональное разнообразие, как в крупных парках;

- с другой, происходит так, что небольшие по размеру рекреационные общего пользования пространства уступают по своим качествам более крупным: большие рекреационные пространства, соединенные между собой «зелеными коридорами», более стабильны, чем небольшие. В ходе развития города небольшие рекреационные территории быстрее

преобразуются, деградируют и уничтожаются под действием «антропогенных нагрузок». Также, в небольших рекреационных пространствах менее комфортно, чем в более крупных: например, при шуме силой в 80–90 дБ от автомагистралей данный шум распространяется в обе стороны и на открытой ровной местности распространяется на 200–800 м. Такой шум является нетерпимым для отдыхающих. Проблемой в подобной ситуации является возможность объединения всех рекреационных пространств в структуре озелененных территорий. В подобной ситуации возникает дисперсная система рекреационных пространств небольшого размера, равномерно расположенных по всему городу. Главными причинами создания такой системы являются:

- 1) право собственности на созданную недвижимость и землю, которая занята данной недвижимостью;
- 2) нарушенность территорий после преобразования свободных от застройки территорий;
- 3) отсутствие для большинства жителей города стимулов развития и преобразования территорий, на которых они проживают.

Реконструкция застройки может осуществляться в двух направлениях.

*Первое* – заключается в развитии уже существующей структуры: создание дополнительной жилой площади за счет надстроек, мансард или пристроек, что является следствием привлечения инвестиций в реконструкцию жилых зданий, в отличие от жилищного строительства, ограниченное отсутствием или незначительностью экономических выгод у инвестора. При этом следует учитывать тот факт, что реконструируемое здание после некоторого срока службы все равно будет снесено, а на его месте возведут новый объект. Регулирование должно способствовать эффективному и своевременному обновлению жилой застройки, снижению жилищной сегрегации, которое особо важно для коммерчески непривлекательных районов города, где своевременная реновация жилищ «позволяет преодолевать негативную цепную реакцию»: ухудшение качества жилищ ↓ снижение ценности территорий ↓ снижение объемов реновации жилой застройки ↓ улучшение качества жилищ.

В подобной ситуации уменьшение количества ветхого и неблагоустроенного жилья в неблагоприятных районах приводит к повышению ценности территорий и в перспективе снижает бюджетные затраты на реализацию социальных программ (переселение жильцов и обеспечение безопасности граждан. Подобный способ реконструкции в первую очередь касается пятиэтажной застройки, в большинстве случаев расположенной в среднем (буферном) и периферийном поясах города. В подобной ситуации типовые проекты жилых зданий 1970–1980-х годов, расположенные за пределами исторического центра, требуют повышения потребительских качеств, т. к. это требует рассмотрения путей реконструкции данной застройки по следующим причинам: учитывая огромные размеры затрат на возможный снос панельных домов или их демонтаж, вывоз строительного мусора, возведение нового жилья для отселяемого населения, последующее строительство на освобождающихся территориях нового жилищного фонда и объектов культурно-бытового назначения, замену большей части инженерных коммуникаций. Исходя из этого, для данной застройки возможны методы модернизации, капитального ремонта, уплотнения и санации.

*Второе* направление подразумевает снос отдельных зданий и сооружений по различным причинам для возведения на них жилого фонда, равного или превышающего по своим свойствам предыдущую постройку. При сносе ветхого жилья и строительстве нового объекта по сравнению с выполнением «поддерживающего» ремонта здания, подрядные организации и инвесторы получают значительную прибыль от строительства в текущий момент времени, но, соответственно, не получают данную прибыль при сносе ветхого жилья и строительстве нового здания в более поздние периоды.

Эти направления реконструкции застройки во многом зависят от прогнозов спроса (потребности) на жилье и наличия свободных территорий. Увеличение спроса подразумевает увеличение количества жилищного фонда, а наличие подготовленных земельных участков позволяет удовлетворить этот спрос за счет нового строительства.

Более точные методы развития и формирования городской среды, в т. ч. ее реконструкция (развитие застроенных территорий) связаны с выявлением корреляции между двумя группами свойств территории:

1. Корреляция между природными и антропогенными свойствами городской среды. Подобная корреляция подразумевает установление предельных антропогенных (эталонных, минимальных и/или максимальных) свойств территории в зависимости от природных (уклоны и экспозиция территории, типы элементарных ландшафтов).

2. Корреляция между функциональным зонированием территории и поясным зонированием территории и некоторыми другими формами развития и формирования городов. В подобной ситуации на данную корреляцию влияют природные и антропогенные преграды в формировании и развитии городской среды. Таким образом, необходимо установление предельной функциональной и социальной насыщенности территории.

### 1.6.2. Перспективы развития устойчивой застроенной среды

Национальная стратегия устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь позволяет прогнозировать:

- рост объемов строительно-монтажных и ремонтно-строительных работ, товарной продукции промышленности строительных материалов, производительности труда;
- снижение уровня материало- и энергоемкости.

Устойчивое развитие застроенной среды возможно только при условии разработки новых технологий в строительстве; проектировании строительства зданий и сооружений со сниженными материальными и энергетическими затратами на всех стадиях инвестиционно-строительного процесса; создании эффективных отечественных строительных материалов и изделий.

В настоящее время ряд предприятий промышленности строительных материалов экспортируют на международные рынки цемент, плитки керамические, кровельные, нерудные стеновые материалы, стекло полированное. Белорусские строители успешно работают на возведении объектов в зарубежных странах.

В то же время остаются высокими затраты на производство строительной продукции, уровень износа активной части основных фондов; недостаточны объемы привлечения инвестиций; низок удельный вес работ, выполняемых за пределами страны.

Основной целью строительного комплекса Республики Беларусь является наиболее полное удовлетворение потребности населения и народного хозяйства в высокоэффективной строительной продукции, успешно конкурирующей на внутреннем и внешних рынках.

Для достижения этой цели необходимо решить следующие задачи:

- создать и внедрить ресурсосберегающие технологии и материалы, обеспечивающие улучшение качества, снижение материало-, энергоемкости и стоимости строительства;
- увеличить выпуск материалов и изделий с повышенными потребительскими свойствами, отвечающих требованиям сооружения зданий нового поколения, расширить экспортный потенциал, обеспечить охрану и рациональное использование земель, водного и воздушного бассейнов.

В ближайший период развитие строительного комплекса должно быть направлено на:

- переход к ресурсосберегающему типу воспроизводства;
- формирование конкурентной среды;
- создание необходимой законодательной базы;
- активизацию работы архитектурно-строительного надзора, маркетинговых и инженеринговых служб, развитие подрядных торгов и сертификацию строительной продукции с целью повышения качества строительных работ (услуг), материалов, изделий и выхода отечественных производителей по конкурентоспособности на более высокий уровень.

Для этого в строительстве намечается реализация мероприятий по следующим основным направлениям:

- создание новых и расширение объемов внедрения разработанных ресурсосберегающих технологий, универсальных архитектурно-конструктивно-планировочных систем зданий и сооружений нового поколения;
- возведение жилых и административных зданий по эффективным проектам, обеспечивающим снижение уровня затрат на всех стадиях инвестиционно-строительного цикла, повышение их теплозащитных и потребительских качеств;
- активизация участия в подрядных торгах на строительство объектов за пределами страны, увеличение экспорта строительных работ, услуг, прежде всего в Россию;
- развитие территорий, инженерно-транспортной инфраструктуры населенных пунктов в соответствии с утвержденными генеральными планами.

Для обеспечения устойчивого развития промышленности строительных материалов предусматривается:

- развитие и модернизация перспективных предприятий отрасли, обеспечивающих новое качество строительных материалов и конструкций, продукция которых имеет спрос на внутреннем и внешних рынках в настоящее время и в перспективе (цемент, плитки керамические, стеновые и кровельные материалы, щебень, стекло полированное);

- расширение и модернизация технологии и производства эффективных высокомарочных, быстротвердеющих, сульфатированных и безусадочных цементов по энергосберегающим технологиям, крупноразмерного армированного настила, плоских окрашенных асбестоцементных листов, волокнистых изделий с заменой импортируемого асбеста природными и синтетическими волокнами, цементно-песчаной и керамической черепицы, кровельных материалов на негниющих основах (синтетической и стеклооснове) с битумополимерным покрытием, изделий из ячеистого силикатобетона, легких и преднапряженных конструкций, различного рода модификаторов;

- расширение уровня интеграции с соседними государствами, прежде всего с Россией;
- устранение технических барьеров между этими странами.

Обеспечению устойчивого развития строительного комплекса будут способствовать:

- создание развитой инфраструктуры, прежде всего строительство дорог, коммуникаций, предприятий по обслуживанию населения; повышение качества благоустройства прилегающих к зданиям и сооружениям территорий; расширение зон озеленения;

- развитие лизинговой формы обновления активной части основных фондов предприятий комплекса; создание прокатной базы для предоставления строительной техники и оборудования предприятиям, имеющим эпизодическую потребность в них;

- внедрение систем сертификации качества в соответствии с требованиями международных стандартов ИСО серии 9000 и систем управления окружающей средой в соответствии с требованиями стандартов ИСО серии 14000;

- применение современных информационных технологий по продвижению строительных услуг, материалов и изделий на внешние рынки путем использования интернета, средств массовой информации и т. д.;

- участие в международных строительных выставках, демонстрация достижений строительного комплекса, проведение международных ярмарок на территории Республики Беларусь; создание и развитие широкой сети фирменных магазинов в Беларуси, России и других странах по продаже строительных материалов и изделий;

- активизация работы по налаживанию двусторонних связей с родственными министерствами и ведомствами СНГ по участию в подрядных торгах на разработку проектно-сметной документации, строительство объектов; реализация решений Межправительственного Совета по сотрудничеству в строительной деятельности стран СНГ, предусматривающих вопросы гармонизации научно-технической и экономической политики в строительстве;

- разработка и принятие законодательно-нормативных актов по защите национального строительного рынка, стимулированию производителей за внедрение новых технологий, освоение производства эффективных строительных материалов, конструкций и изделий.

Предусматривается формирование нового технологического базиса, обеспечивающего ресурсосберегающий тип воспроизводства, создание экологически чистых производств, выход организаций комплекса по конкурентоспособности на европейский уровень и сбалансированное развитие территорий и населенных пунктов.

С этой целью необходимо увеличить масштабы научно-исследовательских и проектных работ по созданию новых архитектурно-планировочных и конструкторских решений, технологий, материалов, конструкций и изделий нового поколения с доведением их показателей до уровня передовых стран Европы; продолжить модернизацию и техническое перевооружение действующих производств путем повсеместного внедрения прогрессивных технологий с низким уровнем ресурсопотребления и экологически безопасных; расширить выпуск строительной техники, средств малой механизации, теплозащитных, полимерных, комплексно облегченных экологически чистых материалов и конструкций, в том числе путем создания совместных предприятий с инофирмами; обеспечить обновление ассортимента выпускаемой промышленной продукции, рациональное использование природных ресурсов, отходов производства и вторичных сырьевых ресурсов.

Внедрение современных экологически безопасных технологий – важнейшее средство обеспечения устойчивого развития.

Используемые в настоящее время технологии в значительной степени не экологичны, что связано с критическим уровнем физического и морального износа активной части основных средств (70–80 %). В связи с этим внедрение новых экологически безопасных технологий, сохраняющих природный комплекс, имеет важное значение.

В жилищно-коммунальном секторе важнейшей проблемой остается тепловая модернизация жилья и энергосбережение. Тепловая модернизация жилья и общественных зданий, успешно начатая в городах, будет продолжаться с использованием передовых отечественных и зарубежных технологий. Вместе с тем необходимо внедрение технологий пассивной солнечной архитектуры при проектировании и строительстве новых зданий и сооружений, сезонного использования энергии солнца для нагрева воды для хозяйственных нужд, сезонного аккумулирования солнечной энергии, использования тепловых насосов при подходящих геологических условиях. Необходимо совершенствование строительных норм и правил, что позволит существенно снизить энергозатраты при строительстве и эксплуатации жилья.

Существенное значение имеет санитарная очистка городов и переработка твердых бытовых отходов. Одним из направлений государственной политики является организация и совершенствование системы государственного управления деятельностью по сбору (заготовке) и использованию отходов в качестве вторичного сырья; организация использования отходов в самих производствах; разработка и внедрение экономически эффективных и экологически безопасных технологий по использованию отходов.

## **ПРИМЕНЕНИЕ ОТХОДОВ ПРОМЫШЛЕННОСТИ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ**



### **2.1. Анализ отходов, образующихся на различных предприятиях**

#### 2.1.1. Утилизация и обезвреживание отходов промышленности

Утилизация отходов – одна из важнейших проблем охраны окружающей среды и ресурсосбережения.

Ежегодно образуется большое количество отходов, из которых лишь малая доля используется повторно или в иных сферах народного хозяйства.

Под полигоны для хранения отходов ежегодно отчуждаются земли, пригодные для сельского хозяйства.

Рациональное направление утилизации промышленных отходов – использование их в качестве техногенного сырья при получении продукции строительного назначения.

Строительство потребляет около трети всей массы продукции материального производства, а материальные ресурсы составляют более половины всех затрат на производство строительно-монтажных работ.

Резерв ресурсосбережения в строительстве – широкое использование вторичных материальных ресурсов, которыми являются отходы производства и потребления.

Использование промышленных отходов обеспечивает производство дешевым подготовленным сырьем; приводит к экономии и повышению уровня рентабельности; высвобождению земельных угодий и снижению загрязнения окружающей среды.

Промышленные отходы отрицательно влияют на экологические факторы.

Наиболее значительны выбросы предприятий энергетической, химической и металлургической промышленности. В атмосферу поступают газообразные и твердые отходы при сгорании топлива, а также в результате разнообразных технологических процессов.

Источниками загрязнения атмосферы пылью являются также предприятия по производству строительных материалов, горно-обогатительные комбинаты и другие предприятия, технологические процессы которых основаны на дроблении, измельчении и обжиге больших количеств минерального сырья.

Промышленные отходы отрицательно воздействуют и на гидросферу (водную среду). Один целлюлозно-бумажный комбинат сбрасывает сточных вод в сутки столько же, сколько крупный промышленный город.

Промышленные отходы, сосредоточенные в отвалах и шлакоаккумуляторах, загрязняют поверхностный сток в районах размещения промышленных предприятий.

Образование отходов промышленных предприятий негативно сказывается и на качестве почвы.

Рациональное решение проблемы промышленных отходов зависит от ряда факторов:  
- вещественного состава отходов;

- их агрегатного состояния;
- количества отходов;
- технологических особенностей и т. д.

Снижение ущерба, обусловленного образованием промышленных отходов, достигается совершенствованием производства и соблюдением технологической дисциплины, а также обезвреживанием и рациональным захоронением отходов.

В соответствии с действующими нормативами все промышленные отходы делятся на четыре класса опасности:

- чрезвычайно опасные: наличие в отходах ртути, сулемы, хромовокислого калия, треххлористой сурьмы, бензапирена, оксида мышьяка и других высокотоксичных веществ;
- высокоопасные: наличие в отходах хлористой меди, хлористого никеля, трехокисной сурьмы, азотнокислого свинца и других, менее токсичных веществ;
- умеренно опасные: наличие в отходах сернокислой меди, щавелевокислой меди, хлористого никеля, оксида свинца, четыреххлористого углерода и других веществ;
- малоопасные: наличие в отходах сернокислого марганца, фосфатов, сернокислого цинка, хлористого цинка.

В зависимости от физико-химических свойств отходов, а также от их количества применяют различные методы обезвреживания и переработки:

- механические,
- биологические,
- химические, сорбционные,
- термические,
- комбинированные.

Наиболее распространен способ обезвреживания отходов сжиганием. Сжигание происходит в печах и топках различных конструкций.

На многочисленных производствах с малотоннажным выпуском продукции иногда экономически невыгодно или технически невозможно создать локальные системы переработки и обезвреживания отходов. В этом случае промышленные отходы отправляют на специальные полигоны для централизованного приема и обезвреживания.

Отходы сложного минерального состава, использовать которые в настоящее время невозможно, подвергают захоронению под санитарным надзором.

Вредные вещества, отравляющие атмосферу и водоемы, в некоторых случаях целесообразно извлекать для получения затем ценных химических продуктов. Для этого создаются энерготехнологические комплексы, производящие не только электроэнергию, но и такие вещества, как сульфат аммония, серный ангидрид и др. Увеличивается производство серной кислоты на основе серного ангидрида – одного из основных компонентов отходящих газов многих производств.

На ряде металлургических предприятий освоена технология регенерации металлов путем переработки шлаков, шламов и др.

Эффективное решение проблемы промышленных отходов – это внедрение безотходной технологии. Безотходные производства основаны на принципиальном изменении тех-

нологических процессов, разработке систем с замкнутым циклом, обеспечивающих многократное использование продуктов, и комплексном использовании сырья. При комплексном использовании сырьевых материалов промышленные отходы или побочные продукты одних производств являются исходными материалами других.

Промышленность строительных материалов относится к числу наиболее материалоемких отраслей промышленности. Материалоемкость определяется отношением количества или стоимости израсходованных на производство продукции материальных ресурсов к общему объему продукции.

При оценке промышленных отходов как сырья для производства строительных материалов необходимо учитывать их соответствие нормам на содержание радионуклидов.

### 2.1.2. Понятия «отходы», «вторичные ресурсы», «попутные и побочные продукты»

Широкая утилизация отходов в производстве строительных материалов требует решения ряда организационных и научно-технических проблем. Необходима региональная каталогизация отходов с указанием их полной характеристики. Требуется стандартизация отходов как сырьевых ресурсов в производстве конкретных строительных материалов.

До настоящего времени нет единых определений терминов «отходы», «вторичные ресурсы», «попутные и побочные продукты» и др.

Термин «отходы промышленности» применительно к продуктам, представляющим интерес в качестве сырьевых материалов, часто подвергается критике. В термине «отходы» не акцентируются потребительские свойства материальной продукции, образующейся в результате хозяйственной деятельности людей наряду с основной целевой продукцией. Вместе с тем термин «отходы» является достаточно общим. Отходы производства и потребления при их рациональной переработке перестают быть отбросами и становятся ценными исходными материалами и полуфабрикатами для готовых строительных материалов и изделий.

Под вторичными материальными ресурсами (ВМР) понимается совокупность отходов производства и потребления, образующихся в народном хозяйстве. Используемые ВМР считаются вторичным сырьем. Термин «отходы производства» при этом трактуется как остатки материалов и полуфабрикатов, образовавшиеся при производстве продукции и частично или полностью утратившие свои исходные потребительские свойства.

Под вторичными ресурсами часто понимают также использованные материалы, потерявшие свою первоначальную ценность.

К попутным продуктам обычно относят отходы, которые могут использоваться в народном хозяйстве без дополнительной переработки, к побочным продуктам – отходы, требующие дополнительной переработки.

Широкое применение находит термин «техногенное сырье». К нему относят отходы, образовавшиеся в результате технической деятельности предприятий, которые представляют интерес как сырьевые материалы для разнообразной продукции. Техногенное сырье час-

то имеет ряд технико-экономических преимуществ по сравнению с обычным. Оно может быть технологически более подготовленным, чем обычное (частично обожженным, диспергированным и др.). В группу техногенного сырья не входят отходы потребления и, в частности, многие отходы городского хозяйства.

### 2.1.3. Классификация промышленных отходов

В настоящее время отсутствует всесторонняя классификация промышленных отходов, что обусловлено их различным химическим составом, свойствами, технологическими особенностями получения и условиями образования.

Все отходы промышленности и городского хозяйства можно разделить на две группы:

- минеральные (неорганические),
- органические.

Наибольшее значение для производства строительных материалов имеют минеральные продукты, которые составляют большую часть всех отходов, производимых добывающими и перерабатывающими отраслями промышленности. Эти продукты в большей мере изучены, чем органические.

П. И. Боженковым предложено классифицировать побочные промышленные продукты в момент выделения их из основного технологического процесса на три следующих класса:

- **А** – продукты, не утратившие природных свойств;
- **Б** – искусственные продукты, полученные в результате глубоких физико-химических процессов;
- **В** – продукты, образовавшиеся при длительном хранении в отвалах.

Продукты класса А (карьерные остатки и остатки после обогащения на полезное ископаемое) имеют химико-минералогический состав и свойства соответствующих горных пород. Область их применения обусловлена агрегатным состоянием, фракционным и химическим составом, физико-механическими свойствами. Преимущественно минеральные продукты класса А применяются как заполнители бетонов, а также как исходное глинистое, карбонатное или силикатное сырье для получения разнообразных искусственных строительных материалов (керамики, извести, автоклавных материалов и др.).

Продукты класса Б получают в результате физико-химических процессов, протекающих при обычных или чаще высоких температурах. Диапазон их возможного применения шире, чем продуктов класса А. Особенно эффективно использование этих отходов там, где продуктивно реализуются затраты топливно-энергетических ресурсов и рабочей силы на их получение. Применение продуктов этого класса рационально при производстве цементов, материалов автоклавного твердения, где повышенная реакционная способность исходного сырья дает высокий экономический эффект. Так, при использовании доменного шлака для изготовления шлакопортландцемента почти в два раза снижаются топливно-энергетические затраты на единицу продукции, а себестоимость уменьшается на 25–30 %.

Продукты класса В образуются в результате физико-химических процессов, протекающих в отвалах (самовозгорание, распад шлаков и образование порошка и др.). Типичными представителями сырьевых материалов этого класса являются горелые породы.

Приведенная выше классификация требует обязательного учета химических характеристик побочных продуктов. В зависимости от преобладающих в их составе химических соединений минеральные отходы можно разделить на следующие группы: силикатные, карбонатные, известковые, гипсовые, железистые.

Большая часть природных и искусственных минеральных отходов промышленности состоит преимущественно из кремнезема, силикатов и алюмосиликатов кальция и магния. Они являются отходами добычи и переработки природных силикатных материалов, на долю которых приходится 86,5 % массы земной коры. Силикатные отходы промышленности можно разделить на четыре группы в зависимости от структуры и химического состава.

*Первую группу* составляют минеральные сырьевые материалы, в которых кремнезем связан в силикаты или алюмосиликаты кальция, находящиеся преимущественно в стекловидном состоянии. Они обладают гидравлической активностью при щелочной и сульфатной активации. В зависимости от содержания СаО и  $Al_2O_3$  такие материалы твердеют в нормальных условиях или при тепловлажностной обработке. При высокотемпературном обжиге с карбонатом кальция из них можно получить портландцемент-ный клинкер. Типичными представителями этой группы являются гранулированные доменные и фосфорные шлаки, а также топливные шлаки, образуемые при подшихтовке угля известняком.

*Ко второй группе* принадлежат отходы, в которых кремнезем связан в силикаты или алюмосиликаты, находящиеся в кристаллическом состоянии. Они не проявляют активности при нормальных температурно-влажностных условиях. В эту группу входят, например, медленно охлажденные отвальные металлургические шлаки и электротермофосфорные шлаки, а также побочные продукты горнодобывающей промышленности.

В отходах, относимых *к третьей группе*, кремнезем находится преимущественно в свободном состоянии в виде кварца. Представителями этой группы силикатных продуктов являются хвосты обогащения различных руд, сырья для химической промышленности, вскрышные породы.

Отходы второй и третьей групп утилизируются в строительстве в качестве нерудных строительных материалов, как сырье для производства автоклавных материалов, керамики, стекла.

*В четвертую группу* можно выделить сырье, содержащее в основном силикаты кальция как в негидратированном, так и в гидратированном состоянии, например, шламы металлургических производств (нефелиновые, бокситовые, сульфатные, белые и др.). Эти побочные продукты применяют для производства так называемых шламовых цементов, портландцемента, изделий автоклавного твердения.

Для систематического рассмотрения отходов промышленности и городского хозяйства удобна их классификация в зависимости от отрасли промышленности, где они, в основном, образуются. По этому принципу можно выделить следующие группы:

- *отходы металлургии*: доменные, ферросплавные и сталеплавильные шлаки; шлаки, образующиеся при плавке руд цветных металлов; продукты обогащения руд; нефелиновые и другие шламы и др.;

- *отходы тепловой энергетики и топливной промышленности*: зола, топливные шлаки, золошлаковые смеси, шахтные породы, отходы углеобогащения и др.;

- *отходы химической промышленности*: железистые, известь- и гипсосодержащие отходы; соле- и гидроксидсодержащие шламы и содопродукты; фосфорные шлаки, вторичные полимерные продукты и др.;

- *отходы горнодобывающей промышленности*: вскрышные и попутно добываемые породы;

- *отходы производства строительных материалов*: пыль различного химического состава, керамический и стеклянный бой, отсевы, образуемые при дроблении и др.;

- *отходы переработки древесины и другого растительного сырья*: кора, обрезки, стружки, опилки, лигнин и др.;

- *отходы городского хозяйства*: изношенные автопокрышки, тряпье, бумажная макулатура, строительный мусор, использованные полимерные материалы и др.

#### 2.1.4. Основные направления использования отходов

Выбор направления использования отходов как техногенного сырья преследует цель достижения максимальной экономии ресурсов и энергосберегающего эффекта с улучшением при этом экологической обстановки. При принятии решения о возможности применения тех или иных техногенных продуктов необходимо последовательно анализировать их химический состав, экологические характеристики, минеральный состав и реакционную способность.

При экологической оценке учитываются данные о концентрации тяжелых металлов, токсичных веществ и значений активности естественных радионуклидов.

К числу важнейших технико-экономических показателей, учитываемых при выборе направления утилизации отходов, относятся: степень их возможного использования, экономия природного сырья и материальных ресурсов, экономия топливно-энергетических ресурсов, качественные показатели продукции, ее востребованность и конкурентоспособность на рынке, однородность состава отходов, склонность их к технологической подготовке и переработке, наличие транспортных коммуникаций и радиус перевозок.

Одним из основных критериев при выборе направления использования промышленных отходов является достигаемый **экономический эффект**. В производстве строительных материалов экономический эффект утилизации 1 тонны твердых отходов  $\mathcal{E}_{уд}$  определяют как разность суммарных удельных приведенных затрат на изготовление аналогичных материалов из традиционного сырья, эксплуатацию отвалов и затрат на производство аналогичных материалов из отходов промышленности (городского хозяйства).

По отдельным предприятиям (или мероприятиям) **экономическая эффективность**  $\mathcal{E}$  от использования отходов производства определяется как отношение прибыли, получаемой в результате использования отходов, к капиталовложениям.

**Коэффициент общей экономической эффективности** отдельных мероприятий по использованию отходов рекомендуется определять отношением прибыли к затратам на мероприятия (капитальным и текущим).

**Материалоемкость** товарной или нормативной чистой продукции предприятия характеризует суммарный (по массе или стоимости) расход сырья, топлива, энергии, материалов и полуфабрикатов, приходящийся на единицу измерения товарной или нормативной чистой продукции, натуральный объем которой изменяется в связи с использованием вторичных материальных ресурсов.

Показатель материалоемкости продукции предприятия по стоимости ( $M_c$ ) устанавливает долю материальных затрат в составе стоимости товарной продукции либо величину материальных затрат, приходящихся на единицу нормативной чистой продукции. Показатели материалоемкости продукции помогают изучать динамику материальных затрат предприятия в зависимости от интенсивности использования на нем вторичных материальных ресурсов и осуществлять мероприятия по комплексному использованию отходов производства в общей системе ресурсосберегающих мер.

При использовании отдельных видов отходов взамен первичного сырья необходимо учитывать степень взаимозаменяемости продуктов, изготовленных на основе первичного сырья и с использованием отходов. Поскольку продукты из первичного (кондиционного) сырья могут отличаться по потребительским свойствам от продуктов, изготовленных из отходов, эти показатели должны быть приведены к сопоставимому виду. Базой для приведения показателей потребительских свойств продукции из отходов и из первичного сырья к сопоставимому виду являются показатели свойств аналогичной продукции из первичного сырья.

Если определенный вид отхода может быть использован для получения различных видов продукции, то для выбора оптимального направления рекомендуется определять экономию приведенных затрат для каждого варианта получения продукции из отхода по сравнению с вариантом этой продукции из первичного сырья.

Интенсивность деятельности предприятия по вовлечению в процесс производства вторичных материальных ресурсов измеряется, помимо показателей прироста чистой прибыли и изменения (сокращения) материалоемкости продукции, другими производственными показателями, на которые оказывают воздействие мероприятия по комплексному использованию отходов. К ним относятся: прирост объемов выпускаемой продукции; рост фондоотдачи; рост производительности труда; снижение себестоимости продукции; приращение полной прибыли; повышение рентабельности.

Определяя направление утилизации отходов промышленности (городского хозяйства), наряду с достигаемым экономическим эффектом, необходимо учитывать и ряд других факторов: сумму капитальных вложений в утилизационные установки и механизмы по переработке сырья и их эффективность; потребительскую стоимость изготавливаемой продукции; производственную структуру данного региона и др.

Важнейшими свойствами сырьевых материалов, определяющими методы переработки, являются их химический состав, физико-механические, токсикологические, пожаро- и взрывоопасные характеристики.

В ряде случаев побочные продукты, являющиеся промышленными отходами, характеризуются неоднородностью состава и свойств. Например, химический состав золы может значительно отличаться даже при сжигании одного и того же топлива на одной электростанции. Колебания состава должны учитываться при выборе направления переработки сырья. Так, большая часть побочных продуктов, образующихся при обогащении и сжигании углей, по химическому составу соответствует требованиям технологии аглопоритового щебня. Для производства аглопоритового гравия диапазон допустимых колебаний содержания отдельных оксидов в исходном сырье сужается, в частности ограничивается количество легкоплавких компонентов. При колебаниях химического состава существенно изменяется гидравлическая активность зол. Так, кислые золы, как активная минеральная добавка в цементы и бетоны, могут применяться при содержании  $\text{SiO}_2$  не менее 40 % и  $\text{SO}_3$  – не более 2 %.

Для стабилизации состава и свойств промышленных отходов применяют ряд технологических приемов. В частности, золы со стабильными свойствами получают при отборе определенных фракций, для чего на тепловых электростанциях устанавливают системы золоулавливания.

При транспортировке отходов на другие предприятия целесообразна их предварительная обработка. Например, после гранулирования шлаков приобретает не только товарная форма, но и значительно улучшаются технические свойства продукта. Для пастообразного сырья (фосфогипс) необходимыми условиями применения являются предварительное высушивание и гранулирование.

## 2.2. Строительные материалы, получаемые из отходов металлургии

### 2.2.1. Шлаки из отходов металлургии

Основная масса отходов металлургических процессов образуется в виде шлаков.

**Шлаки** – это продукты высокотемпературного взаимодействия компонентов исходных материалов (топливо, руда, плавни и газовая среда). Их химический состав и структура изменяются в зависимости от состава пустой породы, вида выплавляемого металла, особенностей металлургического процесса, условий охлаждения и др.

Металлургические шлаки подразделяют на **шлаки черной** и **цветной металлургии**.

В зависимости от характера процесса и типа печей шлаки черной металлургии делят на: *доменные, сталеплавильные* (мартеновские, конвертерные, бессемеровские и томасовские, электроплавильные), *производства ферросплавов, ваграночные*.

Наибольшим является выход доменных шлаков, на 1 тонну чугуна он составляет 0,6–0,7 т. При выплавке стали выход шлаков на 1 тонну значительно меньше: при мартеновском способе – 0,2–0,3 т; бессемеровском и томасовском – 0,1–0,2 т; при выплавке стали в электропечах – 0,1–0,04 т.

Количество шлаков ферросплавного производства и ваграночных шлаков сравнительно невелико.

Химический состав доменных шлаков представлен в основном четырьмя оксидами: CaO (29–30 %), MgO (0–18 %), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (5–23 %) и SiO<sub>2</sub> (30–40 %). В небольшом количестве в них содержатся оксиды железа (0,2–0,6 %) и марганца (0,3–1 %), а также сера (0,5–3,1 %). Сталеплавильные шлаки характеризуются более высоким содержанием оксидов железа – до 20 % и марганца – до 10 %.

Для шлаков цветной металлургии характерны пониженное содержание CaO+MgO (7–13 %) и высокое содержание FeO (21–61 %). Кроме основных компонентов шлаки цветной металлургии могут содержать в небольших количествах неизвлеченные металлы – медь, цинк, свинец, никель и др.

При оценке шлаков как сырья для строительных материалов важной характеристикой их химического состава является соотношение в них основных и кислотных оксидов – *модуль основности*  $M_o$ :

$$M_o = (CaO+MgO)/(SiO_2+Al_2O_3), \quad (2.1)$$

при  $M_o > 1$  шлаки относятся к основным, при  $M_o < 1$  – к кислым.

Химический состав значительно влияет на физические свойства шлаковых расплавов, структуру и свойства затвердевших шлаков. Так, увеличение содержания оксида кальция в шлаках обуславливает повышение температуры их плавления и понижение текучести.

При медленном охлаждении шлаков наряду с образованием минералов могут происходить и их полиморфные превращения, что приводит к распаду и самопроизвольному превращению кусков шлака в порошок.

Наиболее распространенным способом переработки шлаков является грануляция, сущность которой заключается в резком охлаждении шлаковых расплавов водой, паром или воздухом и образовании в результате этого стекловидных зерен размером до 10 мм. Применяют два способа грануляции: мокрый и полусухой.

*Мокрая грануляция* заключается в резком охлаждении расплавленного шлака обычно в железобетонных резервуарах, наполненных водой, и диспергировании его образующимся паром, а также газами, выделяющимися из расплава. Шлаки мокрой грануляции имеют высокую влажность (10–30 %), что приводит к смерзанию их в зимнее время, повышению стоимости транспортирования, вызывает необходимость значительных затрат тепла на их сушку.

Более эффективна *полусухая грануляция*, основанная на комбинированном охлаждении шлаков: сначала водой, а затем воздухом. Конечная влажность гранулированного шлака при этом достигает 4–7 %.

Способ переработки и режим охлаждения шлаков влияют на их физико-механические свойства.

## 2.2.2. Шламовые побочные продукты

При производстве алюминия и ряда других металлов в больших количествах образуются отходы в виде водных суспензий дисперсных частиц – шламы. Для производства строи-

тельных материалов промышленное значение имеют нефелиновые, бокситовые, сульфатные, белые и монокальциевые шламы.

**Нефелиновый (белитовый) шлам** получают при извлечении глинозема из нефелиновых пород.

**Бокситовый (красный) шлам** получают как отход переработки основного сырья для производства алюминия-бокситов.

**Сульфатные шламы** получают при замене соды на сульфат натрия  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  в производстве глинозема способом спекания. Они характеризуются наличием соединений, содержащих серу различной степени окисления.

На металлургических заводах образуется значительное количество различных **железосодержащих пылей и шламов**. Они с успехом могут применяться в качестве железистой корректирующей добавки при производстве портландцементного клинкера. Железосодержащие добавки используются также при получении керамзита для улучшения вспучивания и спекания глинистого сырья.

В настоящее время основным потребителем доменных шлаков является цементная промышленность.

### 2.2.3. Шлакосодержащие вяжущие

Шлакосодержащие вяжущие можно подразделить на следующие основные группы: портландцемент, шлакопортландцемент, сульфатно-шлаковые, известково-шлаковые, шлакощелочные вяжущие. Из них наиболее важное значение для строительства имеют портландцемент и шлакопортландцемент.

Доменный шлак в производстве цемента на основе клинкера применяют как компонент сырьевой смеси и как активную минеральную добавку.

Химический состав доменных шлаков позволяет использовать их вместо глинистого и части карбонатного компонентов в составе сырьевых смесей при производстве клинкера. Для доведения силикатного модуля сырьевых смесей до обычных пределов при низком содержании в шлаках  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (5–7 %) в них вводят соответствующие корректирующие добавки.

Шлаки можно рассматривать как в значительной мере подготовленное сырье, что обеспечивает повышение производительности печей и экономию топлива. Замена глины доменным шлаком позволяет снизить на 20 % содержание известкового компонента, уменьшить при сухом способе производства клинкера удельный расход сырья и топлива на 10–15 %, а также повысить производительность печей на 15 %.

В портландцемент с минеральными добавками при измельчении клинкера допустимо введение до 35 % доменного шлака. При этом практически без изменения активности цемента расход клинкера снижается на 14–16 %, а расход топлива уменьшается на 17–18 %.

Портландцемент с добавкой доменных шлаков обладает достаточно высокой морозостойкостью. Он надежно защищает стальную арматуру в бетоне от коррозии.

Использование добавки шлака в портландцементе является эффективным средством предотвращения вредного влияния щелочных оксидов, что особенно важно при использо-

вании реакционноспособных заполнителей, а также для борьбы с высолообразованием. Хорошие результаты достигаются при использовании в портландцементе смешанной добавки, содержащей доменный шлак и активную минеральную добавку осадочного происхождения.

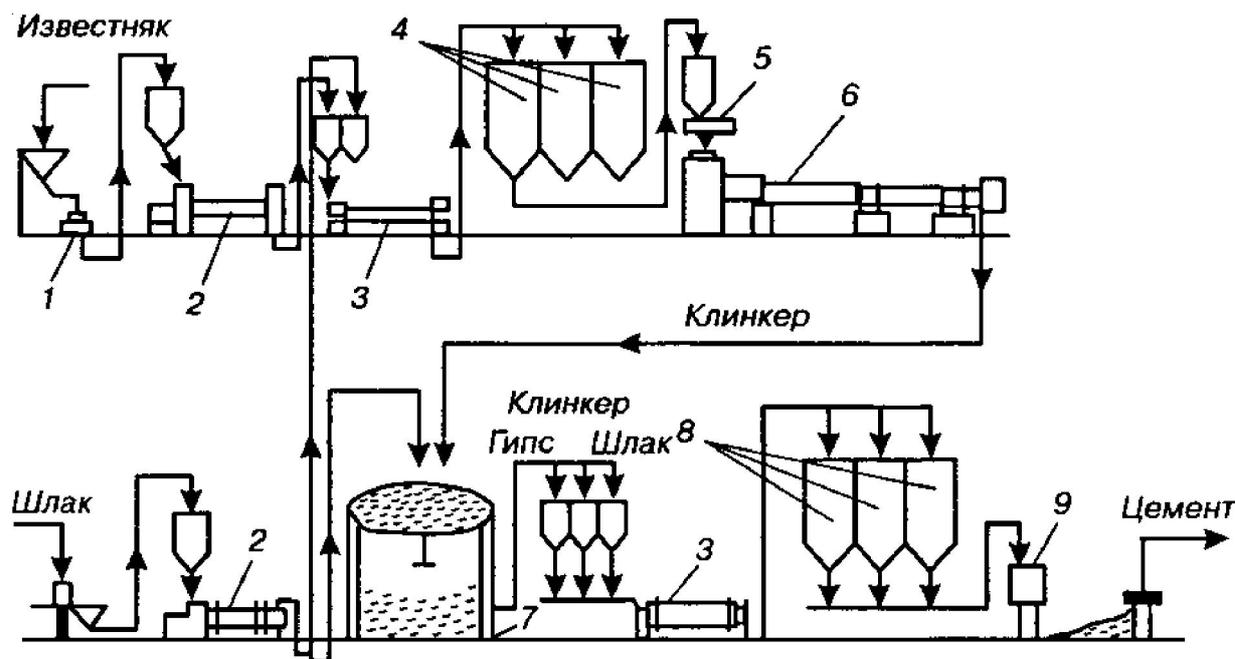
**Шлакопортландцемент** – это гидравлическое вяжущее вещество, твердеющее в воде и на воздухе, получаемое совместным тонким измельчением клинкера, требуемого количества гипса и доменного гранулированного шлака (35–80 %) или тщательным смешиванием тех же материалов, измельченных отдельно.

Шлакопортландцемент является одним из наиболее эффективных видов вяжущих, так как при его производстве значительная часть клинкера заменяется более дешевым гранулированным шлаком.

Шлакопортландцемент с содержанием шлака 25–40 % обычно применяют в тех же условиях, что и обычный портландцемент. Цементы, содержащие 40–80 % шлака, используются как низкотермичные в массивных гидросооружениях и в сооружениях, подвергающихся действию агрессивных вод, а также для изготовления изделий при тепловлажностной обработке.

Технологическая схема производства шлакопортландцемента (рисунок 2.1) предусматривает сушку гранулированного шлака до остаточной влажности 1–2 % и совместное измельчение его с клинкером.

Строительно-технические свойства шлакопортландцемента характеризуются рядом особенностей по сравнению с портландцементом: более низкой плотностью (2,8–3 г/см<sup>3</sup>); несколько замедленным схватыванием и нарастанием прочности в начальные сроки твердения.



- 1 – дробилка; 2 – сушильный барабан; 3 – мельница; 4 – смесительные силосы;  
5 – смесительный шнек; 6 – вращающаяся печь; 7 – клинкерный склад;  
8 – цементные силосы; 9 – упаковочная машина

**Рисунок 2.1 – Схема производства шлакопортландцемента**

Шлакопортландцемент – универсальный вяжущий материал, его можно эффективно применять для бетонных и железобетонных конструкций, наземных, подземных и подводных сооружений.

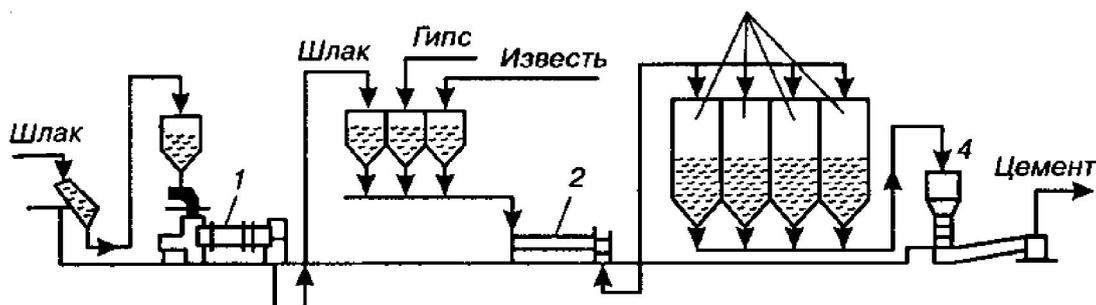
Широкое распространение из группы сульфатно-шлаковых получил *гипсошлаковый цемент*, содержащий 75–85 % шлака, 10–15 % двуводного гипса или ангидрита, до 2 % оксида кальция или 5 % портландцементного клинкера. Разновидностью этой группы цементов является также *шлаковый бесклинкерный цемент*, состоящий из 85–90 % шлака, 5–8 % ангидрита и 5–8 % обожженного доломита.

Как и другие шлаковые вяжущие, сульфатно-шлаковые цементы имеют небольшую теплоту гидратации к 7 суткам, что позволяет применять их при возведении массивных гидротехнических сооружений. Этому способствует также их высокая стойкость к воздействию мягких и сульфатных вод. Химическая стойкость сульфатно-шлаковых цементов выше, чем шлакопортландцемента, что делает их применение целесообразным в различных агрессивных условиях.

Сульфатно-шлаковые вяжущие твердеют сравнительно медленно.

Для изготовления сульфатно-шлаковых вяжущих целесообразно применять основные доменные шлаки с повышенным (10–20 %) содержанием глинозема.

**Известково-шлаковые цементы** – это гидравлические вяжущие вещества, получаемые совместным помолом доменного гранулированного шлака и извести (рисунок 2.2). Их применяют для изготовления строительных растворов и бетонов. Для регулирования сроков схватывания и улучшения других свойств этих вяжущих при их изготовлении вводится до 5 % гипсового камня.



1 – сушильный барабан; 2 – мельница; 3 – цементные силосы; 4 – упаковочная машина

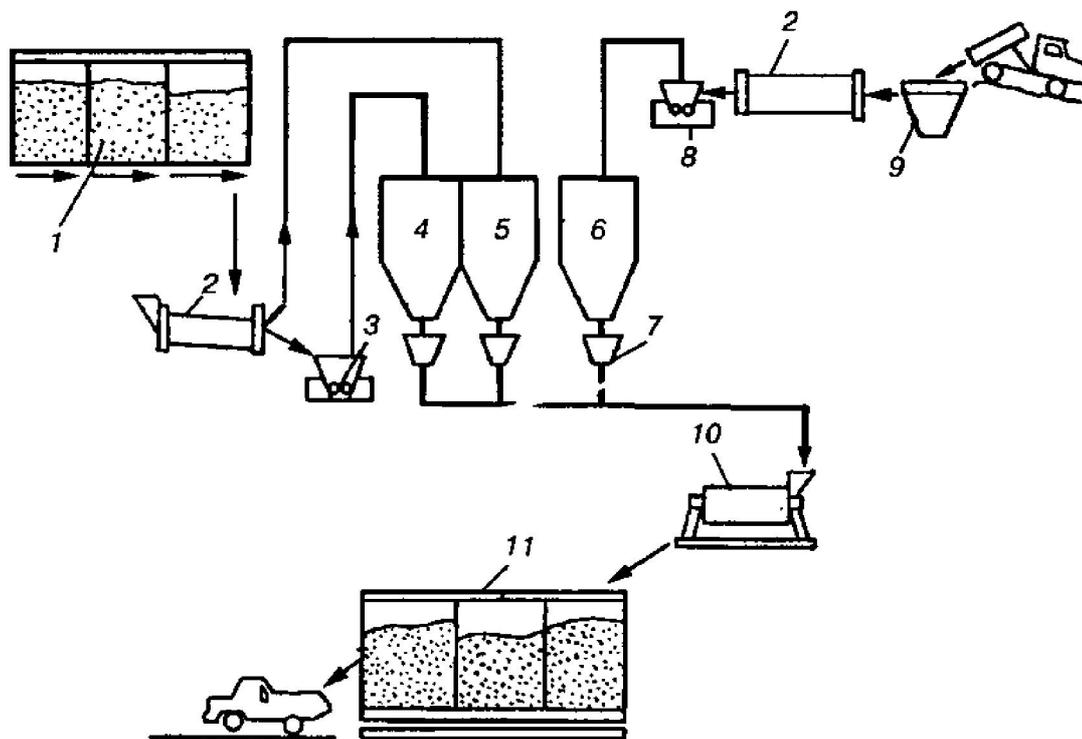
**Рисунок 2.2 – Схема производства известково-шлакового цемента**

**Шлакощелочные вяжущие** – это гидравлические вяжущие вещества, получаемые измельчением гранулированных шлаков совместно со щелочными компонентами или затворением молотых шлаков растворами соединений щелочных металлов (натрия или калия), дающих щелочную реакцию (рисунок 2.3).

Для получения шлакощелочных вяжущих применяют гранулированные шлаки – доменные, электротермофосфорные, цветной металлургии.

Шлакощелочные вяжущие восприимчивы к действию тепловлажностной обработки.

Шлакощелочные вяжущие обладают высокой коррозионной стойкостью и биостойкостью. Щелочные компоненты выполняют роль противоморозных добавок, поэтому вяжущие интенсивно твердеют при отрицательных температурах.



- 1 – склад; 2 – сушильный барабан; 3 – вальцы; 4, 5 – расходные бункеры шлака и активной минеральной добавки; 6 – расходный бункер щелочного компонента; 7 – дозаторы; 8 – вальцы для измельчения щелочного компонента; 9 – склад щелочного компонента; 10 – мельница; 11 – склад вяжущего

**Рисунок 2.3 – Схема производства шлакощелочного вяжущего**

#### 2.2.4. Щебень из отходов металлургии

Металлургические шлаки являются значительным резервом обеспечения строительной индустрии заполнителями для бетонов. Шлаковые заполнители по величине насыпной плотности могут быть *тяжелыми* ( $p_0 > 1000 \text{ кг/м}^3$ ) и *легкими* ( $p_0 < 1000 \text{ кг/м}^3$ ), а по крупности зерен – *мелкими* ( $< 5 \text{ мм}$ ) и *крупными* ( $> 5 \text{ мм}$ ).

Шлаковый щебень получают дроблением отвальных металлургических шлаков или специальной обработкой огненно-жидких шлаковых расплавов (литой шлаковый щебень). Для производства щебня в основном применяют отвальные шлаки, сталеплавильные (приемлемые для переработки в щебень), а также медеплавильные, никелевые и другие шлаки цветной металлургии.

К эффективным видам тяжелых заполнителей бетона, не уступающих по физико-механическим свойствам продуктам дробления плотных природных каменных материалов, относится *литой шлаковый щебень*. При производстве этого материала огненно-жидкий шлак сливается на специальные литейные площадки или в трапециевидные ямы-траншеи.

При выдерживании в течение 2–3 часов на открытом воздухе температура расплава в слое снижается до 800 °С и шлак кристаллизуется. Затем его охлаждают водой, что приводит к развитию многочисленных трещин. Шлаковые массивы в последующем дробятся.

Литой шлаковый щебень характеризуется высокими морозо- и жаростойкостью, а также сопротивлением к истиранию. Для изготовления бетонных и железобетонных изделий применяют фракционированный литой шлаковый щебень крупностью 5–70 мм. Несортированный материал используется в дорожном строительстве и в производстве минеральной ваты, а отсев может служить заполнителем жароупорных бетонов и частично заменять гранулированный шлак в производстве шлакопортландцемента.

### 2.2.5. Шлакоминеральные смеси

К шлакоминеральным смесям относятся каменные материалы, укрепленные гранулированным доменным шлаком и предназначенные для устройства оснований автомобильных дорог. Для активизации шлаков и твердения смесей в их состав вводят добавки гашеной извести (1–3 %) или портландцемента (3–5 %).

Шлакоминеральные смеси, активированные гашеной известью, медленно схватываются и твердеют, что позволяет делать разрывы в несколько суток между приготовлением смеси и ее укладкой в основания. Шлакоминеральные смеси, активированные цементом, схватываются быстрее и позволяют вести строительные работы в течение 6–8 часов.

Шлакоминеральные смеси, уложенные в слое основания, практически не требуют специального ухода. Они допускают укладку асфальтобетонных покрытий сразу после уплотнения основания. При устройстве оснований из шлакоминеральных смесей на дорогах высших категорий можно использовать не только местные малопрочные каменные материалы, но и песчано-гравийные смеси.

Шлакоминеральное основание более жестко по сравнению с битумоминеральным, однако оно гораздо гибче и деформативнее оснований, устроенных из цементированных материалов, в том числе из бетона.

По трещиностойкости шлакоминеральное основание уступает битумоминеральному, поперечные трещины в нем возникают при перепадах температур. В южных районах и при достаточно толстых слоях асфальтобетонного покрытия трещинообразования в шлакоминеральном основании можно избежать.

Дорожное строительство является наиболее материалоемкой областью применения шлакового щебня.

### 2.2.6. Шлаковый наполнитель

Из сталеплавильных шлаков получают высококачественный **минеральный порошок**, являющийся важным структурообразующим компонентом (наполнителем) асфальтобетона. Основное его назначение – это перевод битума в пленочное состояние, а также заполнение пор между крупными частицами, в результате чего повышаются плотность и прочность асфальтобетона. Минеральному порошку из сталеплавильных шлаков свойственна

более развитая поверхность, чем у порошка из карбонатных материалов и, как следствие, более высокое набухание его в смеси с битумом.

Минеральный порошок повышает прочность асфальтобетона, но вместе с тем увеличивает его хрупкость, поэтому его содержание в смеси должно быть предельно минимальным, достаточным лишь для придания асфальтобетону нормативной плотности и прочности. Повышение массовой доли минерального порошка в смеси сверх необходимого минимума понижает трещиностойкость покрытий и резко снижает их сдвигоустойчивость.

Тонкоизмельченные шлаки, обладающие гидравлической активностью, т. е. способностью химически связывать  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  уже при нормальной температуре, являются эффективными *наполнителями* (микронаполнителями) в цементных бетонах.

### 2.2.7. Лёгкие шлаковые заполнители

**Гранулированный шлак** применяют в бетонах как мелкий заполнитель. По зерновому составу он соответствует крупному песку. Примерно 50 % его массы составляют зерна крупностью более 2,5 мм. Насыпная плотность гранулированного шлака зависит от свойств шлакового расплава и технологии грануляции и составляет 600–1200 кг/м<sup>3</sup>. Гранулы, образующиеся при быстром охлаждении шлакового расплава водой или паровоздушной смесью, характеризуются высоким содержанием стекловидной фазы и пористостью.

Гранулированный шлак является эффективным заполнителем обычных и мелкозернистых бетонов, может служить укрупняющей добавкой для обогащения природных мелких песков. Пористые разновидности гранулированного шлака применяют как заполнители легких бетонов.

**Шлаковая пемза** – один из наиболее эффективных видов искусственных пористых заполнителей. Ее получают поризацией шлаковых расплавов в результате их быстрого охлаждения водой, воздухом, паром, а также воздействием минеральных газообразователей.

Поризация расплава происходит при перенасыщении его газами, которое наступает вследствие понижения их растворимости и кристаллизации расплава.

Шлаковую пемзу выпускают в виде щебня трех фракций (5–10, 10–20 и 20–40 мм) и песка (рядового с зернами крупностью менее 5 мм, мелкого – менее 1,25 и крупного – 1,25–5 мм). Для каждой фракции щебня, а также мелкого и крупного песка нормируется зерновой состав.

В зависимости от насыпной плотности (кг/м<sup>3</sup>) шлаковую пемзу делят на марки: для щебня – 400, 450, 500, 550, 600, 650, 700, 750, 800, 850, 900; песка – 600, 700, 800, 900, 1000.

Разработана технология получения искусственных пористых заполнителей – **азеритов** из стекловатных шлаков металлургического и химического производств. Она позволяет получать заполнители с насыпной плотностью 430–765 кг/м<sup>3</sup> и пределом прочности при сжатии в цилиндре 3,7–13,8 МПа. При этом снижается температура вспучивания сырье-

вых гранул с 1150–1180 до 850–1000 °С. На базе изготавливаемых легких заполнителей можно получить высокопрочные легкие материалы для несущих конструкций зданий и сооружений.

### 2.2.8. Бетоны на основе металлургических шлаков

В настоящее время разработаны и применяются в строительстве разнообразные виды бетонов с применением как вяжущих, так и заполнителей на основе металлургических шлаков.

В зависимости от вида шлаковых заполнителей изготавливают бетоны с различной средней плотностью:

- *особо тяжелые* ( $\sigma_0 > 2500$  кг/м<sup>3</sup>) на некоторых шлаках сталеплавильного производства и цветной металлургии;
- *тяжелые* ( $\sigma_0 = 1800$ – $2500$  кг/м<sup>3</sup>) на литом и отвальном шлаковом щебне, песке и гранулированном шлаке;
- *легкие* ( $\sigma_0 < 1800$  кг/м<sup>3</sup>) на шлаковой пемзе (крупный заполнитель) и гранулированном шлаке (мелкий заполнитель).

Параллельно с крупнозернистым используют мелкозернистые шлаковые бетоны, где заполнителем является гранулированный шлак.

В зависимости от структуры различают обычные плотные, крупнопористые и ячеистые шлаковые бетоны.

По назначению шлаковые бетоны делятся на: конструкционные или общего назначения; конструкционно-теплоизоляционные, применяемые при возведении ограждающих конструкций; гидротехнические; дорожные; теплоизоляционные; кислото- и жаростойкие.

Твердение шлаковых бетонов возможно при обычных условиях, однако их качество значительно повышается при тепловлажностной обработке (пропаривании и особенно автоклавном твердении).

Применяя обычные или шлаковые вяжущие в сочетании со шлаковыми заполнителями, можно получить тяжелые бетоны всех классов по прочности на сжатие. При этом для пропаренных бетонов достигается прочность 10–30 МПа, а для бетонов автоклавного твердения – 30–60 МПа. Замена в тяжелых бетонах крупного заполнителя из плотных горных пород шлаковым щебнем, полученным дроблением плотных металлургических шлаков, практически не снижает, а иногда несколько повышает прочность бетона за счет их более развитой и активной поверхности.

Бетоны на шлаковом щебне имеют более высокую прочность при растяжении и изгибе, чем на гранитном.

Применение шлакового песка-отсева вместо обычного кварцевого повышает водопотребность бетонной смеси, в результате чего происходит определенный перерасход цемента. Поэтому эффективность применения шлакового песка как мелкого заполнителя бетона возрастает при введении пластифицирующих добавок и в смеси с имеющим меньшую водопотребность заполнителем (кварцевым песком, гранулированным шлаком и др.).

Удобоукладываемость шлаковых бетонных смесей зависит от водопотребности заполнителя. Обычно бетоны на шлаковом щебне более жесткие и менее удобоукладываемые, чем на гранитном.

Морозостойкость бетонов на шлаковых вяжущих и крупном плотном заполнителе ниже, чем обычных цементных, и составляет 50–100 циклов, кроме бетонов на шлакощелочных вяжущих, где она значительно выше. Повышение морозостойкости может быть достигнуто как общими для всех бетонов технологическими приемами (например, снижением В/Ц, смягчением режима тепловой обработки, введением воздухововлекающих добавок), так и применением вместо пропаривания автоклавной обработки.

Деформативные свойства шлаковых бетонов и сцепление их с арматурой аналогичны свойствам цементных бетонов на плотных заполнителях, что позволяет изготавливать из пропаренных и автоклавных бетонов на шлаковых вяжущих и заполнителях разнообразные несущие железобетонные конструкции промышленного и гражданского строительства.

В строительстве накоплен положительный опыт применения тяжелых и легких мелкозернистых шлаковых бетонов. В роли вяжущего используют бесклинкерные шлаковые вяжущие и шлакопортландцемент, а заполнителями служат шлаковый песок и гранулированный шлак.

При использовании бесклинкерных шлаковых вяжущих наилучшие физико-механические свойства обеспечиваются при автоклавной обработке мелкозернистых бетонов под давлением 0,9–1,6 МПа. При давлении 0,9 МПа оптимальная длительность запаривания составляет 6–8 часов, а с повышением давления она сокращается.

Гранулированный шлак предварительно дробят. Целесообразно дробить шлак в аппаратах ударного и ударно-стирающего действия (например, в молотковых дробилках, шаровых мельницах и др.). Зерновой состав шлакового заполнителя должен обеспечивать минимальную водопотребность смеси. Следует учитывать, что с уменьшением отношения цемент:шлак оптимальное содержание мелких фракций в шлаке увеличивается, так как они являются микрозаполнителем, способствующим улучшению структуры и строительно-технических свойств бетонов.

Шлаковые цементы и заполнители широко применяют для производства легких бетонов со средней плотностью 1200–1600 кг/м<sup>3</sup> и прочностью на сжатие 5–25 МПа. Для легких шлаковых бетонов характерны общие свойства, присущие легким бетонам, такие как достижение максимальной прочности при расходе воды, обеспечивающем минимальный выход бетонной смеси, а также при использовании фракционированных пористых заполнителей; рост прочности с увеличением расхода вяжущего до определенного предела и др. Особенности легких шлаковых бетонов на бесклинкерных шлаковых вяжущих являются большая деформативность и несколько меньшее сцепление с арматурой, чем у бетонов на портландцементе.

Легкими заполнителями шлаковых бетонов служат:

- шлаковая пемза с насыпной плотностью  $\sigma_0 = 500\text{--}800 \text{ кг/м}^3$ );
- гранулированный доменный шлак ( $\sigma_0 = 700\text{--}1000 \text{ кг/м}^3$ );
- доменные поризованные отвальные шлаки ( $\sigma_0 = 800\text{--}1000 \text{ кг/м}^3$ ).

*Шлакопемзобетоны* имеют высокую морозостойкость, что обусловлено особенностями структуры шлаковой пемзы, способствующей резкому снижению исходного водоцементного отношения бетонной смеси из-за быстрого поглощения заполнителем воды затворения и, соответственно, образованием низкой капиллярной пористости цементного камня. Повышенной морозостойкости шлакопемзобетона способствуют хорошая деформативность заполнителя, гасящего значительную часть возникающего внутреннего давления, и прочная контактная зона шлакопемзового щебня с матрицей (растворной частью). Возможно получение конструкционного шлакопемзобетона морозостойкостью до 600 циклов и более.

Плотный и поризованный шлакобетон применяют при производстве стеновых панелей, других ограждающих и несущих конструкций.

Легкие бетоны на пористых шлаковых заполнителях являются наиболее эффективными.

Ячеистые бетоны отличаются от других видов искусственных каменных материалов равномерно распределенными пора́ми в виде сферических ячеек диаметром 1–3 мм. Изготавливаются из вяжущего, кремнеземистого компонента, порообразователя и воды. В производстве ячеистых бетонов, обычно твердеющих при автоклавной обработке, широко применяют шлаковые вяжущие, гидравлическая активность которых особенно проявляется с повышением температуры и давления водяного пара.

Прочность ячеистых бетонов на шлаковых материалах изменяется в зависимости от средней плотности. Максимальная прочность ячеистых бетонов достигается при соотношении между шлаковым вяжущим и кремнеземистым компонентом в пределах 1:0,5 – 1:1,2 в зависимости от особенностей сырьевых материалов. На прочность также влияет тонкость помола шлаковых материалов. Показатели прочности и других свойств значительно улучшаются.

Ячеистые (шлаковые) бетоны оптимальных составов обладают сравнительно высокой морозостойкостью.

Для ячеистых бетонов характерны сравнительно высокие значения сорбционной влажности, паро- и воздухопроницаемости. Они в 5–10 раз больше, чем для тяжелого бетона, что обуславливает необходимость применения защитных покрытий в ограждающих конструкциях для предохранения ячеистых бетонов от увлажнения.

Ячеистые бетоны не способны пассивировать сталь. Это в сочетании с высокой проницаемостью вынуждает принимать специальные меры по защите арматуры в конструкциях из ячеистых бетонов, в частности использованию защитных покрытий арматуры типа цементно-казеиновых с ингибиторами, цементно-латексных, битумных и полимерных.

Шлаковые материалы широко используют в производстве жаростойких бетонов в качестве вяжущих, заполнителей, тонкомолотых добавок и отвердителей. Вяжущие на основе металлургических шлаков по жаростойкости превосходят портландцемент, что объясняется сравнительно низким содержанием в шлаковом цементном камне гидроксида кальция. Применяя шлакопортландцемент, можно получить жаростойкие бетоны, пригодные для эксплуатации до 1200 °С.

Заполнителями для жаростойких бетонов могут служить гранулированные и отвальные металлургические шлаки, а также шлаковая пемза. Максимальная рабочая температура шлаковых жаростойких бетонов на портландцементе и шлакопортландцементе достигает 700–800 °С. При более высоких температурах прочность бетона резко уменьшается из-за размягчения стекловидной фазы в шлаковых заполнителях.

Качество жаростойких бетонов характеризуется следующими параметрами: прочностью на сжатие; термической стойкостью; деформацией под нагрузкой при высоких температурах; усадкой и термическим расширением. Жаростойкие бетоны на шлаковых заполнителях имеют сравнительно низкую термическую стойкость, что обусловлено повышенным коэффициентом термического расширения шлаков.

Некоторые разновидности шлаков (самораспадающиеся феррохромовые и марганцовистые) применяют как отвердители при изготовлении жаростойкого бетона на жидком стекле. Активность шлаковых отвердителей жидкого стекла зависит от их химического состава и тонкости измельчения.

Возможно получение жаростойких бетонов на доменных шлаках с повышенной степенью кристаллизации и температурой применения до 1000 °С. В качестве тонкомолотой добавки применяют ферромолибденовый шлак.

Используя вяжущие и заполнители, полученные из шлаков сталеплавильного и ферросплавного производства, разработаны жаростойкие бетоны, работающие при 800–1700 °С.

Основным критерием пригодности доменных шлаков для использования в жаростойких бетонах является модуль основности, который должен быть не более 1.

К бетонам этого вида относят бетоны, приготовленные на основе шлакощелочных вяжущих.

При твердении таких бетонов щелочи взаимодействуют не только со шлаком, но и с заполнителями, в первую очередь, с глинистыми и пылеватыми частицами, образуя нерастворимые щелочные гидроалюмосиликаты. В связи с этим требования к заполнителям для шлакощелочных бетонов значительно снижаются. Помимо традиционных заполнителей (щебня, гравия, песка) для этой цели могут быть использованы многие дисперсные природные материалы и попутные продукты различных отраслей промышленности.

Из природных материалов широко используют многие местные грунты и рыхлые горные породы, такие как мелкие пески, супеси, гравийно-песчаные и глино-гравийные смеси, которые из-за высокой дисперсности и загрязненности недопустимы для приготовления цементных бетонов. Содержание глинистых частиц может достигать 5 %, а пылеватых – 20 %. Недопустимо применение заполнителей, содержащих зерна гипса и ангидрита.

В качестве заполнителей для тяжелых и легких шлакощелочных бетонов из промышленных отходов можно применять различные шлаки, золы и золошлаковые смеси ТЭС, горелые породы, отходы камнедробления и камнепиления, в том числе известняковые, дисперсные органические отходы растительного происхождения и др.

Технология изготовления шлакощелочных бетонов позволяет использовать серийное оборудование. Молотый шлак перемешивают с заполнителем, а сухую смесь затворяют

водным раствором щелочного компонента с плотностью 1100–1300 кг/м<sup>3</sup>. Мелкозернистые бетонные смеси перемешивают в бетоносмесителях принудительного действия. При приготовлении бетонных смесей щелочной компонент способствует значительному пластифицирующему эффекту.

Рекомендуемые методы формования изделий – это вибрирование, вибропрессование, прокат и др. При изготовлении монолитных конструкций применяют виброуплотнение, трамбование, торкретирование. Для создания оптимальных условий твердения в монолитных конструкциях поверхность свежееуложенного бетона защищают от высыхания защитными покрытиями на основе битумных или других эмульсий, пленками, матами и др.

Для изделий из шлакощелочных бетонов характерна повышенная коррозионная стойкость, так как в продуктах их твердения нет высокоосновных гидроалюминатов кальция, вызывающих сульфатную коррозию цементов, а также отсутствует свободная известь, выщелачивание которой приводит к разрушению цементного камня в мягких водах. Вследствие этого по стойкости в среде с низкой гидрокарбонатной жесткостью, минерализованных сульфатных и магниезальных водах шлакощелочные бетоны превосходят бетоны не только на портландцементе, но и на сульфатостойком цементе. Кроме того, они являются стойкими против действия бензина и других нефтепродуктов, концентрированного аммиака, растворов сахара и слабых растворов органических кислот; отличаются также высокой биостойкостью.

При выборе определенных шлаков и заполнителей изготавливают декоративные материалы.

Шлакощелочные бетоны могут быть использованы как конструкционные материалы в промышленном и гражданском строительстве, а с учетом их особых свойств – и в других областях строительства (например, гидротехническом, водохозяйственном, дорожном, сельском, транспортном).

### 2.2.9. Применение в бетонах металлургической пыли и горелой земли

В металлургических производствах образуется значительное количество пылей, которые необходимо улавливать и утилизировать с целью извлечения содержащихся в них металлов и поддержания необходимого уровня охраны окружающей среды. Для улавливания тонкодисперсных пылеватых частиц применяются системы сухого и мокрого пылеулавливания; в результате этого в последующие процессы переработки поступают сухие пыли или шламы

*Сухая пыль ферросплавных производств* представляет большой практический интерес как микрокремнеземистая активная добавка в цементные бетоны. Этот продукт состоит в основном из аморфного кремнезема (85–95 % SiO<sub>2</sub>) в виде частиц диаметром порядка 0,1 мкм и менее. Благодаря значительной дисперсности (15000–20000 см<sup>2</sup>/г) пыль ферросплавных печей обладает высокой реакционной способностью. Для предотвращения возможного при этом повышения водопотребности в бетонные смеси должны вводиться добавки суперпластификаторов.

Регенерация *горелой земли*, образовавшейся после отливки изделий, состоит в удалении пыли, мелких фракций и глины, потерявшей связующие свойства под влиянием высокой температуры при заполнении формы металлом. Существуют два основных способа регенерации горелой земли: мокрый и сухой. При регенерации земли мокрым способом формовочная и стержневая смеси поступают в систему последовательных отстойников с проточной водой. Песок на дне бассейна оседает, а мелкие фракции уносятся проточной водой. Затем песок просушивают и вновь пускают в производство. Мокрая регенерация применяется, как правило, в сочетании с гидравлической очисткой литья. Сухой способ регенерации состоит из двух операций: обдирания от зерен песка связующих веществ и удаления пыли и мелких частиц, что достигается продуванием воздуха в закрытом барабане с последующим отсосом воздуха с пылью.

Разработан и получил применение электрокоронный метод регенерации горелой земли, основанный на пропускании горелого песка через поле коронного разряда напряжением до 100 000 В.

Регенерация формовочных смесей позволяет получить качественный песок, который можно вновь использовать в литейном производстве, а также в производстве разнообразных строительных материалов.

## **2.3. Строительные материалы, получаемые из отходов топливно-энергетической промышленности**

### 2.3.1. Отходы добычи и обогащения угля

К отходам топливно-энергетической промышленности относятся продукты, получаемые в виде отходов при добыче, обогащении и сжигании твердого топлива. Эту группу отходов разделяют по источнику образования, виду топлива, числу пластичности минеральной части отходов, содержанию горючей части, зерновому составу, химико-минералогическому составу, степени плавкости, интервалу размягчения, степени вспучиваемости.

Основными видами твердого топлива являются каменные и бурые угли. При добыче и обогащении углей побочными продуктами служат *шахтные* и *вскрышные породы, отходы углеобогащения*.

Шахтные отвальные породы наиболее часто представлены аргиллитами, алевритами, песчаниками, известняками.

Метаморфизированные аргиллиты, алевриты и песчаники обладают высокой плотностью и, как правило, трудно размокают в воде. Их можно отнести к малопластичному или непластичному глинистому сырью.

По сравнению с глинами аргиллиты обладают более высокой прочностью, которая составляет 2–4 МПа при естественном залегании. Алевриты по сравнению с аргиллитами имеют более крупнозернистое строение.

Для применения в производстве строительных материалов наибольший интерес представляют отходы углеобогащения, характеризующиеся наименьшими колебаниями состава и свойств.

Содержание угля, не выделенного в процессе обогащения, может достигать 20 %. Отходы углеобогащения представлены обычно в виде кусков крупностью 8–80 мм.

В отличие от отвальных пород угольных шахт отходы углеобогащения характеризуются более высоким содержанием угля, более стабильным вещественным составом, меньшим содержанием песчаников и большим содержанием аргиллитов, увеличением содержания серы и уменьшением механической прочности.

Продуктами обжига пустых пород, сопутствующим месторождениям каменных углей, являются *горелые породы*. Залежи природных горелых пород широко распространены в различных регионах. По основным физическим и химическим свойствам они близки к глинам, обожженным при 800–1000 °С. В отличие от зол и шлаков горелые породы почти не содержат стекловидных компонентов и характеризуются высокой сорбционной способностью.

К горелым породам, наряду с природным сырьем, относятся и перегоревшие пустые шахтные породы, содержащие минимальное (менее 5 %) количество углистых примесей и минеральную глинисто-песчаную часть, обожженную в той или иной степени. Породы смешаны с отходами угля, горючих сланцев, серой и др. Под действием кислорода воздуха уголь и сера окисляются и самовозгораются, а под влиянием высоких температур (до 1000 °С) порода подвергается естественному обжигу. Органические примеси при этом частично выгорают. Степень обжига горелых пород зависит от многих причин. Неравномерное поступление влаги в горячий слой породы, неравномерное количество воздуха, соприкасающегося с поверхностью породы, а также большое количество мелких фракций, затрудняющих доступ кислорода к очагам горения, приводит к тому, что обжиг происходит крайне неравномерно. В результате образуется материал различной степени обжига (от спекшегося до слабообожженного) с неодинаковыми физико-механическими свойствами. Неоднородность материала – один из его существенных недостатков. Размер частиц колеблется в пределах от 40 см до долей миллиметра.

### 2.3.2. Золошлаковые отходы

При сжигании твердых видов топлива в топках тепловых электростанций образуются *зола* в виде пылевидных остатков и кусковой *шлак*, а также *золошлаковые смеси*. Они являются продуктами высокотемпературной (1200–1700 °С) обработки минеральной части топлива.

Золы пылевидного сжигания проходят высокотемпературную обработку. Они имеют сравнительно однородный химический состав и незначительное содержание несгоревших частиц топлива. Некоторая часть золы оседает на трубах котла и стенках топки, но основная ее масса (*зола-унос*) уносится с дымовыми газами, улавливается и скапливается в бункерах, откуда удаляется потоком воды или пневмотранспортом. На большинстве действующих ТЭС применяют систему гидроудаления для транспортирования золошлаковых смесей в отвалы.

Зола-унос представляет собой тонкодисперсный материал, состоящий в основном из частиц размером 5–100 мкм. Ее химико-минералогический состав соответствует составу минеральной части сжигаемого топлива.

Если минеральная часть топлива содержит значительное количество карбонатов, то в золе образуются низкоосновные силикаты и ферриты кальция, способные взаимодействовать с водой.

Важными показателями качества золы являются ее дисперсность и гранулометрический состав. Дисперсность золы-уноса выражается обычно удельной поверхностью. Удельная поверхность зол-уносов составляет 1000–4000 см<sup>2</sup>/г. Во многих случаях она приближается к удельной поверхности цемента. Золой, содержащей большее количество остатков несгоревшего топлива, имеют более высокие значения удельной поверхности.

Для золы характерно значительное содержание частиц с мелкими замкнутыми порами, которые являются результатом вспучивания расплавленной минеральной массы газами, выделяющимися при дегидратации глинистых минералов, диссоциации частиц известняка, гипса и органических веществ. Общий объем пор может достигать 60 % объема частиц золы. Высокое содержание микропор в золе обуславливает высокое значение ее действительной удельной поверхности. Измерения действительной удельной поверхности золы, выполненные по адсорбции азота, показали, что она на порядок выше удельной поверхности цемента. С высокой действительной поверхностью золы связаны такие ее свойства, как адсорбционная способность, гигроскопичность, гидравлическая активность.

Золой подразделяются на **высококальциевые** (СаО > 20 %) и **низкокальциевые** (СаО < 20 %). Для первых преобладающими являются кристаллические фазы, для вторых – стекло и аморфизованное глинистое вещество. Высококальциевые золы в свою очередь делят на **низкосульфатные** (S<sub>03</sub> < 5 %), получаемые при сжигании угля и торфа, и **сульфатные** (S<sub>03</sub> > 5 %) – при сжигании сланцев.

По величине удельной поверхности золы делят на: тонкодисперсные ( $S > 4000$  см<sup>2</sup>/г), среднелдисперсные (2000–4000 см<sup>2</sup>/г) и грубодисперсные ( $S < 2000$  см<sup>2</sup>/г). При насыпной плотности менее 800 кг/м<sup>3</sup> золы считаются легкими, 800–1000 – средней плотности и более 1000 – тяжелыми.

### 2.3.3. Топливные шлаки

Шлаки – основной вид отходов при кусковом сжигании топлива. При пылевидном сжигании шлаки составляют 10–25 % от массы образуемой золы. Шлаки образуются в результате спекания отдельных частиц на колосниковой решетке при температуре свыше 1000 °С или при охлаждении расплавленной минеральной части топлива при температуре более 1300 °С.

В связи с интенсификацией процессов сжигания твердого топлива и переходом к использованию в тепловой энергетике многозольных видов углей и сланцев перспективно применение топок с жидким шлакоудалением. Продуктами жидкого шлакоудаления из энергетических топок являются **топливные гранулированные шлаки**, образуемые в результате быстрого охлаждения водой минерального расплава. Жидкое шлакоудаление обеспечивается подогревом воздуха до температуры около 700 °С или снижением температуры плавления минеральной части топлива при добавке к ней флюса.

В отличие от зол, шлаки, образуемые при более высоких температурах, практически не содержат несгоревшее топливо и характеризуются большей однородностью.

Гранулированные шлаки представляют собой механическую смесь зерен размером 0,14–20 мм. Химический состав шлаков, как и зол, может изменяться в широком диапазоне – от сверхкислых ( $M_o < 0,1$ ) до основных ( $M_o > 1$ ). Многие топливные шлаки характеризуются значительным количеством (20 % и более) оксидов железа, содержащихся преимущественно в закисной форме. Содержание стекловидной фазы составляет 85–98 %, у основных шлаков оно может быть значительно ниже.

#### 2.3.4. Портландцемент и композиционные цементы

Золы и топливные шлаки применяются в качестве сырьевых компонентов портландцементного клинкера и активных минеральных добавок при производстве портландцемента, а также композиционных зольных и шлаковых цементов.

Золы и топливные шлаки в качестве компонентов сырьевой смеси портландцементного клинкера применяют как при мокром, так и сухом способе производства. Сырьевая смесь хорошо гранулируется, и гранулы имеют повышенную прочность.

Некоторые виды зол и шлаков можно использовать для повышения глиноземного и понижения силикатного модуля сырьевой смеси. Большая реакционная способность золы и шлака дает возможность раннего образования жидкой фазы при обжиге клинкера позволяет несколько снизить температуру клинкерообразования. Однако применение зол и шлаков как сырьевых компонентов клинкера ограничено из-за их нестабильного состава и значительного содержания сульфидов и щелочей.

Золошлаковые компоненты, содержащие значительные количества свободного оксида кальция, могут вызывать загустевание и схватывание сырьевого шлама, поэтому их применяют только при сухом способе производства.

В производстве цемента основная часть топливных зол используется в качестве активных минеральных добавок. При этом они должны содержать не более  $SiO_2$  – 40 %,  $SO_3$  – 3 %, потери при прокаливании – 10 %. Золу-унос вводят, как и другие гидравлические минеральные добавки, в количестве не более: в портландцемент – 20 %, в пуццолановый – 55 %.

Введение золы в цемент в количестве до 20 % несколько снижает его прочность в начальные сроки твердения, на 28 сутки снижение прочности минимально, а при длительных сроках твердения прочность цементов с золой становится часто более высокой, чем без золы. Увеличение содержания золы (более 20 %) обычно приводит к существенному снижению прочностных характеристик цемента, особенно в ранние сроки твердения.

Также благоприятно влияют добавки золы к портландцементу в условиях гидротермальной обработки растворов и бетонов. Повышение дисперсности золы способствует интенсивности твердения зольного портландцемента.

Наиболее часто рекомендуемой дозировкой золы в **зольных цементах** является 25–30 %. При этом зола обычно уже достаточно тонкодисперсна и может не подвергаться измельчению. Однако во многих случаях для повышения гидратационной активности стекловидных частиц требуется деформация их поверхностных слоев (трещины, сколы, раска-

львание), что достигается при совместном измельчении клинкера и золы. Установлено, что наиболее активны частички золы размером 5–30 мкм.

Пластичные растворы зольного цемента с песком состава 1:3 характеризуются пониженной водопотребностью, а в затвердевшем состоянии (более 2–3 месяцев) – повышенной плотностью и прочностью. Зольные цементы могут превышать по конечной прочности портландцемент, использованный для приготовления соответствующих смешанных цементов, если правильно подобраны соотношения размеров частиц золы и клинкера.

С увеличением содержания золы водопотребность цементов возрастает, но в меньшей степени, чем при других пуццолановых добавках. Характерно, что увеличение дисперсности золы не вызывает повышения водопотребности бетонных смесей, а наоборот, оказывает некоторое пластифицирующее действие.

Вследствие сравнительно небольшой гидравлической активности золы применение зольных цементов значительно снижает тепловыделение в бетоне, что является существенным фактором при использовании его в массивных сооружениях. Экспериментально установлено, что зола любого типа повышает сульфатостойкость растворов и бетонов.

Введение в цемент золы уменьшает его усадочные деформации при твердении. Этот эффект тем выше, чем меньше дисперсность золы.

При использовании золы в качестве активной минеральной добавки важное значение имеет ее гранулометрический состав. Предпочтительны золы с повышенной дисперсностью, так как они содержат меньше невыгоревших частиц.

Длительность схватывания цементов с золой удлиняется пропорционально ее содержанию. Дисперсность зол оказывает незначительное влияние на сроки схватывания.

Добавка золы оказывает более существенное положительное влияние на прочность цемента при растяжении, чем при сжатии, что повышает трещиностойкость растворов и бетонов.

### 2.3.5. Золошлаковые вяжущие

Зола и молотые топливные шлаки обладают определенной гидравлической активностью, т. е. они способны при нормальной температуре связывать оксид кальция.

Из шлакозольных вяжущих при нормальных условиях твердеют лишь **известково-зольные вяжущие** при использовании золы-уноса и **известково-шлаковые вяжущие** при использовании гранулированных шлаков. Пропаривание растворов и бетонов на основе шлакозольных вяжущих желательно выполнять при 90–95 °С.

С увеличением дисперсности золошлаковых вяжущих прочность их возрастает. В наибольшей мере повышение удельной поверхности сказывается при использовании высококальциевых стекловидных зол и шлаков. Повышение удельной поверхности от 1800–2000 до 3100–3500 см<sup>2</sup>/г для вяжущих из такого сырья приводит к увеличению их прочности в два раза. При грубом помоле золошлаковые вяжущие выдерживают 15–25 циклов замораживания и оттаивания, с увеличением удельной поверхности их морозостойкость повышается до 75–100 циклов.

Шлаковые и зольные вяжущие оптимальных составов являются достаточно стойкими во времени при нахождении их в различных средах. На повышение стойкости шлакозольных вяжущих положительно влияет увеличение соотношения между содержанием оксида кальция и кислотных оксидов. Положительно сказывается также добавка 10–15 % портландцемента. Усадочные деформации шлакозольных вяжущих относительно близки к соответствующим показателям цемента.

Из бесклинкерных зольных вяжущих наиболее известно известково-зольное – гидравлическое вяжущее, получаемое совместным помолом или тщательным смешением измельченных раздельно золы и извести. В золе содержание негоревшего топлива должно быть минимальным (в каменноугольных золах – не более 10 %, торфяных – 5), содержание  $SO_3$  не должно превышать 3 %, пережженных  $CaO$  и  $MgO$ , вызывающих неравномерность изменения объема вяжущего, – 5 %. Известь применяют обычно гашеную, хотя накоплен опыт применения и негашеной извести. Состав известково-зольных вяжущих зависит от содержания в золе активного оксида кальция и минералов, способных к гидратации. Оптимальное содержание извести в этих вяжущих составляет 10–40 %, уменьшаясь по мере увеличения в золе содержания свободного оксида кальция и активных минералов.

Разновидностями известково-зольного вяжущего являются **ТЭЦ-цемент** и **торфозольный цемент**, получаемые при сжигании каменного угля или торфа, предварительно измельченных вместе с известняком.

По основным строительно-техническим свойствам известково-зольные вяжущие близки к другим известково-пуццолановым вяжущим. В отличие от других пуццолановых вяжущих, известково-зольные имеют меньшую водопотребность и водоудерживающую способность. Основной областью их применения являются кладочные и штукатурные растворы, а также изделия автоклавного твердения. Производство известково-зольных материалов экономически эффективно, так как требует в 2–2,5 раза меньше капитальных вложений, чем цементное и известковое.

### 2.3.6. Золощелочные вяжущие

Для получения золощелочных вяжущих на доступных щелочных компонентах (соде, содовом плаве, жидких стеклах) применяют способы, включающие совместный помол зол или золошлаковых смесей с известью или металлургическими шлаками и портландцементным клинкером. При затворении раствором щелочного компонента эти добавки образуют едкий натр, обеспечивающий гидратацию и твердение золы.

Однако, несмотря на использование готового дисперсного продукта – золы-уноса, для изготовления таких вяжущих необходим помол смеси компонентов, что во многих случаях ограничивает возможности внедрения в производство.

Активность вяжущих на содовом плаве или содосульфатной смеси может быть значительно увеличена путем специальной обработки щелочного затворителя – каустификации. Каустифицированный содовый плав или каустифицированную содосульфатную смесь получают следующим образом: вначале в приготовительном баке-реакторе растворяют содовый плав (или содосульфатную смесь), затем в этот раствор вводят комовую или молотую

негашеную известь при постоянном перемешивании до получения однородной суспензии. Сущность процесса каустификации состоит в получении едкого натра из соды или сульфата натрия и извести в результате соответствующих химических реакций.

Золощелочные вяжущие можно использовать для изготовления тяжелых, легких и ячеистых бетонов. Прочность бетонов возрастает по мере увеличения содержания извести и солей щелочных металлов в вяжущем (до 14 %) и снижения водозольного отношения.

Золощелочные бетоны обладают достаточно высокой стойкостью к различным видам химической коррозии в водной среде. Для устранения высолообразования у изделий, подвергающихся периодическим увлажнениям, поверхность обрабатывают гидрофобными составами.

Рациональная область применения бесклинкерных шлакозольных вяжущих – бетоны, твердеющие при пропаривании и в условиях автоклавной обработки. Из таких бетонов изготавливают стеновые, фундаментные блоки, конструкции для различных элементов зданий и сооружений. Их можно применять также при возведении подземных и подводных сооружений, подвергающихся воздействию пресных и сульфатных вод. Шлакозольные вяжущие, твердеющие при нормальных температурах, можно использовать в растворах для кладки и штукатурки, а также в низкомарочных бетонах. Этот вид вяжущих не рекомендуется применять при пониженной температуре окружающей среды, в конструкциях, подвергающихся высуханию и увлажнению, многократному замерзанию и оттаиванию.

Золошлаковое сырье может применяться для изготовления заполнителей как тяжелых, так и легких бетонов. Пористыми заполнителями для легких бетонов служат: шлаки от сжигания антрацита, каменного и бурого углей, торфа и сланцев; золы, щебень и песок из топливных шлаков, аглопорит на основе золы ТЭС, зольный обжиговый и безобжиговый гравий, глинозольный керамзит.

### 2.3.7. Золошлаковые заполнители

Свойства зол и шлаков зависят от способа сжигания и вида топлива. Оптимальную пористую структуру антрацитовых и каменноугольных шлаков получают при кусковом сжигании, а у шлаков бурого угля – при пылевидном. Недостатком пылевидного сжигания или переработки в газогенераторах антрацита и каменных углей является то, что эти процессы приводят к чрезмерному спеканию и получению в результате этого плотных и тяжелых заполнителей.

По зерновому составу шлак представляет собой механическую смесь зерен крупностью 0,14–30 мм с отдельными включениями более крупных частиц, поэтому ее можно рассматривать как естественную смесь мелкого и крупного заполнителей. В связи с этим шлаки ТЭС целесообразно применять в легких и тяжелых бетонах в качестве основного заполнителя, для частичной замены щебня (20–50 %), а также для улучшения гранулометрического состава песков.

Все топливные шлаки можно классифицировать на основные, кислые и нейтральные. Шлаки каменных углей в основном кислые. Шлаки некоторых бурых углей и сланцев, содержащие до 40 % CaO и повышенное количество оксидов железа, относятся к основным. Наименее кислыми являются антрацитовые шлаки.

Вредными компонентами шлаков, вызывающими при повышенном количестве разрушение бетона, являются сульфаты и сульфиды. Общее содержание сернокислых и сернистых соединений в пересчете на  $SO_3$  в топливных шлаках не должно превышать 3 % массы, в том числе не более 1 % водорастворимых сульфатов и 1 % сульфидов. Недопустимо также присутствие в шлаках ТЭС свободного оксида кальция, гашение которого в затвердевшем бетоне может послужить причиной его разрушения.

Так же, как и металлургические, шлаки ТЭС должны быть устойчивы против силикатного и железистого распада. Стойкость против силикатного распада определяют пропариванием и автоклавной обработкой пористого щебня, а железистого – 30-дневным выдерживанием в дистиллированной воде. Потеря массы испытываемых проб не должна превышать 5 %. Для предотвращения распада топливные шлаки рекомендуется применять после длительного (3–6 месяцев) вылеживания в отвалах, в результате чего в них гасится свободный оксид кальция, частично выщелачиваются растворимые соли и окисляются топливные остатки. При применении шлаков в бетонах целесообразно их обогащать, отсеивая мелкие фракции, содержащие наибольшее количество несгоревшего угля и других вредных примесей.

В отличие от щебня из природного камня шлаковый щебень практически не содержит лещадных и игловатых зерен, глинистых и других вредных примесей и используется в качестве заполнителя в бетонах.

Мелкий заполнитель в тяжелых и легких бетонах частично или полностью может быть заменен золой.

На долговечность бетона при использовании зол оказывает влияние, главным образом, состав топливных остатков, стойкость которых к окислению и воздействию влаги зависит в свою очередь от минералогического состава исходного угля.

Свойства бетона в значительной степени зависят от гранулометрического состава заполнителей. Оптимальным для легких бетонов является соотношение 1:1 между крупной (более 0,3 мм) и мелкой (менее 0,08 мм) фракциями золы. Хорошие прочностные показатели бетона достигаются при использовании зол, у которых соотношение между крупной и мелкой фракциями не превышает 1:2,5, а содержание частиц средней фракции составляет 50 %.

Применение в бетонах золы-уноса позволяет заменять как часть песка, так и часть цемента. При выборе возможного содержания золы в бетоне следует учитывать воздействие золы на свойства бетонной смеси.

Более широкое применение находит зола как мелкий заполнитель в производстве керамзитобетонов. Для обеспечения плотной структуры этих материалов в песчаной фракции должно содержаться 40–50 % по массе частиц размером менее 0,15 мм. В связи с дефицитом керамзитового песка многие заводы при изготовлении конструктивно-теплоизо-

ляционных легких бетонов применяют обычный кварцевый песок, что приводит к утяжелению керамзитобетонов до 1400–1600 кг/м<sup>3</sup> и соответственно к снижению термического сопротивления стен. Применение золы в керамзитобетонах улучшает технологические свойства легкобетонных смесей и способствует получению плотной структуры бетона.

Полная замена мелкого заполнителя золой наиболее целесообразна в конструктивно-теплоизоляционных легких бетонах.

### 2.3.8. Гранулированный топливный шлак

Химический состав гранулированных шлаков, полученных из одного и того же топлива, но с применением различных способов, несколько различается. В топках топливо сжигают в условиях избытка воздуха, т. е. в слабо окислительной среде, в результате чего в кусковых шлаках образуются соединения трехвалентного железа.

Гранулированные шлаки от сжигания каменного угля характеризуются практически полным выгоранием органической части и переходом соединений железа в двухвалентное состояние. Буроугольные шлаки содержат повышенное количество глинозема или оксидов кальция при значительно меньшем количестве оксидов железа. Сланцевые шлаки являются высококальциевыми, в них больше сульфатов, чем в шлаках от сжигания каменных или бурых углей.

Гранулированные шлаки устойчивы к силикатному и железистому распаду, не вступают в реакцию с оксидами щелочных металлов в цементе, несмотря на наличие в них значительного количества аморфного SiO<sub>2</sub>.

Структура зерен шлака зависит от условий охлаждения.

Гранулированный топливный шлак характеризуется широким разнообразием формы и рельефа поверхности отдельных гранул. Преобладающей является кубообразная, призматическая и остроугольная форма его зерен.

Важнейшими особенностями гранулированных топливных шлаков как заполнителей бетона являются сравнительно большая прочность шлаковых зерен; отсутствие глинистых, илистых и других вредных примесей, а также игловатых и лещадных зерен.

Морозостойкость стекловидных шлаков довольно высока и допускает изготовление разнообразных бетонов для высокодолговечных строительных конструкций. Шлаки практически не содержат компонентов, которые могут снижать защитные свойства бетона или придавать ему агрессивность по отношению к арматуре.

Замена природных заполнителей топливным гранулированным шлаком снижает расход цемента за счет улучшения гранулометрии смеси заполнителей, а также упрочнения контактной зоны между шлаком и цементным камнем, обеспечивая снижение общих энергетических и трудовых затрат на единицу продукции.

### 2.3.9. Глинозольный керамзит и зольный гравий

Золошлаковые заполнители могут изготавливаться путем обжига со вспучиванием исходного сырья. К таким заполнителям относятся глинозольный керамзит и зольный гравий.

**Глинозольный керамзит** – это продукт вспучивания и спекания во вращающейся печи гранул, сформованных из смеси глин и зол ТЭС, где зола составляет 10–80 % всей массы сырья.

Для производства глинозольного керамзита применяют золу, добываемую в золоотвалах от пылевидного сжигания торфа, бурого и каменных углей, и легкоплавкие глинистые породы.

Производство глинозольного керамзита может осуществляться на действующих керамзитовых предприятиях при различных методах подготовки шихты. С этой целью керамзитовые предприятия необходимо дооборудовать: закрытым складом с отдельным хранением золы и глины; дозирующими устройствами для золы, глины и добавок; механизмами для усреднения двухкомпонентной шихты.

При использовании золы в качестве добавки к глине увеличивается количество органических примесей в сырье и повышается его вспучиваемость. Если запасы вспучиваемого глинистого сырья ограничены, а золоотвалы находятся в непосредственной близости от заводов, то золу ТЭС целесообразно использовать в качестве основного компонента керамзитовой сырьевой смеси. Свойства глинозольного керамзита зависят от вида и соотношения в шихте глинистого и зольного компонентов.

Золы, пригодные для производства глинозольного керамзита, содержат  $\text{SiO}_2$  33–57 % и  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 14–37 %. С увеличением содержания золы и ее удельной поверхности возрастает прочность керамзита и увеличивается его средняя плотность. Дисперсность золы должна составлять не менее 1000  $\text{см}^2/\text{г}$ , содержание угля – не более 10 %,  $\text{CaO}$  – не более 10 %, сернистых и сернокислых соединений – не более 5 %. Максимальная температура плавления золы равна 1380 °С.

Основной особенностью технологии изготовления глинозольного керамзита, помимо добычи и усреднения золы, является более тщательная подготовка сырьевой смеси. С этой целью применяют двухстадийное перемешивание глинистой породы и золы в последовательно установленных агрегатах. Для производства глинозольного керамзита предпочтительны золы из отвалов гидроудаления. Применение сухой золы-уноса не позволяет достичь требуемой гомогенности глинозольной шихты.

**Зольный гравий** получают гранулированием подготовленной золошлаковой смеси или золы-уноса ТЭС с последующим спеканием и вспучиванием во вращающейся печи при температуре 1150–1250 °С.

В исходном сырье содержание  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  должно быть не менее 7 %,  $(\text{CaO} + \text{MgO})$  – не более 8 %. При содержании в сырье более 3 % остатков топлива процесс вспучивания гранул ухудшается.

Технология зольного гравия позволяет получать заполнитель, состоящий в основном из 60 % гранул размером 10–20 мм и около 30 % фракции 20–40 мм.

На основе зольного гравия могут изготавливаться также конструкционные легкие бетоны.

### 2.3.10. Бетоны с добавкой золы-уноса

Бетонные смеси с золами обладают большей связностью, лучшей перекачиваемостью, меньшим водоотделением и расслоением. Бетон имеет при этом большую прочность, плотность, водонепроницаемость, стойкость к некоторым видам коррозии, меньшую теплопроводность.

Наиболее эффективны как активные добавки в бетонах кислые золы, не обладающие вяжущими свойствами; их пуццоланическая активность проявляется во взаимодействии с цементным вяжущим. В зависимости от этой характеристики по отношению к конкретному цементу, водопотребности и удобоукладываемости бетонной смеси, условий и длительности твердения удается существенно сократить расход цемента.

Оптимальное содержание золы составляет для бетонов:

- пропариваемого – около 150 кг/м<sup>3</sup>;
- нормального твердения – 100 кг/м<sup>3</sup>.

В бетонах, подвергаемых тепловой обработке, применение золы дает возможность экономить до 25 % цемента.

В настоящее время все шире применяется зола-унос в производстве сборных железобетонных конструкций. Сухую золу вводят в бетон в количестве до 20–30 % от массы цемента. Однако при чрезмерном содержании золы возможно вспучивание поверхности пропариваемых изделий.

Одной из существенных характеристик золы как активной минеральной добавки в бетон является ее гидравлическая активность.

В зависимости от области применения золу подразделяют на виды: I – для железобетонных конструкций и изделий; II – для бетонных конструкций и изделий; III – для конструкций гидротехнических сооружений. В пределах отдельных видов дополнительно выделяют классы золы для бетонов: А – тяжелого; Б – легкого.

Золу-унос не рекомендуется применять в бетонах, предварительно армированных напряженной термически упрочненной арматурой.

Для применения в бетонах образцы из смеси золы и цемента проверяют кипячением в воде на равномерность изменения объема.

Введение золы-уноса в оптимальном количестве не повышает водопотребность бетонных смесей, что объясняется оплавленностью и относительно правильной формой зерен. При высокой дисперсности золы и незначительном содержании в ней несгоревшего угля удобоукладываемость смеси повышается. Пластифицирующий эффект золы повышается при наличии в бетонной смеси мелкого заполнителя с недостаточным количеством тонких фракций.

Введение золы-уноса способствует снижению водоотделения бетонной смеси. Пластифицирующая и водоудерживающая способность золы обуславливает перспективность ее применения в литых бетонах.

Бетонные смеси с оптимальной добавкой золы имеют достаточно высокую жизнеспособность и пригодны для транспортирования на дальние расстояния.

Для бетонов с добавкой золы характерен сравнительно интенсивный рост прочности в поздние сроки твердения.

Для золосодержащих бетонов значительный эффект дает введение добавок ПАВ. Пластифицирующие ПАВ оказывают дефлокулирующее действие на высокодисперсные золы, склонные к агрегированию.

Зола способствует повышению сульфатостойкости цементных бетонов так же, как и другие активные минеральные добавки.

Снижение расхода цемента при введении в бетонную смесь золы приводит к уменьшению тепловыделения бетона и его разогрева в начальный период.

К отрицательным последствиям введения золы в бетонную смесь можно отнести снижение стойкости к истиранию и кавитации.

Добавка золы в бетон не рекомендуется при производстве работ в осенне-зимний период методом «термоса», так как она замедляет твердение бетона при низких температурах. При строительстве в районах с жарким и сухим климатом уход за бетоном, имеющим в своем составе золу, должен быть более длительным, чем в районах с умеренным климатом.

Как и другие гидравлические добавки, зола-унос снижает морозо- и воздухоустойчивость бетона. Степень снижения морозостойкости бетонов при введении в них зол различна и зависит от их характеристик. К значительному разбросу основных физико-механических свойств бетона, в том числе и морозостойкости, приводит неоднородность состава и свойств золы-уноса.

### 2.3.11. Строительные растворы

Золу применяют в качестве компонента строительных растворов, в котором сочетаются свойства минеральной добавки, пластификатора и микронаполнителя. Зола улучшает пластичность и водоудерживающую способность растворных смесей, свойства затвердевших растворов.

В строительных растворах применяют как сухую золу, так и золу гидроудаления.

Тонкодисперсная зола-унос может применяться взамен части цемента и песка. Крупнодисперсную золу рационально применять вместо части песка без изменения расхода цемента.

При применении золы-уноса в цементных растворах необходимый расход цемента обычно снижается на 30–50 кг/м<sup>3</sup> при одновременном улучшении удобоукладываемости растворной смеси. Перерасход цемента при полной замене песка золой устраняется добавкой небольшого количества известкового теста.

При полной замене песка золой повышаются деформации усадки во времени и деформации при попеременном увлажнении и высушивании. Они в 2–3 раза выше, чем у цементно-песчаных растворов.

Технология приготовления растворов с добавкой золы состоит из дозирования исходных компонентов по массе и перемешивания затем их в растворосмесителях в течение 3–5 мин до получения однородной смеси.

Золу можно использовать и в различных отделочных составах. Например, для шпаклевки внутренних поверхностей на стройках в массовых масштабах применяют так называемую «беспесчанку», представляющую собой гипсовое тесто с замедлителем схватывания. За-

мена золой 30–50 % гипса не только не ухудшает качество этой шпаклевки, но даже несколько сокращает расход замедлителя.

Золу применяют в цементных растворах, служащих для заделки трещин в железобетонных конструкциях, в том числе и массивных.

### 2.3.12. Применение шламов водоочистки для получения строительных растворов

Шлам водоочистки представляет собой продукт, получаемый в результате устранения карбонатной (временной) и некарбонатной жёсткости воды на тепловых электроцентралях и котельных. Карбонатная жёсткость обусловлена присутствием  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  и  $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ , а некарбонатная –  $\text{MgSO}_4$ . Временная жёсткость может быть устранена простым кипячением воды: бикарбонаты при этом разрушаются, и нерастворимые продукты их распада (карбонаты  $\text{Ca}$  и  $\text{Mg}$ ) оседают на стенках сосуда в виде накипи.

При работе парового котла на жёсткой воде его нагреваемая поверхность покрывается накипью. Так как последняя поводит тепло, прежде всего, становится неэкономичной сама работа котла: уже слой накипи толщиной в 1 мм повышает расход топлива приблизительно на 5 %. С другой стороны, изолированные от воды слоем накипи стенки котла могут нагреться до весьма высоких температур. При этом железо постепенно окисляется и стенки теряют прочность, что может привести к взрыву котла. Так как паросиловое хозяйство существует во многих промышленных предприятиях, вопрос о жёсткости воды весьма важен.

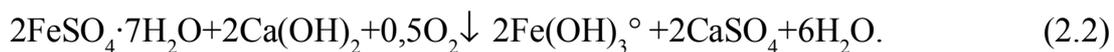
Жёсткая вода непригодна как для проведения технологических процессов в ряде отраслей промышленности из-за усиления коррозии и образования накипи, так и к использованию в бытовых целях (непроизводительный расход мыла, преждевременный износ ткани при стирке).

Указанные причины обуславливают необходимость снятия карбонатной и некарбонатной жесткости воды. Так как очистка воды от растворённых солей при помощи перегонки слишком дорога, в регионах с жёсткой водой для её «умягчения» пользуются химическим методом.

При смягчении воды для удаления вышеуказанных соединений используют известь в виде известкового молока –  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ .

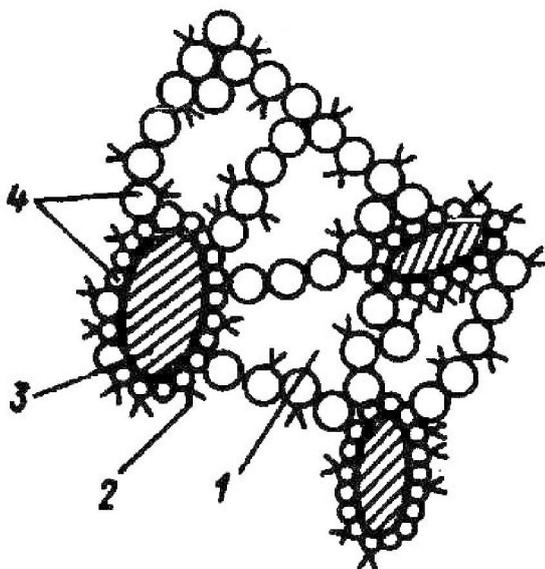
Добавленная к воде известь реагирует, прежде всего, со свободным углекислым газом, образуя выпадающий осадок карбоната кальция. Затем известь реагирует с присутствующим в воде бикарбонатом кальция. При реакции извести с бикарбонатом магния в осадок выпадает гидроксид магния, т. к. карбонат магния растворим в воде. Далее для удаления некарбонатной жесткости известь реагирует с сульфатом магния, в результате реакции образуется нерастворимый гидроксид магния и сульфат кальция. Кроме этого в воде присутствует оксид кремния (частицы песка), также реагирующий с известью с образованием силиката кальция.

Затем вода обрабатывается сульфатом железа  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , которое, являясь коагулянтом, осаждает все взвеси и примеси в виде коллоидной массы. В процессе коагуляции двухвалентное железо окисляется и образует гидроксид железа. Коагуляция с использованием сульфата железа и извести протекает по следующей химической реакции:



Скоагулировавшие частицы гидроксида железа образуют так называемые цепочки на поверхности, которых адсорбируются коллоидные примеси воды (рисунок 2.4). В процессе построения цепочных структур, сочлененных в кольца, образуются поры, заполненные водой. Вследствие этого коагулянт содержит большое количество воды, удерживаемой частицами гидроксида железа. В результате сорбции скоагулировавшимися частицами гидроксида железа коллоидных частиц, примесей воды формируются хлопья. Укрупнившиеся хлопья оседают под действием силы тяжести, увлекая за собой взвешенные частицы.

Проблема утилизации шлама не решена до настоящего времени. На ряде электроцентралей шлам подают в шламонакопители. Такой способ утилизации ведет к постепенному отторжению земель под новые шламонакопители и ухудшению экологической обстановки в регионах. Так, на Новополоцкой ТЭЦ шламы водоочистки (концентрация 10–15 %) сливаются в закрытые шламонакопители.



1 – захваченная вода; 2 – гуминовые вещества;  
3 – глинистые частицы взвеси; 4 – цепочки гидроксида железа

**Рисунок 2.4 – Структура хлопьев в очищаемой воде**

На отдельных тепловых электроцентралях, в том числе на Полоцкой ТЭЦ, вопрос утилизации шлама водоочистки решен в большей степени. Шлам поступает на вакуум-фильтры, на которых под действием сжатого воздуха он обезвоживается и вывозится автосамосвалами на городские свалки.

В таблице 2.1 представлены данные концерн «Белэнерго» по ежегодно образующемуся количеству шлама водоочистки в регионах республики.

Таблица 2.1 – Объемы шлама водоочистки по Республике Беларусь

Название области	Количество образующегося ежегодно шлама, т		
	на ТЭЦ	по областям	всего
Минская	1200	3530	21220
	1700		
Гомельская	1262	2735	
	900		
Гродненская	1182	1382	
Витебская	9566	10206	
Могилевская	950	1724	
Брестская	707	1643	
	816		

Из таблицы 2.1 следует, что практически половина шлама водоочистки образуется на территории Витебской области (10,206 тыс. т). Наиболее крупным производителем шлама является Новополоцкая ТЭЦ – 9,566 тыс. т.

Шлам водоочистки является побочным продуктом тепловых электростанций. В этой связи изучение химических составов шламов тепловых электростанций и их постоянства является особенно важным для дальнейшего широкого применения на территории Республики Беларусь.

Данные химического состава шлама по окислам и соединениям на тепловых электростанциях представлены в таблицах 2.2 и 2.3.

Таблица 2.2 – Химический состав шлама водоочистки тепловых электростанций по окислам

Наименование ТЭЦ	Химический состав шлама в пересчете на окислы, %								Состав потерь при прокаливании, %		
	п.п.п.*	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CuO	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	сумма	C <sub>орг</sub> **	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O
Полоцкая ТЭЦ	41,8	4,5	6,5	0,5	38,5	6,2	1,1	99,1	8,3	28,5	5,0
Новополоцкая ТЭЦ	45,5	3,4	6,7	0	39,7	2,4	0,6	98,4	8,5	30,9	6,1
Лукомльская ТЭЦ	39,6	5,8	6,3	0,4	38,8	5,9	1,3	98,1	5,2	29,5	4,9
Гродненская ТЭЦ-2	38,8	5,3	5,0	0	43,2	3,3	2,9	98,5	4,9	29,8	4,1
Минская ТЭЦ-3	40,4	5,4	5,7	0,5	40,1	5,1	1,5	98,7	6,3	29,6	4,5
Минская ТЭЦ-4	39,8	4,9	5,6	0,4	42,3	4,3	1,7	99,0	5,9	29,2	4,7
Мозырская ТЭЦ	38,4	9,7	4,1	0	40,4	2,6	1,8	99,8	8,9	28,1	3,9

\* – потери при прокаливании;

\*\* – концентрация органических веществ.

В состав шлама (таблица 2.2) входят оксиды железа, кремния, меди, кальция, магния, сульфаты, углекислый газ, вода и органические соединения. Оксид кальция (CaO) составляет 38,5–43,2 %, содержание других оксидов колеблется в следующих пределах: оксид кремния (SiO<sub>2</sub>)

3,4–9,7 %; оксид железа ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) 4,1–6,7 %; оксид меди ( $\text{CuO}$ ) 0,4–0,5 %; оксид магния ( $\text{MgO}$ ) 2,6–6,4 %. Процентное содержание сульфатов ( $\text{SO}_3$ ) изменяется от 0,6 до 2,9 %. Органические соединения присутствуют в количестве 4,9–8,9 %.

Основными соединениями (таблица 2.3), содержащимися в шламе, являются карбонат кальция ( $\text{CaCO}_3$ ) в количестве 62,8 – 68,2 % и карбонат магния ( $3\text{MgCO} \cdot \text{MgOH} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) 5,8–10,6 %. Содержание остальных веществ колеблется в пределах: двуводный гипс ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) от 3 до 9,5 %; гидроксид железа ( $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ) от 4,1 до 6,7 %; оксид кремния ( $\text{SiO}_2$ ) от 0,5 до 4,7 %; силикат кальция ( $\text{CaSiO}_3$ ) от 3,9 до 6,6 %; органических соединений от 4,9 до 8,9 %.

Таблица 2.3 – Химический состав шлама водоочистки тепловых электроцентралей по соединениям

Наименование ТЭЦ	Химический состав шлама в пересчете на соединения, %							
	$\text{SiO}_2$	$\text{Fe}(\text{OH})_3$	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	$\text{CaCO}_3$	$\text{CaSiO}_3$	$3\text{MgCO} \cdot \text{MgOH} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Сорг <sup>*</sup>	сумма
Полоцкая ТЭЦ	0,5	6,5	5,1	65,8	4,3	8,6	8,3	99,1
Новополоцкая ТЭЦ	0,4	7,4	6,4	66,1	4,7	6,0	8,5	99,5
Лукомльская ТЭЦ	0	7,1	2,4	68,2	5,2	10,6	5,2	98,7
Гродненская ТЭЦ-2	0	6,2	9,5	67,1	3,9	7,5	4,9	99,1
Минская ТЭЦ-3	4,9	5,8	3,0	66,5	5,5	7,3	6,3	99,3
Минская ТЭЦ-4	4,7	5,8	3,8	66,1	6,6	6,3	5,9	99,2
Мозырьская ТЭЦ	3,8	6,2	5,4	62,8	6,6	5,8	8,9	99,5

\* – концентрация органических веществ.

Приведенные данные по химическому составу свидетельствуют о наличии в шламе карбоната кальция ( $\text{CaCO}_3$ ) в значительных количествах, что позволяет сделать вывод о возможности применения шламов водоочистки в качестве добавок в строительные растворы.

Введение шлама водоочистки в комплексе с пластификаторами обеспечивает показатели качества растворной смеси и раствора на уровне цементно-известкового состава. Необходимое количество добавки шлама по сравнению с расходом извести меньше, более чем в 2 раза. Независимо от погодных и сезонных условий образования шлама растворы и растворные смеси, содержащие шлам в качестве добавки, имеют стабильные показатели по прочности, подвижности, расслаиваемости и водоудерживающей способности.

### 2.3.13. Силикатный кирпич

На долю силикатного кирпича приходится значительная часть всего объема стеновых материалов. В производстве этого материала золы и шлаки ТЭС используются как компонент вяжущего или заполнителя (рисунок 2.5).

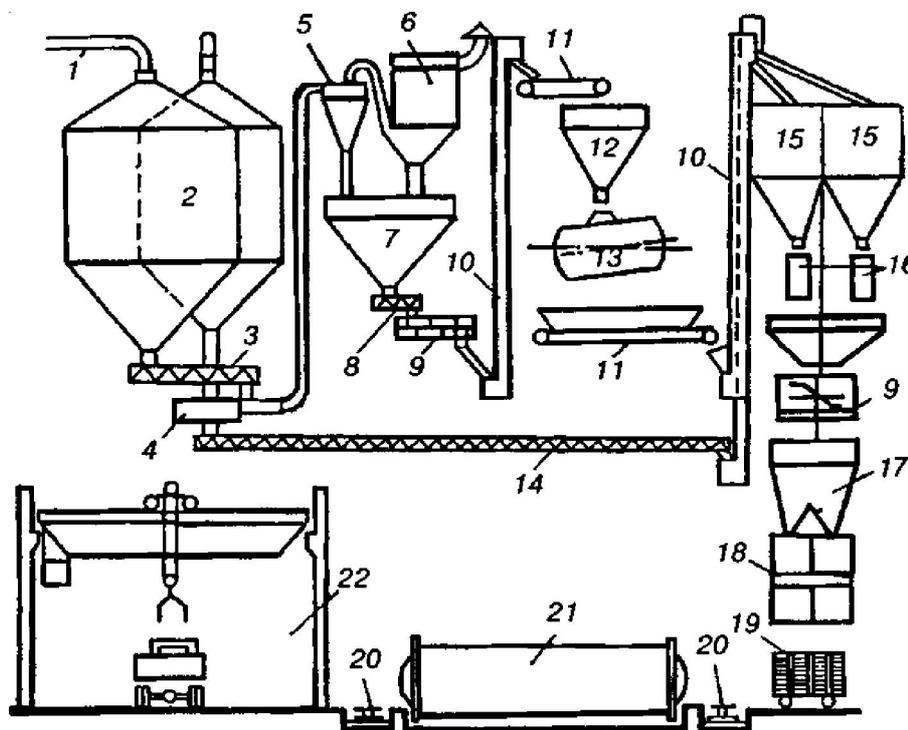
Целесообразно использовать золы и шлаки антрацитовых углей, в которых содержание несгоревшего топлива составляет 15–20 %. Основная масса несгоревшего топлива содержится внутри частичек аморфизованного глинистого вещества, оплавленного снаружи.

Прочность сырца и готового кирпича можно повысить частичной заменой кварцевого песка золошлаковыми отходами, в результате чего улучшается гранулометрический состав смеси. При замене в силикатных смесях 20–30 % кварцевого песка золой прочность сырца повышается на 30–40 %, запаренных образцов – на 60–80 %. Эффективна также частичная замена кварцевого песка дробленым до крупности не более 5 мм топливным шлаком.

При замене золой более 30 % кварцевого песка возможно ухудшение формовочных свойств смеси в результате вовлечения воздуха в дисперсную известково-зольную массу при формовании и расслаивании сырца.

Для формования известково-зольных смесей револьверные прессы, применяемые в производстве силикатного кирпича, заменяют колено-рычажными, используемыми для прессования керамического кирпича и огнеупоров из полусухой массы. Такие прессы создают двухстороннее приложение усилий, что обеспечивает удлиненное время прессования.

Оптимальное содержание золы и шлака в силикатной смеси зависит от зернового состава и способа формования, возрастая с модулем крупности и циклом прессования.



- 1 – пневмоконвейер; 2 – силосный склад; 3 – шнек; 4 – пневмонасос; 5 – циклон;  
 6 – рукавный фильтр; 7 – расходный бункер; 8 – винтовой питатель; 9 – смеситель;  
 10 – элеватор; 11 – конвейер; 12 – бункер-мерник; 13 – реактор; 14 – шнек;  
 15 – бункер для золы и цемента; 16 – дозатор; 17 – бункер прессы; 18 – пресс;  
 19 – запарочная тележка; 20 – передаточная тележка; 21 – автоклав;  
 22 – склад готовой продукции

**Рисунок 2.5 – Схема производства силикатного кирпича из высококальциевых зол**

Силикатный кирпич с добавками зол и топливных шлаков твердеет в автоклавах при давлении насыщенного пара 0,8–1,6 МПа. Рекомендуемая выдержка – 4–8 часов. Получаемый материал по водо- и морозостойкости превосходит обычный силикатный кирпич, имеет меньшие значения водопоглощения и водопроницаемости, лучший товарный вид.

Преимуществом кирпича из золосиликатной смеси оптимального состава является более низкая, чем у обычного, средняя плотность.

#### 2.3.14. Асфальтовые материалы

Асфальтовые материалы характеризуются использованием в качестве вяжущего битумов или дегтей. Видом материала определяется и функциональное назначение золошлаковых добавок. Золошлаковые отходы ТЭС так же, как и природные каменные материалы высокой прочности, служат для изготовления битумо-минеральных смесей, применяемых для создания конструктивных слоев дорог. Из топливных шлаков, обработанных битумами или дегтем (до 2 % по массе), получают **черный щебень**.

Для улучшения сцепления органических вяжущих с золошлаковыми смесями последние предварительно активизируют добавками извести или ПАВ.

Распространено применение зол в качестве наполнителей мастик. Для устройства рулонных кровель, приклеивания синтетических материалов и паркета при устройстве полов, паро- и гидроизоляции используют холодную **битумно-зольную мастику**. Золо также служат наполнителями мастик на основе эмульсионных паст, изола и др.

#### 2.3.15. Материалы с применением отходов добычи и обогащения угля

Отходы добычи и обогащения угля используются в основном в производстве стеновых керамических материалов и пористых заполнителей. По химическому составу они близки к традиционному глинистому сырью. Как вредная примесь в них присутствует сера, содержащаяся в сульфатных и сульфидных соединениях.

В производстве стеновых керамических изделий на базе каолинистых и гидрослюдистых глин, суглинков и глинистых сланцев отходы добычи и обогащения угля применяют как отошающую и выгорающую топливосодержащую добавку. До введения в керамическую шихту кусковые отходы измельчают.

Углесодержащие породы применяют не только как **топливосодержащую** добавку, но и как основной компонент керамической шихты. Установлена возможность производства пустотелого кирпича и керамических камней на основе отходов углеобогащения как пластическим, так и полусухим формованием.

Из всех видов отходов угольной промышленности отходы углеобогащения наиболее стабильны по составу. Они содержат больше глинозема, чем большинство других рядовых глин. Глинистое вещество в них представлено высокоглиноземистыми минералами – каолинитом и гидрослюдами. Содержание углерода в этих породах в несколько раз превышает требуемое для обжига стеновой керамики. После тонкого измельчения отходы углеобогащения по своим свойствам идентичны глинам, малочувствительным к сушке.

Углеродсодержащие породы являются эффективным сырьем для производства пористых заполнителей. Однако значительные колебания по содержанию топлива (5–25 %) и его дисперсное распределение в породе, низкая пластичность и связующая способность, неоднородность химического и минерального составов затрудняют переработку этого вида сырья по существующим технологическим схемам для природных глин без дополнительной корректировки.

Отходы углеобогащения в качестве сырья считаются пригодными для производства аглопорита.

Для обеспечения нормального спекания шихты в отходах добычи и обогащения угля должно содержаться около 10 % топлива (в расчете на условное). В процессе агломерации вредные примеси в исходном сырье, например сера, даже при обеспечении оптимальных условий термообработки переходят в аглопорит в количестве не менее 14–15 % первоначального содержания. На остаточное содержание серы в готовом продукте влияет присутствие в исходном сырье оксидов щелочноземельных металлов, в частности СаО.

Не менее важным фактором, обеспечивающим нормальный ход процесса выгорания топлива в шихте, является газопроницаемость спекаемого слоя, определяемая пластичностью и связующей способностью исходного сырья.

На основе отходов углеобогащения получают в основном аглопоритовый щебень с насыпной плотностью 400–700 кг/м<sup>3</sup> и аглопоритовый песок с насыпной плотностью 800–1000 кг/м<sup>3</sup>.

Отходы угледобычи после удаления из них избыточного количества углерода являются перспективным сырьем для получения керамзита.

## **2.4. Строительные материалы, получаемые из отходов химико-технологических производств**

### 2.4.1. Классификация отходов химико-технологических производств

Большинство химических производств характеризуется выходом значительного количества побочных продуктов. Утилизация их, с одной стороны, способствует существенно повышению эффективности работы химических предприятий и направлена на охрану окружающей среды, а с другой – является одним из путей химизации производства строительных материалов, снижения затрат, интенсификации технологических процессов, расширения ассортимента и повышения качества строительных изделий.

Отходы химико-технологических производств можно классифицировать по следующим отличительным чертам: содержанию характерного химического компонента; технологическому назначению в производстве строительных материалов.

По содержанию характерного химического компонента различают следующие побочные химические продукты: фосфор- и фторсодержащие шлаки, гипсо- и известьсодержащие продукты, железистые, кремнеземистые и другие материалы.

По технологическому назначению в производстве строительных материалов химические продукты делят на такие группы:

- сырьевые материалы (для получения цемента, гипса, извести и др.);
- интенсификаторы технологических процессов (плавни, понизители твердости, разжижители, гранулообразователи и др.);
- добавки-модификаторы свойств материалов (как легирующие присадки, пластификаторы, ускорители твердения и т. д.).

Классификация по технологическому назначению весьма условна, так как один и тот же химический продукт, являющийся отходом производства, в зависимости от конкретной области его применения можно отнести к разным группам.

#### 2.4.2. Отходы химико-технологических производств, применяемые для получения модификаторов бетонных смесей и бетонов

Одним из наиболее перспективных направлений совершенствования технологии монолитного и сборного железобетона является применение при бетонировании высокоподвижных бетонных смесей, которые получают введением добавок пластификаторов. Использование высокоподвижных смесей позволяет снизить энергоемкость и трудоемкость изготовления бетонных и железобетонных изделий. Однако применение высокоэффективных пластифицирующих добавок приводит к повышению стоимости, и потому целесообразно в производстве химических модификаторов применять отходы, образующиеся на ряде химических предприятий.

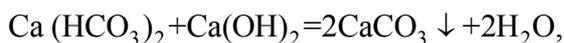
В Полоцком государственном университете под руководством Л. Ф. Калмыкова была разработана пластифицирующая добавка С-НПИ. Сырьем для ее производства служат отходы и побочные продукты Новополоцкого промышленного региона.

Модификатор С-НПИ синтезируется на основе солей сульфокислот, входящих в состав тяжелых жидких продуктов пиролиза жидких углеводородов, которые являются побочными продуктами при производстве этилена на Новополоцком производственном объединении «Полимир».

На производственном объединении «Полимир» сосредоточены мощности по выпуску волокна нитрона, нитрила акриловой кислоты, полиэтилена высокого давления. При выпуске указанной продукции образуется большое количество отходов, причем темпы их роста значительно опережают темпы роста производства основной продукции. Так, при производстве волокна нитрона ежедневно на станцию нейтрализации поступает 220–250 м<sup>3</sup> стоков – рафината. После нейтрализации каустическим магнезитом на песколовках осаждаются примеси кварцевого песка и сернокислого магния. Ежемесячно вывозится 150 т осадка в шламонакопитель. Отработанные стоки направляются на пруды биологической очистки с дополнительным содержанием в составе 5,6 % сернокислого магния. В результате после очистки от органических примесей ежемесячно в реку Западная Двина поступает растворенных неорганических веществ (в пересчете на сухое вещество):

- сернокислых магния и натрия, соответственно, 395 и 557 т;
- роданида – 28 т.

Многотоннажным отходом является также шлам водоочистки Новополоцкой и Полоцкой ТЭЦ. Процесс очистки протекает в два этапа. На первом этапе известковым молоком переводят в нерастворимое состояние соли жесткости:



На втором этапе раствор обрабатывается сернокислым железом, которое, являясь коагулянтom, осаждаёт все взвеси и примеси в виде коллоидной массы. После водоотделения на осветителях и вакуумфильтрах образуются шламы.

Анализ химического состава вторичных продуктов промышленности волокон нитрона (кислые стоки) и шламов водоочистки Новополоцких ТЭЦ показал, что они могут служить основой для получения химической добавки в бетон с полифункциональными свойствами.

По внешнему виду кислые стоки представляют собой прозрачную жидкость с запахом изопропилового эфира и согласно технологическому регламенту имеют следующий состав (в % от массы): сернокислый натрий – 9,2; серная кислота – 6,5; мономеры – 0,8; радонит – 0,4; эфир – 0,3; вода – 82,8.

Разработанный процесс получения добавки С-НПИ состоит из двух стадий: нейтрализация кислых стоков и разделение продуктов реакции.

Нейтрализации подвергается рафинат с установки экстракции производства волокна нитрона. Основными компонентами, определяющими свойства и качество добавки С-НПИ, являются сульфат натрия (ускоритель твердения), сернокислое железо (уплотняющий структуру бетона компонент), акрилонитрильные мономеры и гумоновые кислоты (пластифицирующий компонент).

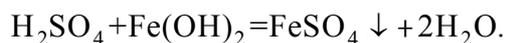
Реакция нейтрализации проходит при температуре 15–20 °С. Сложность проведения реакции заключается в том, что в случае введения большего количества шлама нейтрализация кислоты протекает на уровне известково-магнезиальных соединений и в раствор не переходят соединения железа.

Технология получения добавки состоит из следующих основных этапов:

*Этап 1.* Подготовка шлама водоочистки. В емкость загружается шлам и при перемешивании малыми порциями подается рафинат. Протекает бурная реакция нейтрализации серной кислоты с образованием большого количества пены, параллельно вводится пеногаситель. Процесс продолжается до получения из исходной массы жидкого шлама с определенной вязкостью. Подготовленный шлам перекачивается в расходную емкость.

*Этап 2.* В основную емкость (реактор) заливается рафинат до заданной отметки и порциями тонкой струей при непрерывном перемешивании подается из расходной емкости шлам с добавкой пеногасителя. Процесс контролируется с помощью рН-метра. При получении значения водородного показателя в интервале 4–4,5 реакцию заканчивают. Выбор данного значения обусловлен наличием в растворе сернокислого железа, которое является солью сильной кислоты. При этом за счет порционной подачи в каждом загруженном объеме шлама реакции протекают с переводом в растворимое состояние гумоновых кислот и гидроокиси железа. Основные реакции имеют вид:





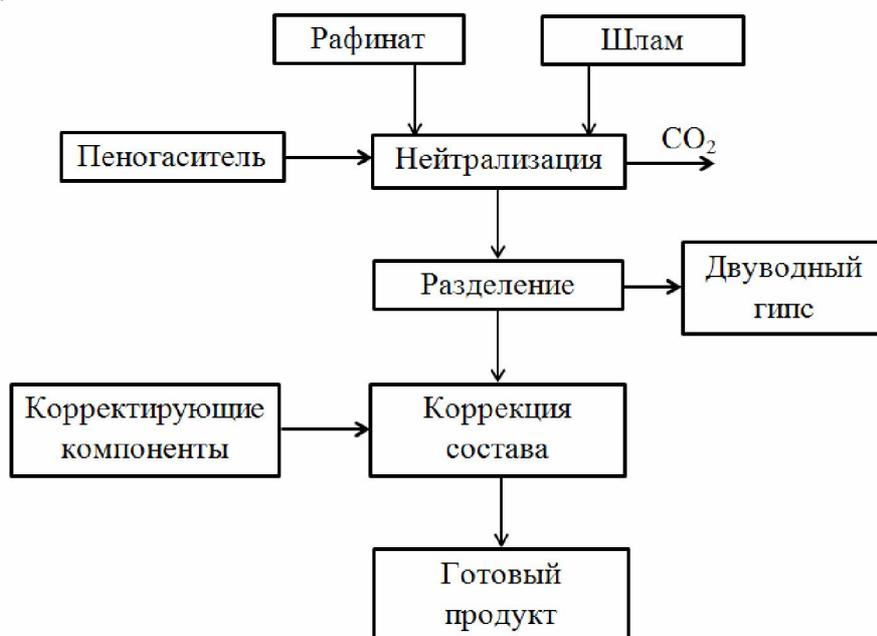
В случае повышения значения pH более 7 сернокислое железо может перейти в нерастворимое соединение:



*Этап 3.* Разделение продуктов реакции на шнековой центрифуге или вакуумфилт্রে. При этом водонерастворимые соединения гипса поступают в накопительную емкость, а отфильтрованный рассол поступает в бак-смеситель.

*Этап 4.* В бак-смеситель подаются корректирующие компоненты, и готовая добавка перекачивается в накопительную емкость.

В общем виде процесс получения добавки С-НПИ можно представить блок-схемой (рисунок 2.6).



**Рисунок 2.6 – Блок-схема процесса получения добавки С-НПИ**

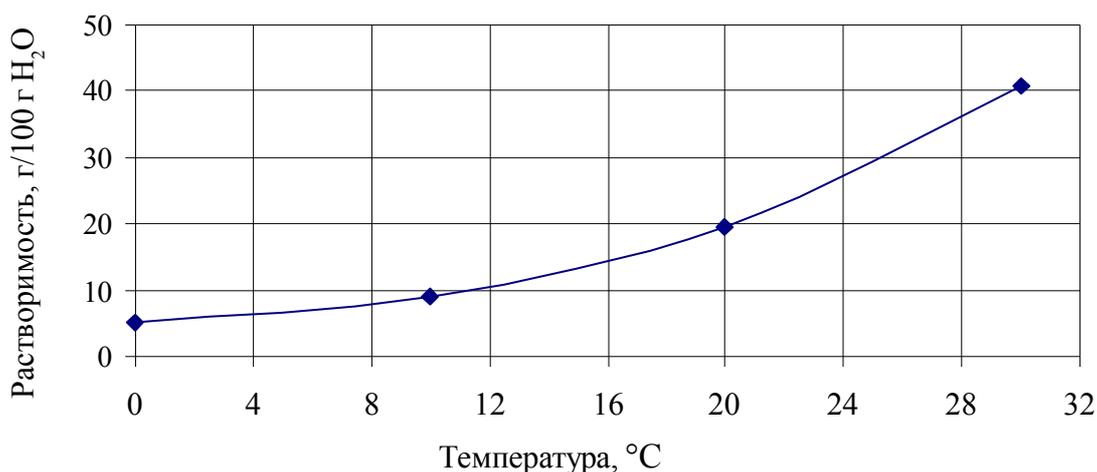
Исследования показали, что добавка С-НПИ является добавкой комплексного действия и может применяться для увеличения подвижности бетонных смесей и для ускорения твердения бетонов. Таким образом применение добавки С-НПИ позволяет получать высокоподвижные бетонные смеси и целенаправленно регулировать физико-механические свойства бетона. Однако получение высокоподвижных бетонных смесей сопровождается явлением расслаиваемости. Основными способами снижения расслаиваемости бетонных смесей являются подбор оптимальной granulometрии смеси заполнителей, обеспечение связности смесей путем введения достаточного количества цемента и снижения водоцементного отношения за счет введения пластифицирующих добавок.

Пластификатор С-НПИ является добавкой комплексного действия, т. е. обеспечивает пластификацию бетонных смесей и ускорение набора прочности бетонами в ранние сроки твердения. Содержание сульфата натрия в С-НПИ составляет около 60 %, что и приводит

к ускорению процессов твердения бетонов. Наличие большого количества сульфата натрия также является фактором, который уменьшает эффект пластификации бетонных смесей. Следовательно, если снизить в составе С-НПИ количество сульфата натрия, то это позволит улучшить ее пластифицирующее действие.

Решение данной проблемы связано, прежде всего, с технологией получения пластификатора на стадии сульфирования путем снижения количества участвующего в процессе сульфированного агента (серной кислоты). Способ получения добавки С-НПИ требует двухкратного количества серной кислоты по отношению к массе обрабатываемого сырья. Это необходимо для того, чтобы в процессе сульфирования уменьшить вязкость реакционной смеси. Уменьшение количества серной кислоты приводит к резкому увеличению вязкости и в этом случае даже в лабораторных условиях и при небольших объемах организовать перемешивание реакционной смеси становится весьма затруднительным. Излишек серной кислоты приводит к образованию сульфата натрия.

В ряде исследований были предприняты поиски путей снижения количества серной кислоты при получении добавок. В 1994 году Е. В. Грибовой была защищена диссертация на соискание степени кандидата технических наук. В ней предлагалось использовать в процессе сульфирования жидкий парафин с целью уменьшения вязкости реакционной смеси и уменьшения расхода серной кислоты. Но при этом образуется нерастворимый осадок, который затем нужно утилизировать. Известно, что сульфат натрия выпадает в осадок (кристаллизуется) при снижении температуры раствора (рисунок 2.7).



**Рисунок 2.7 – Кривая растворимости  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  в воде**

Как видно из рисунка 2.7, чем ниже температура раствора, тем меньшее количество сульфата натрия можно растворить в одном и том же количестве воды. Следовательно, для уменьшения количества сульфата натрия в составе С-НПИ необходимо снизить температуру раствора и отделить выкристаллизованный сульфат натрия. Для этих целей применяют охладительные кристаллизаторы.

На данный момент известно большое число охладительных кристаллизаторов, под которыми понимаются аппараты, где кристаллизация происходит при понижении температуры

раствора при атмосферном давлении. К этому типу относятся аппараты, в которых тепло отводится вследствие теплопередачи через стенки сосуда к воздуху или к охлаждающей жидкости, либо путем естественной конвекции с поверхности раствора. Кристаллизация охлаждением широко применяется для выделения из раствора большинства химических веществ с нормальной кривой растворимости (т. е. веществ, растворимость которых увеличивается с повышением температуры).

*Разделение пластификатора С-НПИ* возможно осуществлять двумя способами. По первому способу кристаллизация выполняется без перемешивания. В этом случае используется бак, изготовленный из коррозионностойкого материала; раствор в баке постепенно охлаждается на воздухе. Этот метод используется до сих пор в многотоннажных производствах для получения крупнокристаллического продукта, пользующегося традиционным спросом на некоторых рынках. Кроме того, он является удобным и дешевым способом получения веществ. Однако при применении этого метода кристаллизации готовый продукт необходимо выгружать вручную, разбивая полученные куски для получения кристаллической массы в таком виде, в котором ее можно просеять на различные фракции готового продукта. В этих аппаратах размер получаемых кристаллов не регулируется; затраты рабочей силы и производственной площади в пересчете на стоимость 1 кг готового продукта весьма высоки. Описанный статический метод кристаллизации наиболее экономичен для установок небольшой производительности, поскольку он позволяет использовать любую емкость, обладающую необходимой коррозионной стойкостью.

Второй способ предусматривает кристаллизацию с перемешиванием. Этот способ позволяет увеличить производительность установки за счет перемешивания раствора. Аппарат в этом случае представляет собой слегка наклонный вращающийся цилиндр, через который противотоком пропускают кристаллизуемый раствор и охлаждающий воздух. При вращении трубы раствор распределяется по ее внутренней поверхности в виде тонкой пленки; благодаря наклону трубы он перемещается по спирали от одного конца аппарата к другому. При прохождении по трубе раствор кристаллизуется; полученные кристаллы в виде суспензии отводятся из кристаллизатора для отделения от маточного раствора. Эксплуатационные расходы в этих аппаратах выше, чем в простых баках с охлаждением, но они компенсируются более высокой производительностью и лучшим качеством готового продукта.

Для уменьшения количества сульфата натрия в составе добавки С-НПИ на Новополюцком заводе БВК добавка охлаждалась примерно до 10 °С. В результате С-НПИ была разделена на пластифицирующую составляющую, которая получила условное название СПБ, и составляющую, ускоряющую твердение бетона, названную УТБ.

В составе добавки УТБ на долю сульфата натрия приходится до 90 %. Добавка УТБ позволяет ускорять набор прочности цементного камня в возрасте 3 суток до 50; 74 и 76 %, соответственно, при вводе 1; 1,5 и 2 % добавки. Область оптимального расхода добавки, обеспечивающего основной прирост прочности, соответствует дозировке 1,5 %.

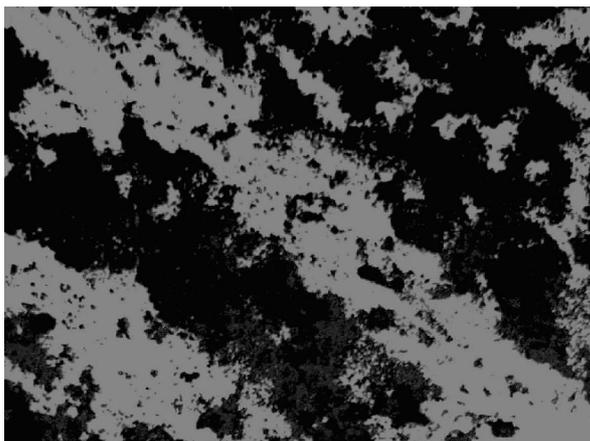
Формирование структуры цементного камня с добавкой УТБ определяется влиянием на протекающие процессы сульфата натрия. На начальном этапе введение сульфата натрия в це-

ментные системы приводит к дезагрегации цементных флоккул и интенсификации гидролиза цемента с образованием в системе уплотняющих ее фаз. В результате удаляется воздух, заземленный в межзерновом пространстве агрегированных частиц цемента, более равномерно распределяется жидкость в объеме смеси, повышается темп гидратации клинкерных минералов цемента. При этом ускоряется ионообмен, сопровождающийся образованием увеличивающихся в объеме труднорастворимых соединений, что вызывает дополнительное уплотнение цементного геля. На этой основе образуется более прочная кристаллогидратная структура цементного камня. Экспериментальные данные позволили отнести добавку УТБ к добавкам – ускорителям твердения бетона.

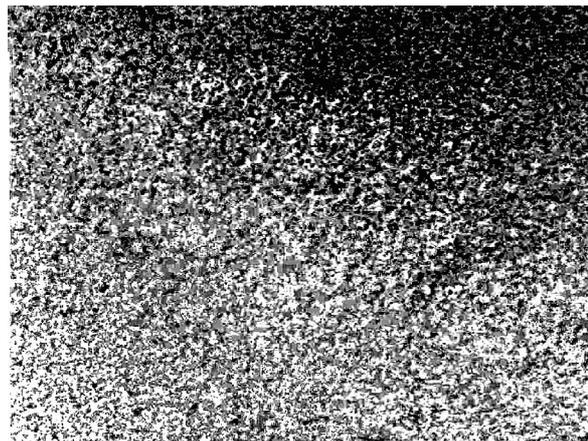
Содержание сульфата натрия в добавке СПБ составляет около 11 %. Добавка СПБ относится к суперпластификаторам, адсорбционно взаимодействующим с поверхностью цементов.

Микроскопический анализ цементно-водной суспензии позволяет сделать вывод о том, что введение суперпластификатора СПБ приводит к диспергированию крупных частиц (флоккул), в результате чего освобождается иммобилизованная вода и происходит увеличение подвижности цементного теста (рисунок 2.8). При совместном вводе добавки в количестве 0,6 % не обеспечивается полная пептизация – видны не до конца дефлокулированные, а также агрегированные частицы цемента. Максимальная подвижность, а следовательно, полная пептизация при совместном вводе наступает при использовании добавки СПБ в количестве 0,9–1,0 %.

а)



б)



а – без добавки; б – 0,6 % добавки СПБ

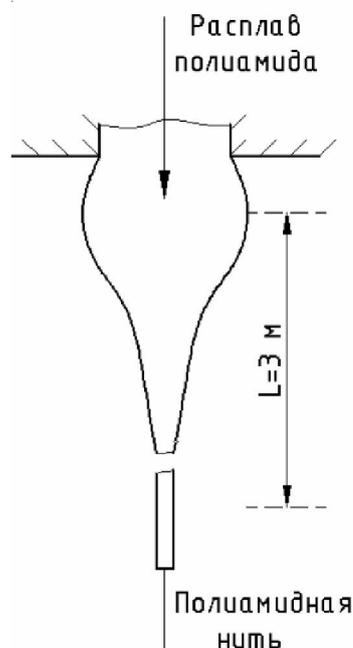
**Рисунок 2.8 – Микрофотографии цементно-водной суспензии при стократном увеличении**

В Гродненском регионе сосредоточено большое количество химических предприятий. В связи с этим часто возникает необходимость решать проблемы, связанные с утилизацией вторичных продуктов, образующихся при производстве основных видов продукции. Одним из вторичных материалов ОАО «Гродно Химволокно» является отработанный нитрит натрия, который образуется при обжиге и очистке фильер. Фильеры используются для формирования синтетических волокон.

Волокна являются разновидностью синтетических гетероцепных волокон (содержат в цепи макромолекулы кроме атомов углерода амидные группы (-NHCO-)) и формируются из линейных полимеров.

Процесс формирования волокон заключается в продавливании прядильного раствора (расплава) через мелкие отверстия фильеры (диаметр отверстий 0,25 мм). Фильеры (рисунок 2.9), используемые на ОАО «Гродно Химволокно», представляют собой короткие капилляры. Выходящие из отверстий фильеры струйки расплава полимера застывают в виде элементарных нитей, где они соединяются в пучок, образуя комплексную нить, которая поступает к приемно-намоточной части машины.

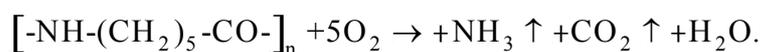
Выходящие из прядильной шахты нити касаются увлажняющих и замасливающих устройств (шайб) и, проходя через два прядильных диска, поступают на приемную бобину. Далее на нить наносится замасливатель в виде водной эмульсии. Эта операция необходима для облегчения процесса вытягивания и для снижения трения нити о детали машин при операциях вытяжки и крутки. Температура формирования нити обычно соответствует температуре плавильной решетки и изменяется в пределах 265–290 °С.



**Рисунок 2.9 – Схема формирования волокна из расплава**

При производстве волокон время от времени необходимо производить очистку фильер, которые в процессе производства забиваются полиамидными смолами. Вследствие чего качество волокна резко падает.

При очистке фильер от остатков смолы используется расплав нитрита натрия ( $\text{NaNO}_2$ ), который подогревается до температуры 400 °С. Полиамид при нагревании в присутствии кислорода разлагается до конечных продуктов: вода, двуокись углерода и аммиак. Термическое разложение проходит в соответствии со следующим уравнением:



Нагревание фильер с остатками смолы в нитритной ванне при температуре 400 °С в течение 10–12 часов обеспечивает полное сгорание смолы не только на поверхности, но и внутри капиллярных отверстий фильер. Расплав нитрита натрия используется многократно, до тех пор, пока эффективно очищает капилляры фильер, в среднем в течение месяца. После этого отработанный нитрит натрия охлаждают, дробят на куски и отправляют на склад для хранения.

Нитрит натрия при температуре 400 °С разлагается с выделением окислов азота, а оставшийся ион натрия  $\text{Na}^+$  нейтрализуется двуокисью углерода  $\text{CO}_2$ , который с парами воды присутствует в воздухе, образуя нестойкую и слабую угольную кислоту  $\text{H}_2\text{CO}_3$ . Химические процессы, происходящие при этом, описываются следующим уравнением реакции:

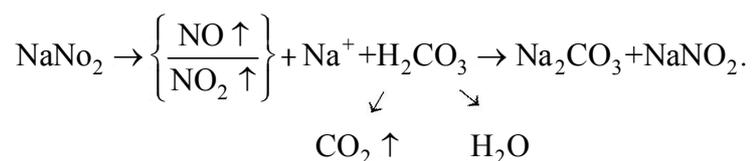
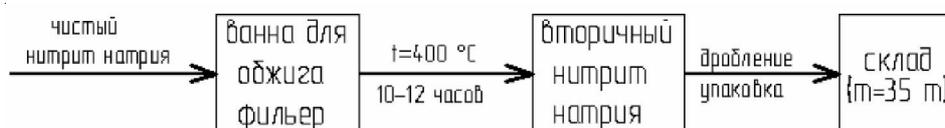


Схема получения вторичного нитрита натрия представлена на рисунке 2.10.



**Рисунок 2.10 – Схема получения вторичного нитрита натрия**

Полученный в соответствии со схемой (рисунок 2.10) вторичный нитрит натрия – конгломерат серо-белого цвета (рисунок 2.11) с вкраплением частичек сажи (продукт неполного сгорания полиамидного расплава в условиях недостаточности кислорода).



**Рисунок 2.11 – Вторичный нитрит натрия**

Химический состав вторичного нитрита натрия представлен в таблице 2.4.

Таблица 2.4 – Химический состав вторичного нитрита натрия

Наименование компонентов	Величина показателя (%)
Нитрит натрия ( $\text{NaNO}_2$ )	24,9
Карбонат натрия десятиводный ( $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ )	69,6
Сажа	1
Капиллярная влага	4,5

Вторичный нитрит натрия, полученный по технологии, описанной выше, возможно использовать в качестве противогололёдного реагента, а также применять для ускорения твердения цементных изделий. При твердении в нормальных условиях наличие вторичного нитрита натрия приводит к увеличению прочности строительных растворов на 24–38 %.

#### 2.4.3. Применение отходов производства волокон для создания фиброармированных цементных материалов

Основным конструкционным материалом является бетон (железобетон). Это объясняется тем, что материал обладает рядом достоинств, которые ещё долгое время позволят ему оставаться на лидирующих позициях.

Во время своей эксплуатации бетонные конструкции подвергаются воздействию окружающей среды и других неблагоприятных факторов. Это со временем приводит к разрушению материала. Одним из возможных путей повышения долговечности железобетонных конструкций является применение для строительства и производства ремонтных работ фибробетонов.

Фибробетон – разновидность цементного бетона, в котором достаточно равномерно распределены обрезки «фибры» или фиброволокна. Известно, что фибробетоны обладают значительными преимуществами перед обычным железобетоном: повышенная прочность при сжатии, растяжении, изгибе, ударе и усталости; увеличенная водонепроницаемость и морозостойкость; уменьшенное количество микротрещин и внутренних напряжений; улучшенная способность восприятия знакопеременных нагрузок; препятствие расслаиванию бетонной смеси; сокращение риска повреждения и разрушения при извлечении из формы.

В настоящее время известно большое количество материалов, применяемых для фиброармирования бетонов. Но несмотря на это и на то, что эти бетоны обладают рядом преимуществ по сравнению с обычными, применяют фибробетоны в Республике Беларусь относительно редко. Часто это вызвано тем, что введение волокон в состав бетона, даже в небольших количествах, значительно удорожает железобетонное изделие. Исходя из вышесказанного, необходимо осуществить поиск относительно дешевых ресурсов для изготовления фиброармированных конструкций.

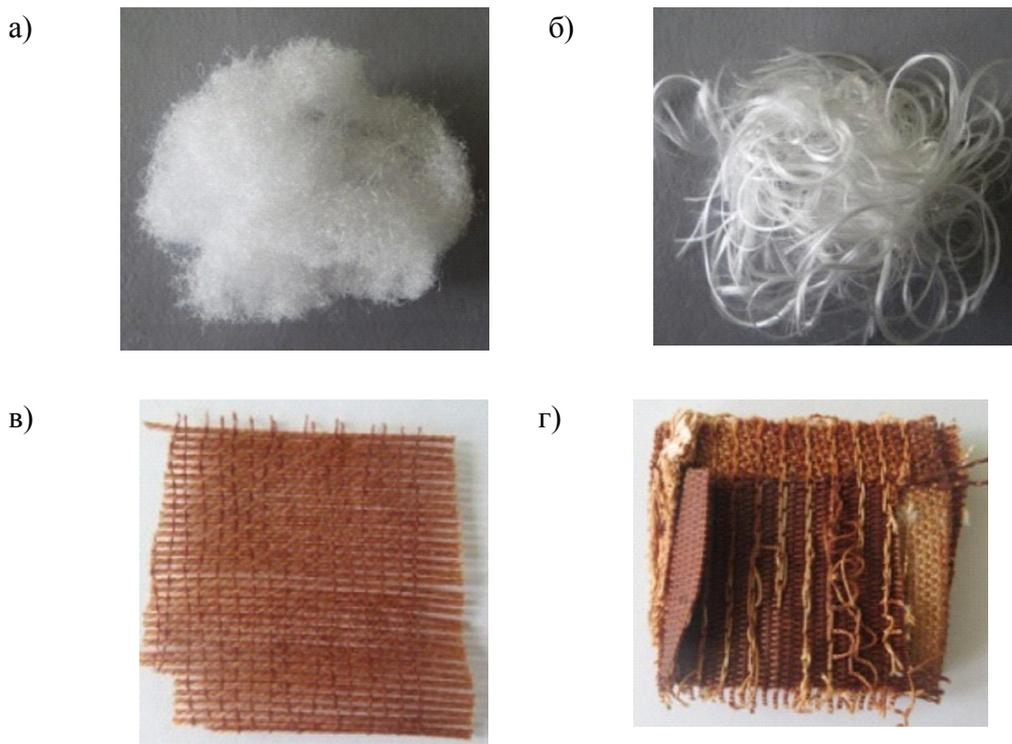
Важнейший резерв ресурсосбережения в строительстве – широкое использование вторичных материальных ресурсов, которыми являются отходы производства и потребления.

Одним из возможных направлений использования вторичных продуктов в технологии изготовления товарных бетонов на заводах железобетонных изделий г. Гродно является применение вторичных продуктов, образующихся на химических предприятиях Гродненского региона.

Химическая промышленность в Гродненской области представлена таким предприятием, как ПТК «Химволокно» ОАО «Гродно Азот». Этот промышленный комплекс является крупным производителем полиамидных и полиэфирных нитей и волокон, а также полиамида-6 (ПА-6) и композиционных материалов на его основе.

При производстве указанной выше продукции образуется значительный объем отходов производства, которые возможно использовать для создания эффективных фиброармированных цементных материалов.

Основные отходы, которые возможно использовать в качестве фибр, представлены на рисунке 2.12.



а – отходы нити полиамидной (жгуты); б – отходы нити полиэфирной;  
в – обрезки ткани кордной полиэфирной; г – обрезки ткани кордной полиэфирной в стыках

### Рисунок 2.12 – Фиброматериалы

Выполненные исследования показали, что наилучшие показатели возможны при фиброармировании цементных систем нитями полиамидными (жгутами) и обрезками ткани кордной полиэфирной пропитанной.

Оптимальные параметрами фибры из обрезков ткани кордной полиэфирной пропитанной: количество – 0,3 % от массы цемента; длина – 1,8–2,1 см.

Оптимальные параметры фибры из нитей полиамидных (жгуты): количество – 0,3 % от массы цемента; длина – 1,8–2,3 см.

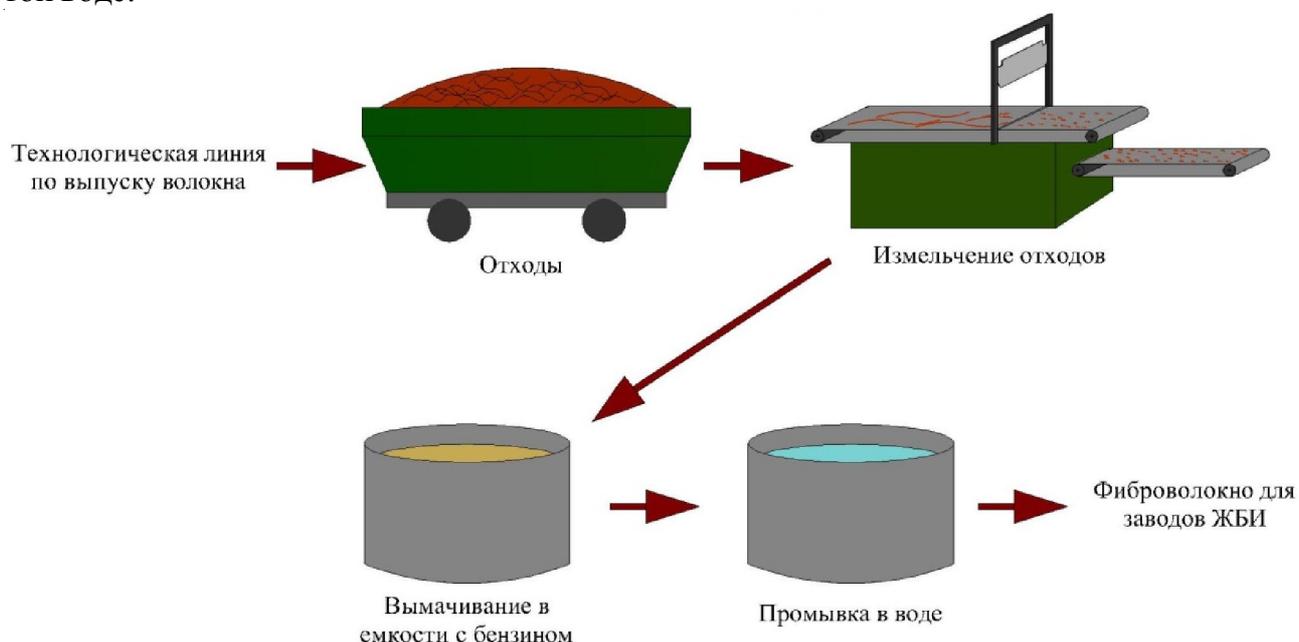
Однако при использовании нитей полиамидных (жгутов) в состав систем нужно дополнительно вводить пластифицирующие добавки для повышения прочности на сжатие образцов.

Введение в цементные системы отходов нитей и тканей не оказывает существенного влияния на величину водопоглощения цементных образцов, но приводит к существенному повышению износостойкости материалов.

Создание эффективных фиброматериалов на основе отходов волокон и тканей, образующихся на ПТК «Химволокно» ОАО «Гродно Азот» осуществляется следующим образом (рисунки 2.13 и 2.14).

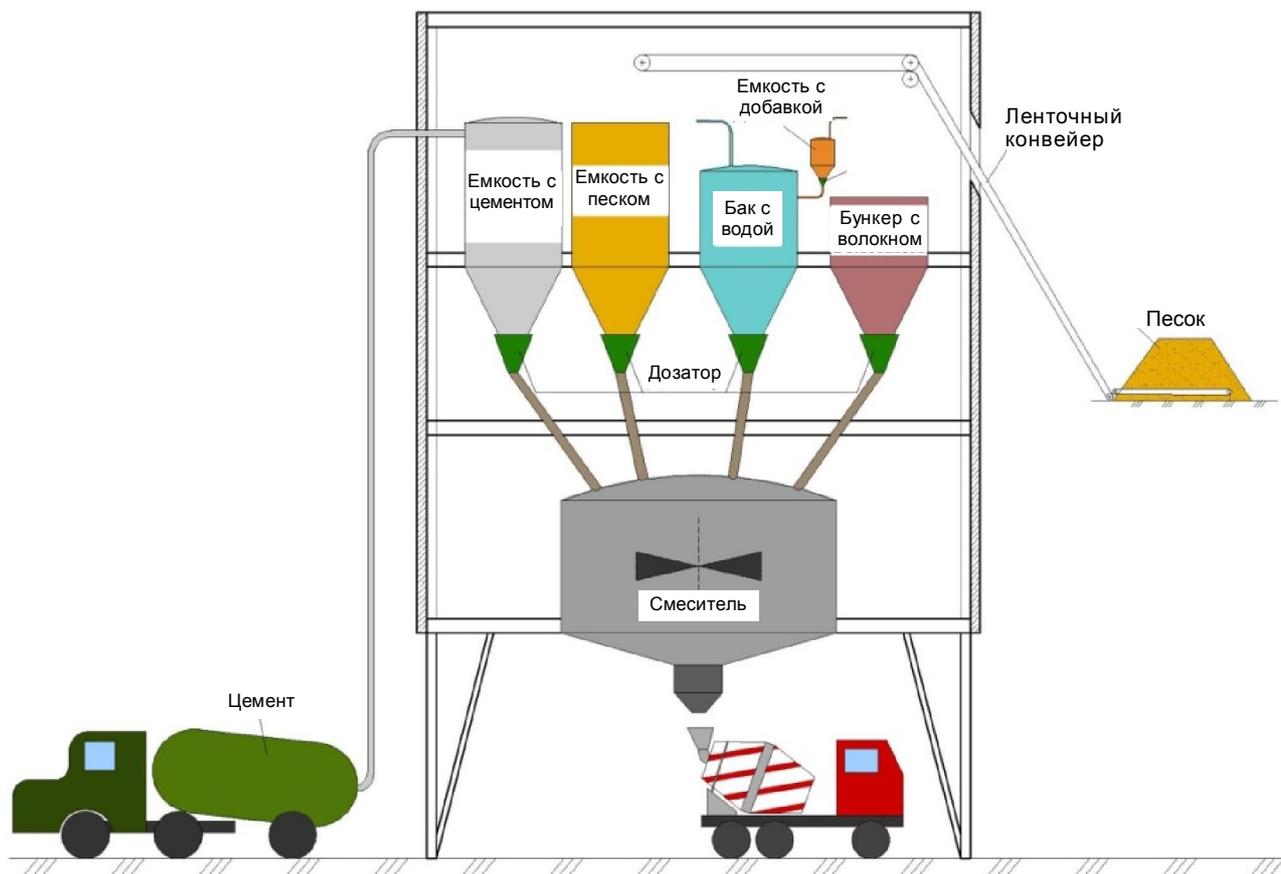
*1 этап – подготовительный.* На этом этапе осуществляется сбор образовавшихся на предприятии отходов и их нарезка на волокна нужной длины. Причем оптимальным размером волокон считается их длина в пределах от 1,5 до 2,5 см.

*2 этап – манипуляции по улучшению сцепления фибр с цементным камнем.* Подготовленные соответствующим образом отходы подвергаются промывке в бензине с целью снятия с поверхности волокон минерального замасливателя. Волокна опускают в емкость с бензином, выдерживают несколько минут, а далее промывают в проточной чистой воде.



**Рисунок 2.13 – Схема подготовки фибры к использованию**

*3 этап – приготовление цементных фиброматериалов.* Работы по приготовлению цементного теста возможно осуществлять на стандартных бетонно-сырьевых узлах заводов по изготовлению бетонных и железобетонных изделий. В накопительные емкости подаются заполнители, вяжущие, фиброматериалы, добавки и вода. Затем эти компоненты, проходя через весовые дозаторы, поступают в смеситель, тщательно перемешиваются и выгружаются в автомобильный транспорт либо перемещаются в формовочный цех.



**Рисунок 2.14 – Технологическая схема подачи, дозирования и перемешивания компонентов смеси**

## 2.5. Строительные материалы, получаемые из отходов переработки древесины и другого растительного сырья

### 2.5.1. Отходы переработки древесины

Заготовка и переработка древесины сопровождается огромными потерями. До 50 % всей перерабатываемой древесины составляют побочные продукты в виде отходов, большая часть которых сжигается или вывозится в отвал. Использование отходов заготовки и переработки древесины является важнейшим источником удовлетворения потребностей строительства в эффективных строительных материалах.

**Отходы древесины** образуются на всех стадиях ее заготовки и переработки. К ним относятся: ветви, сучья, вершины, опилки, пни, корни, кора и хворост.

При переработке древесины на пиломатериалы образуются отходы в виде горбыля, опилок, срезок и мелочи. При изготовлении из пиломатериалов строительных деталей и других изделий получают отходы в виде стружки, опилок и отдельных кусков древесины.

Отходы, образующиеся в процессе обработки древесины, классифицируют в зависимости от их вида на три группы: твердые (или кусковые), мягкие (опилки, стружка) и кора.

Отходы классифицируют также в зависимости от последовательности получения: образуемые при заготовке леса; использовании древесины в круглом виде; первичной и вторичной обработке и переработке древесного сырья.

Для производства строительных материалов и изделий в основном используют опилки, стружку и кусковые отходы. Последние применяют как непосредственно для изготовления клееных строительных изделий, так и перерабатывая их на техническую щепу, а затем на стружку, волокнистую массу и т. д.

**Опилки** – один из наиболее массовых отходов лесопиления и деревообработки. Частично опилки используют как выгорающую добавку при производстве кирпича или как наполнитель в гипсоопилочных плитах, но значительная их часть сжигается или сбрасывается в отвал. Фракционный состав опилок зависит от способа получения и составляет 10–0,2 мм. Частицы крупностью менее 0,2 мм составляют **древесную муку**.

**Технологическая щепка** – продукт первичного измельчения кусковых отходов и неделовой древесины, предназначенный для последующей переработки на стружку или волокнистую массу. Требования к щепе определяются ее назначением. Обычно нормируются размеры щепы, содержание в ней гнили, коры и минеральных примесей.

**Стружка** может быть получена непосредственно из отходов лесопиления. Сырье перед переработкой на стружку подвергается специальной подготовке, заключающейся в сортировке по породам, гидротермической обработке, окорке, разделке, удалению гнили.

**Волокнистую массу** для изготовления древесно-волоконистых плит получают механическими, термохимическими и химико-механическими способами.

Механический размол основан на истирании древесины в специальных машинах. Для облегчения размола и увеличения выхода волокнистой массы в смесь добавляют большое количество воды.

Особенностью термомеханического размола является предварительная обработка волокнистой массы паром при давлении 0,8–1 МПа.

Химико-механические способы основаны на различной растворимости отдельных химических веществ, составляющих древесину, в слабых растворах щелочей. Эти способы состоят из двух процессов: химической обработки щепы и механического размола.

В производстве строительных материалов применяют отходы как хвойных, так и лиственных пород. При этом для производства большинства материалов хвойные породы предпочтительнее, так как они содержат меньше водорастворимых экстрактивных веществ, а также различных сахаров, дубильных и смолянистых веществ, отрицательно влияющих на процессы твердения цементов. В древесине хвойных пород велико содержание длинных и прочных волокон, что позволяет получать из нее высококачественную волокнистую массу.

Для уменьшения количества экстрагируемых веществ в древесных отходах содержание примесей коры должно быть минимальным, полезно также вылеживание древесины после рубки на складах в течение 4–6 мес. «Цементные яды», содержащиеся в древесине, обезвреживаются ее минерализацией, т. е. пропиткой растворами солей, такими как хлорид кальция, серноокислый глинозем, растворимое стекло и др.

## 2.5.2. Отходы растительного происхождения

**Костра** – отход первичной переработки стеблей конопли и льна после пропускания их через мяльные машины, отделяющие пеньку от измельченной одревесневшей части стебля.

Костра практически не содержит водорастворимых **сахаров**, так как они выщелачиваются при предварительном вымачивании лубяных культур на пенькообрабатывающих предприятиях. Поэтому костру перед смешиванием с цементом, в отличие от древесного заполнителя, предварительно не замачивают в проточной воде или растворе солей.

Дробленые **стебли хлопчатника (гуза-пай)** остаются после уборки хлопка. В стеблях хлопчатника так же, как и в древесине, присутствуют водорастворимые вещества, состав которых представляет собой сложный комплекс органических соединений. При вылеживании стеблей хлопчатника в результате биологического и климатического воздействия содержание в них водорастворимых веществ уменьшается.

Содержание очесов, пакли и других комковатых включений в костре льна, конопли и дробленых стеблях хлопчатника не должно превышать 4 % по массе.

В качестве заполнителей композиционных строительных материалов, кроме рассмотренных выше отходов, могут быть использованы: рисовая солома, рисовая и подсолнечная лузга.

Древесные отходы без предварительной переработки (опилки, стружка) или после измельчения (щепа, дробленка, древесная шерсть) могут служить заполнителями в строительных материалах на основе минеральных вяжущих. Эти материалы характеризуются невысокой средней плотностью и теплопроводностью, а также хорошей обрабатываемостью. Пропиткой древесных заполнителей минерализаторами и последующим смешиванием их с минеральными вяжущими обеспечивается биостойкость и трудносгораемость материалов на их основе. Недостатками материалов на древесных заполнителях являются высокое водопоглощение и сравнительно низкая водостойкость.

По назначению эти материалы делятся на теплоизоляционные, конструкционно-теплоизоляционные и конструкционные.

## 2.5.3. Древесные материалы, получаемые с применением отходов

В композиции с древесными заполнителями могут применяться все виды минеральных вяжущих, основным среди которых является портландцемент.

Наряду с древесными заполнителями для производства материалов с применением минеральных вяжущих могут применяться и другие целлюлозосодержащие заполнители.

При применении древесных и других растительных заполнителей эффективно применение быстротвердеющего портландцемента с преобладанием алита как основного минерала цементного клинкера.

Использование быстротвердеющих цементов позволяет получить достаточную прочность материалов до начала активного выделения вредных веществ древесины. Наряду с применением высокоалитовых цементов имеется положительный опыт использования быстросхватывающихся белитошламовых цементов, не содержащих алита. Основным ком-

понентом этих вяжущих является белит, который в меньшей степени подвержен действию экстрактивных веществ, содержащихся в заполнителе растительного происхождения. Это вяжущее получают путем совместного помола обожженного белого шлама (отход металлургического производства) и гипса.

В отличие от цемента высокопрочный гипс обеспечивает более быстрое твердение, а также получение материалов с меньшей плотностью и большей прочностью при одинаковом расходе вяжущего. Производство древеснонаполненных материалов на основе высокопрочного гипса значительно проще, чем на основе цемента. В связи с тем, что высокопрочный гипс при взаимодействии с водой образует нейтральную среду, которая в отличие от щелочной не вызывает выделения из древесины сахаров, отрицательно влияющих на твердение цемента, нет необходимости минерализовать древесный заполнитель.

К числу лучших вяжущих для строительных изделий на заполнителях растительного происхождения относятся магниевые вяжущие (каустический магнезит и каустический доломит), затворяемые водными растворами хлористого магния и некоторых других солей. Производство этих вяжущих, однако, весьма ограничено, в основном в связи с дефицитом солевых затворителей.

Главными представителями группы материалов на древесных заполнителях и минеральных вяжущих являются арболит, фибролит и опилкобетоны.

#### 2.5.4. Арболит и цементно-стружечные материалы

**Арболит** – это легкий бетон на заполнителях растительного происхождения, предварительно обработанных раствором минерализатора. Он применяется в промышленном, гражданском и сельскохозяйственном строительстве в виде панелей и блоков для возведения стен и перегородок, плит перекрытий и покрытий зданий, теплоизоляционных и звукоизоляционных плит. Арболитовые конструкции эксплуатируют при относительной влажности воздуха помещений не более 60 %, при большей влажности необходимо устройство пароизоляционного слоя.

Не допускаются воздействия на арболит агрессивных сред и систематические воздействия температур свыше 50 °С и ниже –40 °С.

Наружная поверхность конструкций из арболита, соприкасающаяся с атмосферной влагой, независимо от влажностного режима эксплуатации должна иметь отделочный (фактурный) слой.

В зависимости от средней плотности в высушенном до постоянной массы состоянии арболит подразделяется на теплоизоляционный (со средней плотностью до 500 кг/м<sup>3</sup>) и конструкционный (500–850 кг/м<sup>3</sup>).

Теплопроводность арболита зависит от средней плотности и вида заполнителя. Для арболита на измельченной древесине со средней плотностью 400–850 кг/м<sup>3</sup> теплопроводность составляет 0,08–0,17 Вт/(м · °С), на измельченных стеблях хлопчатника и рисовой соломы, костре льна и конопли – 0,07–0,12 Вт/(м · °С).

Сравнительно невысокие прочностные характеристики арболита объясняются химической активностью заполнителя и его подверженностью значительным влажностным объемным деформациям. Химическую активность заполнителя предопределяет количество сахаров, содержащихся в экстрактивных веществах.

Уменьшить химическую и физическую активность заполнителя можно введением химических и минеральных добавок, что способствует повышению его прочностных характеристик.

Арболит имеет достаточно большое значение водопоглощения. Однако преимуществом этого материала является легкая отдача поглощенной воды, т. е. быстрое высыхание. Морозостойкость арболитовых изделий назначается в зависимости от режима их эксплуатации и климатических условий района строительства; во всех случаях она принимается не менее F25.

Для изготовления заполнителей из древесины исходный продукт для снижения количества вредных экстрактивных веществ определенное время выдерживают на складах (хвойные породы – не менее 2 месяцев, лиственные – 6 месяцев). При положительной температуре выдержка сокращается до 1 месяца при условии дальнейшего измельчения древесины в щепу. Дробленку хвойных и особенно лиственных пород обязательно замачивают в воде или в растворах минеральных солей. Последние, нейтрализуя действие вредных веществ в древесине, одновременно ускоряют твердение цемента.

Наряду с неармированными изделиями из арболита изготавливают изделия, армированные стальной арматурой.

Арболит имеет лучшие теплотехнические характеристики, чем керамзитобетон, что позволяет возводить стены меньшей толщины. В некоторых сооружениях замена традиционных материалов арболитом позволяет снизить массу здания в 1,3–1,5 раза.

**Фибролит** в качестве заполнителя и одновременно армирующего компонента включает древесную шерсть, которая представляет собой стружку длиной 200–500 мм, шириной 4–7 мм и толщиной 0,25–0,5 мм. Древесную шерсть получают из неделовой древесины хвойных, реже лиственных пород на специальных станках. В исходном сырье исключается присутствие гнили, косослоя, а также сучков диаметром более 30 мм, расположенных на расстоянии менее 200 мм друг от друга.

Фибролит выпускают в виде плит. Для него установлены три марки по средней плотности: 300, 400 и 500.

Фибролит со средней плотностью до 400 кг/м<sup>3</sup> применяют для тепловой изоляции. Теплоизоляционный фибролит имеет теплопроводность 0,09–0,12 Вт/(м·°С).

При средней плотности 400 кг/м<sup>3</sup> и более фибролитовые плиты, являясь теплоизоляционными материалами, одновременно могут использоваться и для возведения стен, перегородок и перекрытий. Теплопроводность конструктивно-теплоизоляционного фибролита 0,12–0,15 Вт/(м·°С).

Фибролит отличается высокой звукопоглощаемостью, а также хорошей обрабатываемостью, гвоздимостью, сцеплением со штукатурным слоем и бетоном. Отрицательными свойствами фибролита являются значительная воздухопроницаемость, большое водопоглощение, низкая водостойкость, подверженность во влажном состоянии поражению грибком.

Для фибролита, наряду со средней плотностью, влажностью и теплопроводностью, нормируется предел прочности при изгибе, который в зависимости от плотности и средней толщины плит составляет 0,4–2 МПа.

Перспективным материалом для деревянного домостроения являются **цементно-стружечные плиты (ЦСП)**, изготавливаемые из специальных древесных стружек и портландцемента. Эти плиты прессуют при повышенном давлении.

Древесным сырьем для производства плит служит тонкомерная древесина хвойных и лиственных пород.

**Опилкобетоны** – материалы на основе минеральных вяжущих и древесных опилок. К ним относятся ксилолит, ксилобетон и некоторые другие материалы, близкие по составу и технологии получения.

Опилкобетоны, содержащие кроме опилок минеральные заполнители, применяют в монолитном строительстве или для изготовления мелких стеновых блоков для наружных стен при возведении малоэтажных зданий, животноводческих и других сельскохозяйственных сооружений. При изготовлении опилкобетонных смесей цемент сначала смешивают с песком, а затем с опилками, обработанными в растворе минерализатора, и водой.

Разновидностью опилкобетонов является **термопласт** – сыпучий теплоизоляционный материал, получаемый смешиванием древесных опилок и глиносмоляной пасты. В качестве антисептиков применяют каменноугольную, древесную или торфяную смолу, креозотовое и каменноугольное масла.

**Ксилолит** – искусственный строительный материал, полученный в результате твердения смеси, состоящей из магнезиального вяжущего и древесных опилок. Затворяется смесь раствором хлорида или сульфата магния. Этот материал в основном применяется для устройства монолитных или сборных покрытий пола. Преимуществами ксилолитовых полов являются их невысокий коэффициент теплоусвоения, гигиеничность, достаточная твердость, низкая истираемость, возможность разнообразной цветовой окраски.

Ксилолит несгораем и малотеплопроводен, достаточно морозостоек и водостоек, не боится ударов и выдерживает значительные нагрузки, имеет высокий показатель на истирание. По величине сопротивления истиранию ксилолит не уступает таким прочным материалам, как базальт и гранит.

Благодаря высокой прочности и незначительному истиранию ксилолитовые полы с успехом могут применяться в промышленном, жилищном и культурно-бытовом строительстве. Особо эффективно применение ксилолитовых полов во взрывоопасных помещениях, там, где необходимо иметь неискрящие полы.

Применение в качестве затворителей магнезиальных каустических вяжущих растворов хлористых солей, являющихся хорошей огнестойкой пропиткой, делает ксилолит с древесным заполнителем огнестойким материалом. В этом отношении магнезиальные вяжущие имеют значительное преимущество перед другими минеральными вяжущими для производства материалов, где в качестве органического заполнителя используются древесные опилки.

Для производства ксилолита применяются, главным образом, опилки лесопиления как наиболее однородные по структуре и крупности, не содержащие примесей в виде коры и щепы.

В качестве добавок, улучшающих свойства ксилолита, применяются асбест (повышает сопротивление покрытия ударным нагрузкам), трепел (понижает теплопроводность), измельченный кварцевый песок или камень (повышает прочность и сопротивление поверхности к истиранию) и тальк (повышает водостойкость).

Оптимальными породами древесины (опилок) для производства ксилолита являются ель, пихта, осина и тополь. Желательно использование, главным образом, опилок лесопиления крупностью до 5 мм как наиболее однородных по форме и крупности, не содержащих примеси коры и щепы.

Наряду с изделиями для пола организовано производство ксилолитовых подоконных досок.

**Ксилобетоны** – это разновидность легкого бетона, заполнителем которого служат опилки, а вяжущим – цемент или известь и гипс.

Для ускорения твердения ксилобетона, уменьшения его водопоглощения и увеличения водостойкости опилки подвергают минерализации. Ксилобетонную массу изготавливают в растворо- или бетоносмесителях, а затем уплотняют вибропрессованием или трамбованием.

Разновидностью ксилобетона является **ксилоизол**, включающий наряду с портландцементом известковое тесто и 5 %-й раствор поваренной соли.

Опилкобетоны наряду с песком в своем составе могут содержать и щебень или гравий фракции 5–10 мм. Такие разновидности опилкобетонов называют **деревобетонами**.

Деревобетон обладает высокими тепло- и звукоизоляционными свойствами, хорошо обрабатывается режущими инструментами, отделывается красками, керамической плиткой и штукатурным раствором. Применяют его в виде монолита, используя метод скользящей опалубки.

**Королит** – материал, производимый на основе минеральных вяжущих и коры. При применении коры в производстве королита ее предварительно подсушивают, измельчают и просеивают для удаления пыли. Вяжущими служат строительный гипс или быстротвердеющие цементы.

Применение органических вяжущих значительно расширяет возможности утилизации отходов лесопиления и деревообработки.

#### 2.5.5. Клееная древесина

Клееная древесина относится к наиболее эффективным строительным материалам. Она может быть слоистой или полученной из шпона (например, фанера, древесно-слоистые пластики), массивной – из кусковых отходов лесопиления и деревообработки (панели, щиты, брусья, доски) и комбинированной (столярные плиты).

Клееные изделия из кусковых отходов древесины классифицируют по виду применяемого клея, характеру обработки поверхности и конструктивным особенностям. Прочность склеивания древесины зависит от пористости, соотношения ранней и поздней древесины в годовых слоях, ее влажности, химического состава, угла наклона волокон. Установлено, что прочность склеивания линейно связана с пористостью, она растет также по мере увеличения содержания целлюлозы.

Преимуществами клееной древесины являются ее низкая средняя плотность, водостойкость, возможность получения из маломерного материала изделий сложной формы или крупных конструктивных элементов. В клееных конструкциях ослабляется влияние анизотропии древесины, они характеризуются повышенной гниlostойкостью и низкой возгораемостью, не подвержены усушке и короблению. Клееные деревянные конструкции по срокам и затратам при возведении зданий, а также стойкости при воздействии агрессивной воздушной среды успешно конкурируют со стальными и железобетонными конструкциями.

Клееные деревянные конструкции, как и железобетонные, можно выпускать предварительно напряженными, армируя их стальными стержнями. У армированных конструкций в виде сплошных или пустотелых балок несущая способность почти в 2 раза выше, чем у цельнодеревянных.

Как разновидность клееной древесины можно рассматривать **древесно-слоистые пластики (ДСП)** – материал из листов шпона, измельченной древесины или опилок, пропитанных полимерами и склеенных в процессе термической обработки под давлением.

Древесно-слоистые пластики используют как конструкционный материал, а также для облицовки внутренних помещений общественных и административных зданий, для которых проектом предусмотрена улучшенная или высококачественная отделка.

#### 2.5.6. Древесно-стружечные плиты

**Древесно-стружечные плиты** – это материал, полученный горячим прессованием измельченной древесины, смешанной со связующими веществами – синтетическими полимерами. Преимуществами этого материала являются однородность его физико-механических свойств, небольшие линейные изменения при переменной влажности, возможность высокой механизации и автоматизации производства.

Промышленность выпускает плоские и экструзионные плиты. В первых частицы расположены параллельно, во вторых – перпендикулярно к плоскости плиты, что достигается прессованием методом экструзии (выдавливания). При применении фенолформальдегидных и меламиноформальдегидных смол с добавками гидрофобных веществ получают плиты повышенной водостойкости, мочевино-формальдегидных – средней водостойкости. Древесно-стружечные плиты разнообразны по конструкции (однослойные сплошные и с внутренними каналами, трехслойные и многослойные), плотности (легкие –  $\sigma_0 < 500 \text{ кг/м}^3$ , средние –  $\sigma_0 = 500\text{--}650 \text{ кг/м}^3$  и тяжелые –  $\sigma_0 = 660\text{--}700 \text{ кг/м}^3$ ), виду отделки (необлицованные и облицованные бумагой, лущеным или строганым шпоном).

Основным видом сырья для изготовления древесно-стружечных плит служит неделовая древесина, к которой относятся отходы лесопиления и деревообработки, а также отходы лубяных растений – солома, тростник, костра.

Область применения древесно-стружечных плит весьма разнообразна. Как конструкционно-отделочный материал их применяют при устройстве полов, потолков, стен, перегородок, дверей, встроенной мебели и т. д.

### 2.5.7. Местные материалы на основе опилок и волокнистых отходов

Из побочных продуктов деревообработки и переработки сельскохозяйственных культур в виде костры льна, конопли, рисовой соломы, лузги и т. д. можно получить ряд материалов, используя в качестве связующего такие синтетические полимеры, как мочевино- и фенолформальдегидные смолы. В строительстве, особенно сельском, имеется положительный опыт производства таких материалов, как древесно-опилочные плиты, ортенкс, риплит и др.

Материалы из опилок с полимерными связующими предназначены для изготовления древесно-опилочных плит, армированных плит, щитовых дверей, оконных коробок.

**Древесно-опилочные плиты** изготавливают из смеси опилок, полимера, гидрофобизатора и антисептика. Они могут быть одно- и многослойными, сплошными и ячеистыми.

Плиты применяют для полов и отделки.

К числу местных теплоизоляционных материалов относится **костроэмульбит**, получаемый на основе заполнителя – костры льна и вяжущего – битумной эмульсии. Эмульгатором битумной эмульсии и одновременно огнезащитным компонентом служит технический лигносульфонат (ЛСТ). Костроэмульбит предназначен для теплоизоляции кровель по несгораемым основаниям, а также как средний слой стеновых панелей в зданиях сельскохозяйственного назначения.

Технология получения **ортенкса** включает смешивание органического заполнителя со связующим, которое вводят распылением, с последующей укладкой проклеенной массы в форму и прессованием при просасывании через изделие горячего воздуха.

**Тырсолит** – листовый материал толщиной 1,5–8 мм. При его изготовлении синтетические полимеры вводят в количестве 4–8 % массы сухих опилок. Отделяется полимерной пленкой или бумагой, пропитанной полимером.

**Паркелит** – материал в виде плиток толщиной 18 мм и размерами 300×300, 333×333 и 400×400 мм. При изготовлении паркелита массу из древесных опилок и стружек смешивают со связующим и прессуют при давлении 8 МПа и температуре 140–160 °С. Отпрессованные плитки после выдержки шлифуют, обрабатывают, выбирая пазы, и облицовывают строганым шпоном. В основание паркелитовых плиток для предотвращения короблений закладывают армирующие рейки в направлении волокон древесины облицовочного слоя.

**Королитовые плиты** получают при использовании как неорганических, так и органических вяжущих. В качестве заполнителей применяют измельченную кору деревьев хвойных и лиственных пород. Роль органического вяжущего могут выполнять не только термоактивные полимеры, но и концентраты лигносульфонатов. При применении органических вяжущих в массу дополнительно к добавкам гидрофобизаторов вводят антипирен в виде насыщенного водного раствора сульфата аммония.

**Риплит** – теплоизоляционный материал на основе рисовой соломы и вспененного полимерного связующего. Он не горит, не подвергается воздействию плесени и микроорганизмов. Плитный риплит можно применять как утеплитель под рулонную кровлю.

### 2.5.8. Термопластичные композиции

Из порошкообразных или гранулированных термопластичных древесно-полимерных композиций методами непрерывного или периодического прессования можно изготавливать эффективные строительные изделия: плинтусы, наличники, раскладки, штапики, рейки со шпунтом и гребнем для покрытия полов, профилированные доски типа вагонки для обшивки стен малоэтажных строений, рейки для обшивки входных дверей, плитки и панели для облицовки стен, кровельные плитки и др. Строительные изделия из древесно-полимерных композиций могут успешно использоваться как в малоэтажном, так и в многоэтажном жилищном и гражданском строительстве.

К основным достоинствам строительных изделий из термопластичных древесно-полимерных композиций в сравнении с традиционными изделиями из древесины можно отнести следующие:

- изделия имеют гладкие и плотные поверхности; в процессе прессования могут быть оформлены пазы, гребни и другие типы профилей;
- плотная и однородная структура по всему поперечному сечению изделий;
- не требуется дополнительная обработка поверхности изделий механизированным инструментом;
- отсутствуют дефекты и пороки, характерные для аналогичных строительных изделий, изготовленных из древесины (сучки, косослой, гнили и др.);
- изделия обладают достаточно высокими физико-механическими и эксплуатационными качествами, не склонны к загниванию, имеют низкие показатели разбухания при действии воды и влаги, не требуют естественной или искусственной сушки, плохо горят, гигиеничны и экологически безопасны, хорошо гвоздятся;
- применение термопластичных полимеризационных синтетических смол в качестве связующих в древесно-полимерных композициях позволяет организовать практически безотходное производство изделий;
- при использовании формующих шаблонов и нагреве готовых изделий до определенной температуры они могут принимать любую геометрическую форму и сохранять ее при последующем охлаждении, что представляет интерес при решении некоторых архитектурно-строительных задач.

Строительные материалы на основе некоторых отходов древесины могут изготавливаться без применения специальных вяжущих или с небольшой их добавкой. В таких материалах частицы древесины связываются в результате сближения и переплетения волокон, их когезии и физико-химических связей, возникающих при пьезотермической обработке пресс-массы.

Кроме того, без применения специальных вяжущих веществ из отходов лесопиления и деревообработки изготавливают различные столярные изделия для устройства перегородок и стен в каркасных зданиях, накатов перекрытий по балкам, а также для устройства временных производственных зданий – реечные плиты, щиты и др. Из кусковых отходов от лесопиления и деревообработки изготавливают также торцовые щиты для устройства полов в сельскохозяйственных зданиях, складах, мастерских и др., кровельную и штукатурную дрань, кровельную плитку и гонт.

Древесно-волокнистые плиты – материал, формуемый из волокнистой массы с последующей тепловой обработкой. Около 90 % всех древесно-волокнистых плит изготавливают из древесины, исходным сырьем служат неделовая древесина, а также отходы лесопильного и деревообрабатывающего производств. Плиты можно также получать из волокон лубяных растений или из другого волокнистого сырья, обладающего достаточной прочностью и гибкостью.

К древесно-волокнистым плитам сухого формования близки по своим свойствам **древесно-шерстные плиты**, изготавливаемые из измельченных кусковых отходов лиственных и хвойных пород по полусухой технологии контактным способом. Отходы измельчают на рубильной машине в щепу, а затем перерабатывают в древесную шерсть. Древесная масса влажностью 30–40 % подвергается гидротермальной обработке, а затем – горячему прессованию.

Разработана технология **волокнисто-стружечных плит**, которые так же, как и древесно-волокнистые, могут быть полутвердыми, твердыми и сверхтвердыми с пределом прочности при изгибе не ниже соответственно 10, 20 и 40 МПа. В отличие от древесно-волокнистых плит, волокнисто-стружечные меньше подвержены короблению.

**Страшиит** – теплоизоляционный материал, изготавливаемый в виде плит путем прессования соломы пшеницы, риса, ячменя и ржи с одновременным электроподогревом и оклейкой спрессованной массы картоном или плотной бумагой. В качестве клея используют жидкое натриевое стекло.

## 2.6. Строительные материалы, получаемые из отходов городского хозяйства

### 2.6.1. Материалы из отходов городского хозяйства

К отходам городского хозяйства относятся твердые бытовые отходы, отходы от разрушения старых зданий, сооружений и дорожных покрытий, строительный мусор, изношенные шины, макулатура, тряпье, стеклобой.

Твердые бытовые отходы содержат макулатуру, черные металлы, пищевые отходы, пластмассы, текстиль, стекло и др.

Образующиеся **строительные отходы** состоят из тяжелого и легкого железобетона, кирпича, каменных материалов, утеплителей, гипсобетона, древесины, картона, бумаги, полимерных материалов, раствора, битума, асфальта, засоренного грунта и т. д.

**Макулатура** – использованная картонно-бумажная продукция: упаковочные материалы, бумага промышленного назначения, полиграфическая и гигиеническая бумага.

**Отходы полимерных материалов** можно разделить на три группы: технологические, производственного потребления пластмасс и общественного.

Технологические отходы образуются при синтезе полимеров и переработке пластмасс. По своим свойствам они не отличаются от исходных полимерных материалов и используются, как правило, на тех же предприятиях, где и образуются.

Отходы производственного потребления пластмасс накапливаются при выходе из эксплуатации полимерных материалов. В эту группу отходов входят амортизированные шины и резинотехнические изделия, тара и упаковка, детали машин, отходы сельскохозяйственной пленки, мешки из-под удобрений и др. Большая часть этих отходов может быть использована в качестве вторичного полимерного сырья.

Отходы общественного потребления пластмасс включают изношенные изделия домашнего обихода, тару пищевых продуктов, освободившуюся на предприятиях общественного питания, и т. д. Они сосредотачиваются, в конечном счете, на городских свалках. Отходы общественного потребления пластмасс являются смешанными, для их переработки и использования требуется разделение различных полимерных материалов.

При утилизации пластмасс, бывших в употреблении, наибольшие сложности возникают при организации их сбора, транспортировки и выделения из общей массы отходов. Поскольку содержание в бытовых отходах пластмасс сравнительно невелико, трудоемкость выделения последних не всегда окупается.

В настоящее время разрабатываются *фото-* и *биоразрушающиеся пластмассы*, которые после окончания срока эксплуатации способны разлагаться до низкомолекулярных соединений, поглощаться микроорганизмами почвы и, таким образом, включаться в замкнутый биологический цикл, не оказывая отрицательного влияния на окружающую среду. Можно выделить следующие основные направления утилизации полимерных отходов:

- повторная переработка или использование в различных композициях;
- термическое разложение с получением целевых продуктов;
- термическое обезвреживание с регенерацией выделяемой теплоты.

Выбор направления определяется экономическими соображениями, сырьевыми проблемами, экологическими задачами и др.

Первая стадия утилизации отходов пластмасс – предварительная сортировка и очистка. Обычно включает сортировку отходов по внешнему виду, отделение непластмассовых компонентов, таких как ветошь, остатки бумажной или деревянной тары, металлических предметов и т. д.

Вторая стадия – измельчение. Одна из наиболее ответственных стадий. В результате одно- или двухстадийного измельчения материал достигает размеров, достаточных для того, чтобы можно было осуществлять его дальнейшую переработку.

Третья стадия – отмывка и сепарация. Дробленый материал подвергают отмывке от загрязнений органического и неорганического характера различными растворителями, моющими средствами и водой, а также отделяют от неметаллических примесей.

Четвертая стадия – классификация по видам, сушка и грануляция. Последовательность выполняемых работ зависит от выбранного способа разделения отходов по видам. В том случае, если отдается предпочтение мокрому способу, сначала производят разделение, а затем сушку. При использовании сухих способов вначале дробленые отходы сушат, а затем уже классифицируют. После этих операций высушенные дробленые отходы смешивают при необходимости со стабилизаторами, красителями, наполнителями и

другими ингредиентами и гранулируют. Часто на этой стадии отходы смешивают с товарным продуктом.

Заключительная стадия процесса использования отходов – переработка гранулята в изделия. Эта стадия практически мало чем отличается от процессов переработки товарного продукта с точки зрения оборудования, но часто требует специфического подхода к выбору режимов переработки.

Развиваются две тенденции в использовании отходов пластмасс. Одна из них заключается в стремлении выделить из смеси отходов пластмассы определенного типа, другая сводится к разработке технологии переработки смеси отходов без их предварительного разделения. В последнем случае процесс утилизации более дешевый, однако, физико-механические свойства изделий обычно более низкие. Большинство способов утилизации отходов пластмасс основано на переработке в расплаве. Для получения изделий используют прессование, экструзию, литье и др.

*Отходы стекла* накапливаются в виде битой посуды, оконного и других видов строительного стекла. Стекольный бой, также как и полимерные отходы образуется как при потреблении, так и в производстве стекла и стеклоизделий.

В последние годы стала актуальной проблема вторичного использования бетона бетонных и железобетонных конструкций реконструируемых и сносимых зданий. Дробленый, бывший в употреблении бетон, бетон некондиционных изделий и неизбежные отходы на строительной площадке с успехом могут быть использованы в качестве заполнителя. Бетон на таких заполнителях характеризуется высокими техническими свойствами и пониженной стоимостью.

Рациональному использованию ресурсов, необходимых для строительства и ремонта дорог в городах и других населенных пунктах, способствует повторное использование асфальтового бетона.

Макулатура широко используется для производства *картона*. Крупнотоннажным потребителем картона являются кровельные материалы, большую часть которых составляет рубероид.

Технология изготовления картона состоит из предварительной обработки сырья, его измельчения на отдельные волокна и получения необходимой волокнистой массы.

Волокнистое сырье сортируют и очищают от посторонних включений, затем измельчают. Волокнистая масса определенного состава поступает на специальную машину, где равномерно распределяется по движущейся бесконечной сетке, на которой переплетаются волокна, и формируется полотно, которое для дополнительного обезвоживания прессуется и высушивается, а затем разрезается и наматывается в рулоны.

С повышением содержания тряпья (хлопчатобумажного, льняного, пенькового, шерстяного) улучшаются качественные характеристики картона. В составе кровельного картона высокого качества должно содержаться не менее 50 % тряпичного волокна, в том числе 5–10 % шерстяных волокон.

Макулатура находит также применение в производстве гипсоволокнистых плит, обладающих высокой ударной прочностью, хорошей гвоздимостью и повышенной влагостойкостью.

Технология производства *легкого гравия* на основе бумажной макулатуры включает измельчение вторсырья, грануляцию полученной массы с вяжущими компонентами (гипс, магнезиальные вяжущие, жидкое стекло). Теплоизоляционные плиты на основе легкого гравия изготавливают методом подпрессовки, либо с использованием специальных вяжущих составов без подпрессовки.

Теплоизоляционные растворы с использованием макулатуры могут использоваться в малоэтажном строительстве для заливочной теплоизоляции.

Основным направлением использования текстильных отходов является производство различных нетканых материалов, в том числе покрытий для полов. Из отходов синтетического волокна разработана технология нетканой основы для теплозвукоизоляционного линолеума. Волокнистый холст может быть скреплен иглопробивным, вязально-прошивным, клеевым и термическим способами.

Волокнистые отходы – стружка, тканевые очесы, кордовое волокно, резаная бумага могут быть использованы в качестве наполнителей *аэрированных легких бетонов*. При получении таких бетонов целесообразно вводить воздухововлекающие добавки и применять турбулентные аэросмесители, обеспечивающие равномерное распределение всех компонентов, снижение расхода портландцемента и получение изделий с мелкопористой структурой.

К числу многотоннажных отходов относятся отработанные резиновые изделия, такие как конвейерные ленты, шланги и изношенные автомобильные, тракторные, авиационные шины.

При комплексном использовании резино-каучуковых материалов и металла, содержащихся в изношенных шинах, из этих отходов можно выделить для повторного использования резину, химические волокна и сталь.

Изношенные шины частично применяют для ограждений на дорогах, защиты побережья рек и морей от разрушения, предохранения от ударов судов.

Основным способом переработки амортизированных шин и других отходов резины является регенерация. Регенерат получают очисткой износившихся резиновых изделий с помощью кислот и щелочей, нагрева и введения добавок.

Резиновую крошку и тонкоизмельченные резиновые порошки можно применять в качестве ингредиентов резиновых смесей. При этом получают резины, по ряду технических свойств превосходящие материалы, не содержащие регенераты.

На основе резинокордных отходов разработаны технологии рулонных и плиточных материалов.

Сущность процесса производства рулонных *материалов на основе резинокордных отходов* состоит в классификации резинокордных отходов для отделения резиновой крошки; обработке отходов на роторном измельчителе с одновременной модификацией и введением связующего для гомогенизации и распушки; формировании на вулканизаторе ленты с возможным нанесением на нее декоративного резинового покрытия. При получении плитки производят раскрой рулонного материала с последующей довулканизацией в гидравлических прессах для получения плиток.

Полы, отделанные рулонными и плиточными материалами на основе резинокордных отходов, по сравнению с другими покрытиями обладают пониженной гигроскопичностью и повышенными тепло-, вибро-, звукоизоляционными свойствами. Они характеризуются улучшенными санитарно-гигиеническими показателями, легко моются и очищаются, достаточно эластичны, а в их составе при температурах эксплуатации от  $-50$  до  $+40$  °С не содержатся и не образуются токсичные и опасные для здоровья компоненты.

Отработанную резину применяют также в производстве гидроизоляционных строительных материалов, материалов для полов, клеев, мастик и герметиков.

Эффективным направлением является перевод резины в растворимое состояние и применение в качестве вяжущего для производства уплотняющих, гидроизоляционных и кровельных мастик, дорожных смесей.

Посредством термомеханической обработки в присутствии пластифицирующих материалов изношенная резина может быть девулканизирована. В качестве пластифицирующих материалов используются нефтяные гудроны или маловязкие битумы, тяжелые экстракты очистки масляных фракций, каменноугольные тяжелые масла, смолы, дорожные дегти. При оптимальных технологических параметрах на основе изношенной резины получают *резино-битумные* и *резино-дегтевые вяжущие* высокого качества.

Технологические параметры получения вяжущих зависят от типа каучука, входящего в состав резин, и вида пластификатора.

При совместной обработке измельченная резина набухает в масляных фракциях битума (гудрона или дегтя), что ослабляет характерные для нее межмолекулярные связи; в условиях продолжающихся подвода тепла и механических воздействий происходит разрыв по этим ослабленным связям, т. е. осуществляется девулканизация резины с образованием каучукового вещества, которое структурирует органические вяжущие.

Процесс пластификации резиновой крошки ведут пропуском набухшей в нефтяном битуме (гудроне или дегте) резины через аппарат-пластификатор, объединенный с шестеренчатым насосом, при температуре  $225-35$  °С. Набухшая резина постепенно пластифицируется, и органические компоненты переходят в раствор.

От исходных битумов резино-битумные (битумно-резиновые) вяжущие отличаются повышенной эластичностью, температурой размягчения, прочностью и долговечностью. Эффект от введения резины в битум объясняется, в первую очередь, связыванием частиц масел в битумах резиной, что предотвращает испарение их и быстрое старение. По мере увеличения содержания резиновой крошки резино-битумные смеси все больше приближаются по физико-механическим свойствам к каучуковым материалам.

На основе резино-битумных вяжущих при введении наполнителей получают *мастики* для заполнения швов бетонных покрытий. При использовании пластификаторов (нефтяных масел, полиолефинов, бутилкаучука) изготавливают мастичные материалы с температурой хрупкости до  $-35$  °С, которые можно применять в суровых климатических условиях. Эти мастики успешно применяют в аэродромном строительстве.

Для заполнения швов при устройстве и ремонте цементобетонных покрытий автомобильных дорог рекомендованы мастики из резино-битумных вяжущих, при произ-

водстве которых резиновую крошку подвергают сначала термопластификации тяжелым (антраценовым) каменноугольным маслом, а затем вводят битум и минеральные наполнители.

Мастики для заполнения швов получают также путем энергичного перемешивания битума с резиновой крошкой при температуре 200 °С в присутствии агентов вулканизации образующегося каучука. В качестве наполнителя применяют асбестовое волокно.

Резино-битумные вяжущие используют для ремонта покрытий, имеющих густую сетку трещин. Расплавленное резино-битумное вяжущее разливают на поврежденное покрытие. После остывания образуется слой, на который рекомендуется рассыпать мелкий щебень или песок. Открывать движение можно через 45 мин.

Резино-битумные составы рекомендуют также для заделки крупных трещин на асфальтобетонном покрытии. После разлива вяжущего производят россыпь и укатку мелкой каменной крошки.

Резино-битумные вяжущие позволяют получать *асфальтобетоны* с высокими эксплуатационными свойствами, повышенной износо- и теплостойкостью, устойчивостью к старению. Асфальтобетон, приготовленный на резино-битумном вяжущем, отличается также меньшим водонасыщением и набуханием.

Эффективными рулонными гидроизоляционными материалами на основе резино битумных вяжущих являются изол и бризол.

Производственный процесс получения *изола* заключается в дроблении изношенной резины на шинорезках и молотковых дробилках до частиц размером не более 1 мм, регенерации (девулканизации) резины в смесителе, сплавлении ее с битумом при температуре 170–180 °С и обработке резино-битумной смеси на вальцах до получения однородной и пластичной массы. Оптимальная концентрация резины возрастает по мере снижения вязкости битума.

Изменяя состав резино-битумного вяжущего, вид наполнителей и способ обработки, изол можно изготавливать в виде рулонного материала или гидроизоляционной мастики.

Рулонный изол – безосновный материал, обладающий высокой водо- и гнилостойкостью, а также деформативной способностью. Из листа изола вырубают кровельные плитки. Более высокое содержание наполнителей придает плиткам высокую плотность и твердость.

Близким к изолу по рецептуре и свойствам является *бризол*. Его изготавливают вальцеванием и последующим каландрированием смеси нефтяного битума, дробленой резиновой крошки, асбестового волокна и пластификатора.

Изол и бризол применяют для гидроизоляции подвальных этажей зданий, подземных трубопроводов и других сооружений, бассейнов, антикоррозионной защиты и устройства кровли. Наряду с достоинствами эти материалы обладают и некоторыми недостатками: значительными усадочными деформациями, ползучестью, снижением их прочности при контакте с горячими мастиками.

Резино-битумные материалы выпускают также в виде пористых жгутов и полос (*пороизол*) для герметизации стыков конструкций, а также как приклеивающие и изоляционные мастики.

Резино-битумная масса служит для изготовления нижнего слоя резинового линолеума – *релина*. Верхний и нижний слой релина выполняют отдельно, а затем соединяют (дублируют) одновременно с вулканизацией. Материалом верхнего слоя линолеума служит цветная резина на синтетических каучуках с наполнителями.

Разработана технология волокнистых *резино-битумных плит (рекобит)*, применяемых в качестве оснований паркетных полов. Сырьем для изготовления плит служат некондиционное замащенное тряпье, регенерированный шинный корд, отходы резиновых изделий и битум.

Из регенерированного шинного корда можно также производить прессованный *кордный брус*, используемый для паркетных полов взамен лаг и древесно-волокнистых плит.

На основе резиновой муки, получаемой из отработанных автомобильных шин, получены новые *кровельные материалы*, высокие эксплуатационные свойства которых обеспечиваются специальными добавками.

Кровельные материалы на основе шинной резиновой муки относительно дешевы, технология их производства может быть высокопроизводительной. Они не подвержены обрастанию грибками и мхом, не экранируют электромагнитных излучений Земли и космоса, не шумят при действии дождя и ветровых нагрузок, технологичны в работе и имеют малую плотность, что позволяет резко снизить нагрузку на стропильные системы.

Близкими по свойствам к резино-битумным являются *каучуко-битумные вяжущие*. Синтетические каучуки увеличивают растяжимость битумов, их ударную прочность, снижают температуру хрупкости, повышая теплостойкость.

При введении каучука в битум необходимо строго соблюдать температурный режим. Излишне высокая температура перемешивания влияет на свойства как битума, так и каучука. При интенсивном перемешивании битума с каучуком под действием повышенных температур происходит разрыв молекул каучука, причем снижается эффективность воздействия каучука на свойства битума. Чтобы избежать этого, длительность и температура перемешивания битума с каучуком должны быть ограничены.

Добавки каучука в количестве 2–3 % рекомендуются для устройства покрытий дорог с умеренным движением, 5–7 % – для дорог с тяжелым интенсивным движением. Срок службы покрытий с использованием каучуко-битумных вяжущих возрастает примерно на 50 %.

Ряд композиционных материалов может быть получен с применением отходов производства латексов и каучуков. Эти отходы выделяются из латексных сточных вод после усреднения их состава в накопительных емкостях с последующей переработкой на шнековых машинах. Латексные и каучуковые отходы можно вводить в составы, предназначенные для получения кровельно-гидроизоляционных и герметизирующих материалов, а также материалов, предназначенных для покрытия полов промышленных и сельскохозяйственных помещений.

Для получения *гидроизоляционных пленочных материалов* используют вальцево-каландровый способ с предварительной пластификацией полимерных отходов на вальцах при температуре 120–130 °С в течение 10 мин. Пленки содержат до 45 % отходов латексов; 15 % – полипропилена; 10 % – полиизобутилена и до 30 % битума, который одновременно служит стабилизатором латексов.

При приготовлении *герметиков* дефицитное и дорогостоящее сырье бутадиеновый термоэластопласт можно полностью заменить отходами латекса. Полная замена кондиционных каучуков отходами возможна и при изготовлении материалов для покрытия полов методом вулканизации. Получаемые полимерные композиции хорошо перерабатываются при обычной технологии на существующем оборудовании.

На основе битумов, модифицированных полимерной крошкой латексов, разработана технология покровного слоя *эластичного рубероида*. Она включает получение гранулята перемешиванием при 120–130 °С пластифицированной крошки и битума с последующим его растворением совместно с наполнителем в битуме и приготовление однородной массы с температурой 200 °С, направляемой в ванну для нанесения на рубероид. При введении полимеров в битум происходит его структурирование с образованием трехмерных структур и увеличением содержания твердых, нерастворимых в бензоле, продуктов.

На основе полимерных композиций с применением отходов производства латексов возможно также получение *листовых кровельных материалов* с улучшенными свойствами. Массу изготавливают в резиносмесителе при 160–180 °С, а затем на вальцах получают листы кровельного материала.

Наиболее многотоннажными полимерными материалами являются *полиолефины* – высокомолекулярные соединения на основе непредельных углеводородов. Основным представителем этой группы – полиэтилен низкого и высокого давления. Практическое значение имеют также полипропилен и полиизобутилен.

Перспективным способом утилизации отходов полиолефинов, как и других термопластов, является их повторная переработка. Отходы предварительно сортируют и очищают от инородных включений, а затем подвергают измельчению, агломерации и грануляции. Из гранулята получают различные изделия, в том числе и строительного назначения. Вторичное сырье целесообразно вводить в полимерные композиции в количестве до 40–50 % первичного вместе с пластификаторами, наполнителями и стабилизаторами.

Для получения высококачественных полимерных материалов из вторичных полиолефинов эффективна их модификация – экранирование функциональных групп и активных центров химическими или физико-химическими способами (например, введением различных добавок, обработкой кремнийорганическими жидкостями и др.).

Упаковочная и бутылочная полимерная тара может быть переработана в *отделочные плитки* и другие изделия. Полимерной основой указанных видов отходов являются полиэтилен и полиэтилентерефталат. Оба полимера относят к термопластам с температурой плавления соответственно 130 и 265 °С. Это создает возможность изготовления изделий из композиций на основе данных отходов методом горячего прессования. Полимерные отходы подвергают сначала грубому, а затем тонкому измельчению, смешивают с наполнителями и прессуют.

В большинстве асфальтовых дорожных покрытий основным связующим компонентом являются битумы. Обладая рядом ценных свойств и имея сравнительно невысокую стоимость, битумы, в состав которых входят полярные соединения, отличаются недостаточ-

ной стойкостью. Их прочностные показатели также сравнительно невысоки. Все это в значительной степени ухудшает свойства асфальтовых покрытий и сокращает сроки их эксплуатации. Использование отходов полиолефинов в композиции с битумом является одним из направлений, позволяющих модифицировать свойства покрытий. Оптимальное количество полиолефиновых отходов для *битумно-полимерных покрытий* составляет 7–12 %.

Отходы полистирольных пластиков, введенные в битумные композиции в небольших количествах, также оказывают положительное влияние на свойства композиций. Из вторичного полиэтиленового и полистирольного сырья в смеси с песком можно получать *пресс-композиции* с заданными свойствами.

Один из методов получения строительных плит состоит в прессовании смеси пластмассовых отходов и песка, взятых в соотношении 1:1. Песок просеивают, нагревают до 500 °С, добавляют к смеси отходы полиэтилена и полистирола, смешивают при 150 °С в течение 25 мин, затем полученную массу прессуют. Такие материалы обладают высокими прочностными показателями в сочетании с хорошей водостойкостью.

По аналогичной технологии получают материалы из пластмассовых отходов в смеси с мелом, стекловолокном, асбестом и другими минеральными наполнителями.

Наряду с прессованием строительные материалы получают расплавлением термопластичных полимеров с последующим смешиванием их с цементом, разливкой в формы и охлаждением. Эти изделия обладают высокой прочностью и стойкостью против горения.

Высокая водостойкость большинства полимерных отходов, в первую очередь полиолефиновых, позволяет широко использовать их в различных материалах, применяемых для герметизации швов между панелями зданий, а также для покрытия частей сооружений, работающих под водой или в условиях повышенной влажности.

Композицию с использованием побочного продукта синтеза полипропилена – атактического полипропилена – с термической сажей применяют при получении *герметизирующих лент* путем экструзии. Хорошая водостойкость атактического полипропилена позволяет также использовать его в композициях, на основе которых получают кровельный рубероид.

На предприятиях по изготовлению пенополистирольных изделий образуются отходы, в основном представляющие обрезки, невозвращаемые повторно в основной технологический процесс. Обрезки пенопласта пропускают через молотковую дробилку и получают наполнитель фракций 0–5 и 5–10 мм. На таком наполнителе изготавливают конструкционно-теплоизоляционные *полистиролбетоны*.

Из теплоизоляционного бетона на дробленом пенопласте изготавливают плиты утеплителя. Его также можно использовать в качестве монолитной теплоизоляции в покрытии, для среднего слоя трехслойных стеновых панелей, полов, а также для замоноличивания стыков между конструкциями.

Все шире внедряются композиции на основе двух групп отходов: полистирольных пластиков и отходов деревообрабатывающей промышленности. Такие композиции, содержащие до 40 % полистирольных отходов, по физико-механическим показателям превосходят традиционные материалы, в которых связующим являются синтетические смолы.

Одно из направлений использования полимерных отходов заключается в применении их в пластмассовых композициях в качестве модифицирующих добавок.

Вторичное поливинилхлоридное (ПВХ) сырье в строительстве находит применение, главным образом, при получении линолеумной плитки. Значительное число отходов применяется при получении вспененных изделий обычными методами: в автоклаве, экструзией или литьем под давлением.

В отличие от отходов термопластов отходы реактопластов не плавятся, не растворяются, содержат большое количество наполнителей. В измельченном виде они могут служить добавками в стандартные пресс-композиции и вводиться в заливочные смеси, где в качестве связующего используются синтетические полимеры, битум, цемент и т. д.

*Органоминеральные порошки*, полученные измельчением отходов производства стеклопластиков, имеют на поверхности реакционноспособные функциональные группы, что позволяет использовать их в качестве химически активных наполнителей различных полимерных материалов.

Отходы стеклопластиков могут использоваться при изготовлении полимерных бетонов. По сравнению с полимербетонами на минеральных наполнителях полимербетон на основе отходов стеклопластиков имеет повышенную деформативность при отрицательных температурах и сокращенное время твердения.

С использованием отходов стекловолокна изготавливаются *холсто-прошивные полотна*, предназначенные для изоляции трубопроводов, тепловых и холодильных агрегатов. Упрочнение холсто-прошивного материала производится стеклянной или капроновой прошивной нитью. В качестве полимерных связующих используются смолы фенольного типа. На основе холсто-прошивного полотна изготавливаются листовые стеклопластики путем его пропитки и сушки в шахте вертикальной пропиточной машины. Пропитанное и высушенное полотно нарезают и пакетируют специальными механизмами, работающими совместно с вертикальной пропиточной установкой. Подготовленные пакеты прессуют при давлении 1,4 МПа и обрезают на гильотинных ножницах.

### 2.6.2. Материалы, получаемые при использовании бетонного лома

В результате разборки зданий и сооружений, а также накопления некондиционной продукции на предприятиях сборного железобетона образуются значительные количества, так называемого *бетонного лома*. Переработка бетонного лома направлена в настоящее время в основном на получение *вторичных заполнителей* и высвобождение арматурной стали.

Широкое распространение получила технология, когда оборудование для получения заполнителя из бетонного лома устанавливается на месте демонтажных работ, а полученный заполнитель используется в основном для устройства щебеночной подготовки дорожных одежд и оснований.

Разрушение конструкций при утилизации бетонного лома может производиться ударными методами, раскалыванием, резкой, дроблением. Из средств разрушения ударными мето-

дами применяют гидравлические и пневматические молоты, раскалыванием – гидроклинья; резкой – алмазные круги, оборудование для плазменной резки и др.; дроблением – бетоноломы с перемещаемыми прямыми или изогнутыми зубьями, подвешиваемые на экскаваторе вместо ковша. Разработан ряд установок первичного дробления некондиционного бетона и железобетона с применением дробильно-сортировочного оборудования, используемого при переработке битого камня из карьеров.

Арматура из бетона извлекается с помощью магнитных сепараторов. После извлечения арматуры бетонный лом поступает на щековую дробилку для получения вторичного щебня.

Использование вторичных заполнителей увеличивает деформативность бетона; она тем больше, чем меньше крупность заполнителя и прочность бетона, подвергаемого дроблению. Ухудшение прочностных свойств бетонов на заполнителях из дробленого бетона и возрастание их деформативности под нагрузкой могут быть компенсированы введением в смесь добавок суперпластификаторов.

Положительный эффект достигается при использовании крупного заполнителя из дробленого бетона в сочетании с природным кварцевым песком.

Применение крупного заполнителя из дробленого бетона не уменьшает, а в некоторых случаях – увеличивает морозостойкость. Это обусловлено высокой прочностью сцепления зерен этого заполнителя и цементного камня. Применение мелкого заполнителя из дробленого бетона приводит к снижению морозостойкости из-за его высокого водопоглощения и, как следствие, повышенной капиллярной пористости бетона.

Повышение качества заполнителей из дробленого бетона достигается их активацией. Эффект активации заполнителей состоит в разрушении слабых зерен щебня или удалении остатков цементного камня, образовании свежих сколов, что приводит к повышению технических характеристик бетонов за счет улучшения качества контактной зоны.

Из методов активации можно отметить механические, химические и др. При механических методах активации дробленого бетона предусматривается самоизмельчение при перемешивании щебня в смесительных установках или их обработка в шаровых мельницах с металлическими шарами.

### 2.6.3. Регенерация асфальтобетона

Реконструкция автомобильных дорог, строительство в городах магистральных дорог приводит к увеличению из года в год количества старого асфальтобетона, который может быть регенерирован и использован повторно. Повторное использование старого асфальтобетона позволяет существенно сократить расход нефтяного битума при производстве ремонтно-восстановительных работ.

Разрушение асфальтобетонных покрытий вызывается воздействием погодноклиматических условий и механических перегрузок от движущихся автотранспортных средств. При этом битум стареет – становится более жестким, повышается его температура размягчения

и хрупкости, увеличивается вязкость, уменьшается растяжимость, нарастает содержание асфальтенов.

Минеральные частицы в асфальтобетоне вследствие механических воздействий подвергаются дезинтеграции, изменяется гранулометрический состав.

Для восстановления свойств битума необходима его пластификация путем добавления менее вязкого битума, гудрона или высокоароматизированных тяжелых нефтяных фракций (например, экстрактов селективной очистки масел).

В связи с изменением гранулометрического состава старого асфальтобетона при его регенерации вводят свежие каменные материалы в количестве 10–20 % по массе.

На основании накопленного опыта в практику использования старых асфальтобетонных материалов вошли в основном два способа:

- предварительное нагревание отслуживших срок слоев асфальтобетонных покрытий, их разрыхление на глубину 4–5 см, добавление новых каменных материалов и битума (или готовой смеси), разравнивание и уплотнение;

- снятие старого асфальтобетона, его транспортирование к смесительной установке, дробление до размеров не крупнее 50 мм, загрузка в смеситель принудительного действия с одновременным добавлением новых каменных материалов и вяжущего, доставка полученной асфальтобетонной смеси к месту восстановительных работ, ее укладка и уплотнение.

## ПОВТОРНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СУЩЕСТВУЮЩЕЙ ЗАСТРОЕННОЙ СРЕДЫ



### 3.1. Жизненный цикл строительных конструкций, материалов и изделий

#### 3.1.1. Жизненный цикл изделия. Основные стадии жизненного цикла

Все виды материалов, изделий и конструкций, которые применяются в строительстве, должны отвечать определенным требованиям, прежде всего с точки зрения их функционального назначения и соответствующих показателей и свойств. В зданиях и сооружениях должны применяться материалы и изделия, которые обеспечат надежность и долговечность конструкций при высоких технико-экономических показателях с соблюдением экологических требований.

Подходы к определению долговечности, надежности и оптимального срока службы могут быть разные, но при этом обязательно анализируются этапы жизненного цикла изделия (материала).

**Жизненным циклом изделия** называется совокупность этапов или последовательность процессов, через которые проходит изделие за время своего существования.

Жизненный цикл любого изделия, конструкции или материала состоит из ряда стадий, на которых идея трансформируется в готовую продукцию, способную удовлетворить требования потребителей.

*Первой стадией* жизненного цикла являются научно-исследовательские работы (НИР). Научно-исследовательская работа состоит из разработки технического задания, выбора направлений исследований, теоретических и экспериментальных исследований, обобщения и оценки результатов.

Техническое задание (ТЗ) – обязательный документ для начала НИР. В нем определяются цель, содержание, порядок выполнения работ и способ реализации результатов НИР. Этот документ согласовывается с заказчиком. Законченная НИР обсуждается на научно-технических советах или секциях, где рассматривается соответствие выполненных работ ТЗ НИР, обоснованность выводов и рекомендаций и выносится решение о продолжении работы на следующих стадиях жизненного цикла.

*Второй стадией* жизненного цикла являются опытно-конструкторские работы (ОКР). На этой стадии разрабатывается конструкторская документация: техническое предложение, эскизный проект, технический проект, рабочая конструкторская документация. ОКР проводятся также для создания технологического оборудования, нужного для изготовления опытных образцов и партий изделий.

Разработка изделия завершается после устранения недоработок по замечаниям приемочной комиссии и утверждения акта приемки опытного образца, партии. В состав приемочной комиссии могут входить представители организации-разработчика, организации-производителя и организации-потребителя.

*Третья стадия* жизненного цикла – подготовка производства (ПП) и выход на требуемую мощность (ВМ), т. е. постановка продукции на производство, что включает мероприятия по организации производства нового изделия или освоенного другими предприятиями.

Выход на мощность возможен только после завершения работ по подготовке производства, куда входят: пуск и проверка технологического оборудования; запуск в производство установочной серии; проведение квалификационных испытаний изделий установочной серии; доработка и корректировка технологической и другой документации.

Установочная серия, или первая промышленная партия изделий, изготавливается для проверки способности данного производства обеспечить промышленный выпуск продукции в соответствии с требованиями научно-технической документации (НТД) и потребителей. Образцы установочной партии, прошедшие приемосдаточные и квалификационные испытания, могут быть представлены на рынке новшеств (проведение рекламной кампании, демонстрация на выставках, в торговых центрах и т. п.).

Все рассмотренные стадии жизненного цикла (НИР, ОКР, ПП и ВМ) носят название *предпроизводственных*. Здесь формируется изделие, его качество; закладывается технический уровень изделия, его прогрессивность.

*Четвертая стадия* жизненного цикла – производство созданного изделия в соответствии со сформированным портфелем заказов.

*Пятая стадия* жизненного цикла состоит в эксплуатации (для изделий длительного пользования) или потреблении (для сырья, топлива и т. п.) заказчиком или потребителем, использующим данную продукцию по назначению или как комплектующие изделия при производстве другой продукции. Взаимоотношения между потребителем и производителем продукции определяются договором на поставку.

Важно обеспечить систематическое обновление продукции путем выпуска новых изделий и снятия с производства устаревших. Продолжительность жизненного цикла изделия в каждый конкретный период научно-технического прогресса определяется физическим и моральным сроком старения независимо от сроков выполнения и организации работ по стадиям жизненного цикла и внутри них по этапам.

Менеджер должен контролировать сроки предпроизводственных стадий, чтобы избежать их растягивания во времени (иначе до стадии производства могут дойти устаревшие разработки).

Решающее влияние на создание новшества оказывает уровень научного обеспечения. Именно на этапе научных исследований закладывается потенциал нововведения, который материализуется через проектно-конструкторские разработки и производство.

*Завершающая стадия* жизненного цикла состоит в утилизации или повторном использовании материалов, конструкций или изделий в том или ином виде после соответствующих технологических операций, т. е. рециклинг.

### 3.1.2. Экологическая оценка строительных материалов с учётом их жизненного цикла

Подходы к экологической оценке строительных материалов могут быть различными, но при этом обязательно анализируются связанные с ними нагрузки на окружающую среду по жизненному циклу материала (ЖЦ).

При экологической оценке ЖЦ учитывается влияние не только самого материала, но и процессов, сопровождающих его по жизненному циклу (от добычи сырья до уничтожения, захоронения или повторного использования). Это позволяет решить экологические задачи: сокращение количества отходов и обеспечение ресурсосбережения. Экологическая безопасность материалов рассматривается и оценивается не только по прямым (явным) негативным воздействиям, таким как образование отходов, но и по косвенным эффектам (дефицит сырья, влияние на здоровье человека, ухудшение качества окружающей среды, нагрузки при перевозке материалов и т. д.).

Для обеспечения объективности результатов анализа рассматриваются взаимосвязанные параметры «свойства материала – качество среды».

Оценка экологических эффектов взаимодействия строительных материалов с окружающей средой базируется на комплексе независимых методов:

- сопоставительный анализ (экспертный анализ, метод рассуждений) базируется на имеющейся научной информации, ее анализе и последующих логических рассуждениях. Анализ дает относительную оценку нагрузок на человека и окружающую среду и позволяет расположить сравниваемые материалы в порядке экологического предпочтения, классифицировать их по экологическому качеству. Результатом являются карты экологического выбора строительных материалов, которыми может пользоваться потребитель;

- системный анализ (метод «черного ящика») заключается в анализе и математической оценке всех входящих и выходящих потоков. Используется для расчета «экобаланса», воздействий материала на среду и оценки последствий этих влияний;

- метод графов (ориентированные графы для решения многокомпонентных эколого-экономических задач) позволяет оценить прямые и обратные связи: «качество строительства – качество среды»;

- квалитетрический метод используется для оценки интегрального качества материала.

Обычно методика экологической оценки строительного материала по его жизненному циклу состоит из следующих основных частей:

- разработка и описание жизненного цикла продукта (инвентаризационный анализ);
- оценка воздействий, возникающих на протяжении жизненного цикла (оценка воздействий);
- анализ, направленный на совершенствование качества продукта (оптимизационный анализ);
- анализ, направленный на экологическую классификацию продукции и обоснованный выбор материалов для использования в строительстве (классификационный анализ).

Экологическая оценка нагрузок строительных материалов на окружающую среду должна проводиться по пяти составляющим биосферы: атмосфере, гидросфере, литосфере (почве, сырью), энергии и биотическим компонентам (включая человека). При экологической оценке материалов, в первую очередь, необходимо учитывать негативные воздействия, приводящие к обострению глобальных экологических проблем, таких как парниковый эффект, повреждение озонового слоя, загрязнение почв, истощение ресурсов и т.д.

К негативным экологическим эффектам по жизненному циклу материала относят: истощение ресурсов; загрязнение атмосферы; загрязнение водной среды; уничтожение почвенного покрова; изменение ландшафта; возникновение техногенных ландшафтов; опасное шумовое загрязнение; образование отходов; нарушение природного равновесия в экосистеме; уничтожение, деградация, угнетение растительности; ликвидация мест гнездовий птиц; распугивание животных, нарушение путей их миграции; изменение гидрогеологического режима; изменение напряженного состояния пластов Земли и пр. прямые и косвенные эффекты.

При оценке ЖЦ материалов обязательно учитывается также комплекс нагрузок на окружающую среду и человека за счет транспортировки материала. Предпочтение отдается местным строительным материалам, произведенным в непосредственной близости от добычи сырья, и т. п.

Принципиальная схема оценки экологических эффектов по жизненному циклу материала включает анализ следующих его этапов:

- добыча сырья;
- изготовление материалов и изделий;
- этап строительства (применение материала);
- эксплуатация (необходимость ухода для поддержания качества, совместимость с материалами, которые используются при ремонте, реставрации, реконструкции);
- уничтожение или повторное использование (при замене материала, сносе здания, сооружения).

Пример аналитической схемы оценки нагрузок на окружающую среду по жизненному циклу материала приведен в таблице 3.1.

Для первого этапа ЖЦ при экологической оценке учитывается его добываемый запас, который определяется на основе технических, экономических и экологических факторов для конкретного региона. Для некоторых видов сырья уже известно, что их запас исчерпывается в короткий (обозримый) срок, если добыча будет продолжена на настоящем уровне. Процесс добычи сырья во многих случаях приводит к повреждению экосистем, выделению выбросов, учащаются катастрофы при добыче и транспортировке нефти, добыче угля и т. п.

На этапе производства строительных материалов необходимо анализировать, с какими негативными последствиями для окружающей среды предстоит столкнуться. Значительную экологическую опасность представляют собой предприятия по производству искусственных строительных материалов. Наиболее полную информацию для этого этапа ЖЦ можно получить из экологического паспорта предприятия, выпускающего данный материал.

Таблица 3.1 – Аналитическая схема оценки нагрузок на окружающую среду по жизненному циклу строительного материала (СМ)

Этап жизненного цикла	Экологические эффекты	Мероприятия по снижению нагрузок на окружающую среду
Добыча сырья	Исчерпание ресурсов Нарушение ландшафта Повреждение экосистем	Избегание ненужного употребления сырья Использование вторичного и возобновляемого сырья Оптимальное использование сырья
Изготовление материала и изделий	Отходы Возможны вредные выбросы в воду, воздух, почву Потребление энергии	Производство качественных, долговечных материалов Сбережение ресурсов Создание материалов полифункционального назначения Снижение количества этапов обработки
Строительство (применение СМ)	Потребление энергии Образование отходов Вредные выбросы Загрязнение окружающей среды	Использование качественных материалов Отказ от использования материалов с органическими растворителями и др. вредных для человека материалов Соответствие долговечности отдельных материалов, деталей, изделий сроку службы всего здания
Эксплуатация	Вредные выбросы Влияние на здоровье людей, а также все виды воздействий, как и при строительстве, но в меньшей степени	Контроль за состоянием материала Уход за материалом Восстановление его свойств Своевременная замена состарившегося материала
Уничтожение или повторное использование	Образование отходов при сносе зданий Загрязнение окружающей среды Нарушение ландшафта и т. д.	Ремонт Реставрация Отказ от свалок Отказ от сжигания Утилизация строительных отходов Сортировка отходов Предпочтение повторному использованию без переработки

На этапе производства существует целый ряд серьезных проблем: вредные выбросы в почву, воду, воздух, отходы и использование большого количества энергии. От количества этапов обработки зависит экологическая нагрузка (например, получение пластмасс, металлов, битумов включает много технологических переделов). При производстве минеральных и органических вяжущих, синтетических полимерных материалов выделяются вредные вещества.

Основными источниками загрязнения воздуха считаются цементные, асбестоцементные, известковые, химические производства, предприятия по производству кровельно-изоля-

ционных материалов, керамзитобетонные заводы и др. Эти же предприятия негативно воздействуют на почвы и водоемы.

Значительное негативное воздействие на состояние окружающей среды у нас в стране оказывают заводы по производству цемента. От мельчайшей цементной пыли, оседающей в окрестностях этих предприятий, гибнет растительность, разрушается почвенная экосистема, болеют легочными заболеваниями люди и животные.

По степени опасности для окружающей среды предприятия промышленности строительных материалов можно разделить на пять классов:

I (наиболее опасные) – крупные цементные заводы, заводы по производству других вяжущих веществ (обжиг в печах магнезита, доломита и др.);

II – предприятия по производству гипса, асбеста, извести, асфальтобетона, древесностружечных и древесноволокнистых плит на полимерных смолах;

III – предприятия по выпуску асбестоцементных, бетонных и железобетонных изделий, материалов из отходов ТЭС;

IV – предприятия по производству полимерных материалов, фаянсовых и фарфоровых изделий, керамического и силикатного кирпича;

V – предприятия по добыче и обработке камня, камышита, фибролита, столярных изделий, паркета и др.

На этапе строительства важно предварительно определить срок пригодности различных материалов, строительных элементов и всего здания, а также оценить долговечность материала. Высокий показатель долговечности означает, что материал долго сохраняет все свои свойства и имеет большой срок использования до ремонта или замены изделия. Благодаря продлению периода использования материала нагрузка на окружающую среду на этот период уменьшается. Важно, чтобы долговечность материалов отдельных строительных узлов всегда соответствовала жизненному сроку всего здания. При экологической оценке материала на данном этапе учитывается количество отходов и возможность выброса в окружающую среду вредных веществ при производстве строительных работ.

На этапе эксплуатации экологическая нагрузка в большей мере определена выбором, сделанным на предыдущих этапах, и здесь дополнительно необходимо определить эксплуатационные затраты на уход за материалом для сохранения его свойств.

В рамках строительного комплекса остаются практически не решенными проблемы, связанные с использованием в новом строительстве, реконструкции и реставрации материалов, содержащих опасные для здоровья человека вещества. Иногда оказывается, что среди широко используемых в строительстве материалов имеются и опасные. Примером может служить асбест, некоторые изделия из него, многие синтетические смолы, применяемые при производстве древесностружечных и древесноволокнистых плит. К особо опасным веществам относятся стирол, применяемый при изготовлении различных пластмассовых изделий и пенопластов, а также хлористый винил, используемый для получения полимера поливинилхлорида (ПВХ), различных материалов на его основе – линолеума ПВХ, пленок, обоев, плитки и др.

Отсутствие строгого экологического контроля в жилищном строительстве – пробел, который требует срочного восполнения.

До сих пор не созданы системы экологического контроля (мониторинга) жилой среды. Наблюдение за ее состоянием должно быть организовано на уровне и городов, и отдельных территорий.

На последнем этапе жизни материала встает вопрос об оценке возможности его использования повторно без значительной дополнительной переработки. Поэтому критерием для экологической оценки материала становится возможность его реставрации, ремонтпригодность. Посредством реставрации или бережного ухода за конструкциями и материалами можно увеличить срок их пригодности. В этом случае количество строительных отходов может быть сокращено. В связи с возможностью повторного использования очень важно, чтобы материалы хорошо сортировались и очищались. Если отходы после сноса здания попадают в окружающую среду (свалки и т. п.), экологическая нагрузка определяется сочетанием их вредности и разлагаемости в природной среде. При хорошей биоразлагаемости отходы недолго занимают место и практически не оказывают вредного воздействия и на окружающую среду, и на человека.

Методом логических рассуждений по жизненному циклу можно дать качественную экологическую оценку любому строительному материалу.

За рубежом оценочные показатели присваиваются материалу по следующим экологическим факторам: повреждение экосистем, дефицит сырья (дефицит), эмиссия вредных веществ в окружающую среду (выбросы), затраты энергии (потребление энергии), здоровье человека и «экологическое здоровье» (здоровье), а также положение с отходами (отходы).

Перечисленные экофакторы являются показателями экологического качества материала.

В рамках стандартов ИСО-14000 определены термины и определения, применяемые при экологической оценке строительных материалов.

**Повреждение экосистем.** Экосистемой считается сочетание живых и неживых компонентов на ограниченной территории. Под повреждением имеется в виду нарушение равновесия в экосистеме и снижение качества среды.

**Дефицит.** С экологической точки зрения дефицит означает, что изъятие ресурса опережает его восполнение природной средой.

**Выбросы.** Речь идет о выбросах твердых, жидких и газообразных вредных веществ в почву, воду или воздух в течение жизненного цикла материала.

**Здоровье.** Влияние материалов на человека и окружающую его среду оценивается по интегральному показателю «здоровье». Воздействие строительного материала на здоровье человека анализируется для каждого этапа жизненного цикла материала.

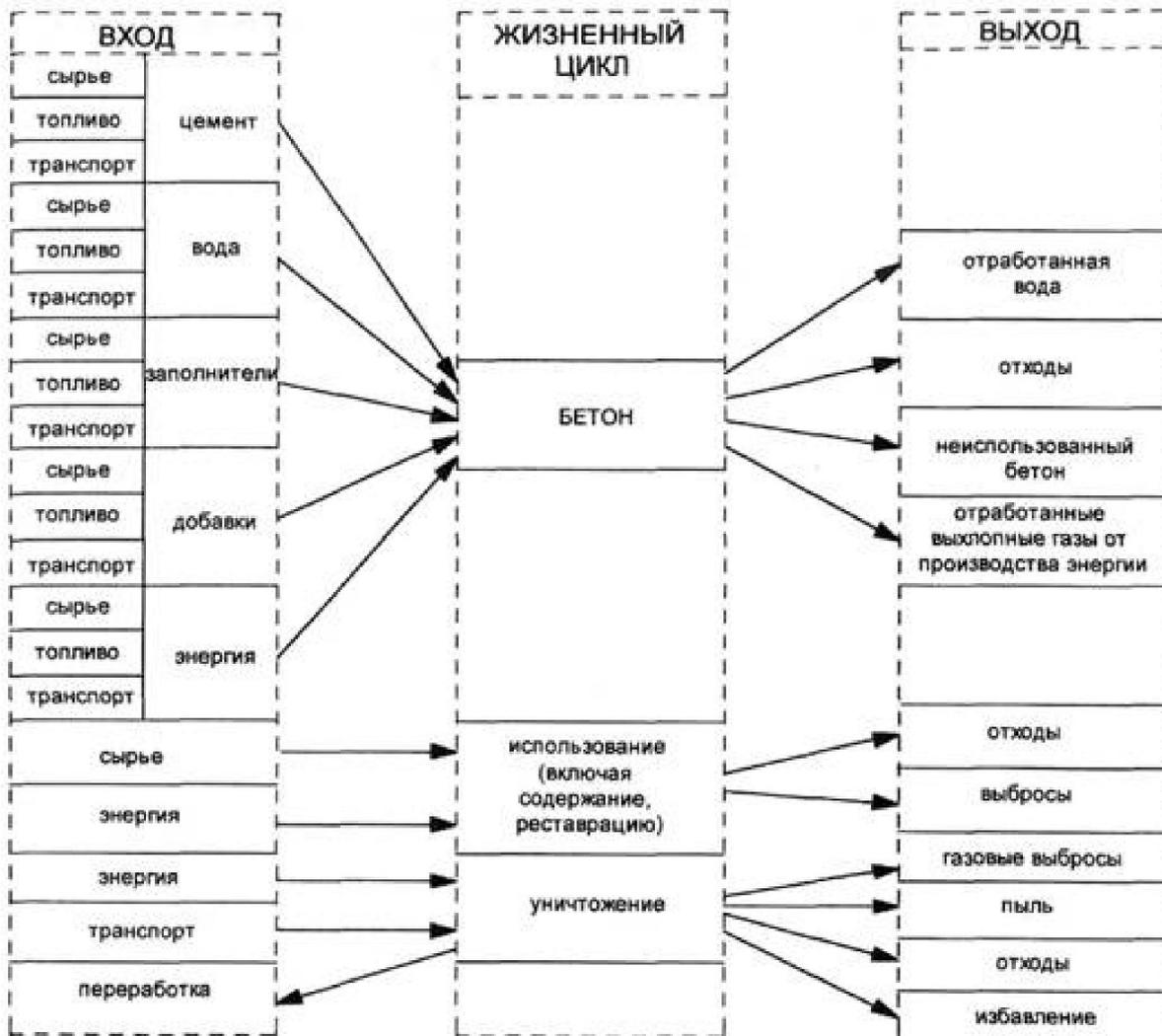
**Отходы.** Современная промышленность выпускает тысячи наименований разнообразной продукции. Причем в сферу материального производства вовлекается во много раз больше исходного сырья, чем выпускается готовых продуктов. При этом на разных стадиях технологического процесса возникают отходы. Часть отходов теряется со сточными водами, с отходящими газами, при пылении твердых продуктов, в результате чего загрязняются атмосфера, гидросфера, почва.

Практически ни один материал не может быть назван «экологически чистым», т. к. ни один материал не может быть изготовлен без затрат материальных ресурсов и энергии. Но, рассмат-

ривая жизненный цикл материала, для каждого его вида можно выделить нежелательное, с экологической точки зрения, влияние на окружающую среду (т. е. присущие материалу отрицательные экологические качества) и стараться не применять материалы с высоким уровнем нагрузки на среду и человека. Отказ от их применения будет стимулировать развитие производств, выпускающих материалы, экологически безопасные для человека и среды.

При сравнении различных аспектов влияния материала на окружающую среду важно учесть, устраняются ли повреждения, нанесенные экосистеме, а если устраняются, то в какой срок. Возможно, более целесообразно поставить вопрос о неиспользовании материала. Важную роль при оценке также играет наличие экологических, технических и экономических возможностей в стране, где материал будет использован. Общей при оценке и выборе материала является необходимость всегда учитывать, что увеличение объема работ, который обусловлен данным выбором, практически всегда приводит к увеличению объема проблем.

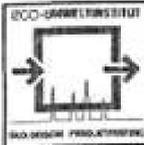
На рисунке 3.1 показано, какие проблемы возникают при производстве бетона.



**Рисунок 3.1 – Схема оценки «жизненного цикла» композиционного материала (бетона) в результате анализа входящих и выходящих потоков по методу «чёрного ящика»**

Применение метода экологической оценки материалов по жизненному циклу позволяет присваивать им марку экологического качества. Такие экологические значки (этикетки, пиктограммы) ставятся на продукцию, которая отвечает требованиям безопасности для окружающей среды и человека. Наряду с экологическими марками ставятся также значки об испытании материала и о гарантиях качества. По таким пиктограммам можно увидеть критерии оценки материала. Подобные значки стали новым элементом рекламных проспектов на строительные материалы. Примеры таких значков представлены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Примеры экологической маркировки строительных материалов

 <p>Протестирован и признан годным к использованию Всемирным экологическим институтом в Кельне</p>	 <p>Знак качества RAL гарантирует постоянно контролируемое качество и безопасность минеральных плит, в том числе по противопожарной безопасности</p>
 <p>Экологичен</p>	 <p>Оценен по ЖМЦ – Скандинавская экологическая марка (с изображением лебедя)</p>
 <p>Возможность вторичного использования</p>	 <p>Пригодны для компостирования</p>
 <p>HYGENA – бактериостатическое и фунгистатическое покрытие поверхности для больниц, лабораторий, кухонь, предприятий</p>	 <p>Эргономичность конструкции</p>
 <p>Без содержания полихлорвинила</p>	 <p>Экологически чистый материал</p>

### 3.2. Техничко-экономическая целесообразность повторного использования строительных материалов

При выполнении демонтажных работ, сносе зданий и сооружений часть материалов, изделий и конструкций может быть применена повторно.

Наибольшее количество пригодных ресурсов остается в случае поэлементной разборки отдельных частей зданий и сооружений.

Возможность повторного использования первоначально может устанавливаться на стадии обследования конструкций зданий и сооружений, а окончательное решение принимают

на основании технико-экономических показателей, позволяющих выполнить оценку целесообразности повторного использования ресурсов.

Для установления технического состояния строительных конструкций и изделий осуществляется их обследование. При обследовании изучаются отдельные показатели, которые разнятся в зависимости от вида и типа изделий (таблица 3.3).

Таблица 3.3 – Основные контролируемые показатели конструкций

	Наименование конструкции (дефекта)	Контролируемые показатели
1	2	3
1	бетонные конструкции	геометрические размеры; прочность, проницаемость, щелочность и морозостойкость бетона
2	железобетонные конструкции	геометрические размеры; ширина раскрытия трещин; вид арматуры; прогибы; толщина защитного слоя бетона; прочность, проницаемость, щелочность и морозостойкость бетона; диаметры, количество и расположение арматуры; прочность арматуры; состояние стыков или узлов сборных конструкций
3	каменные конструкции	тип и качество выполнения кладки; вид и марки камней и раствора; геометрические размеры (толщина и высота стен, размеры простенков); прочность камней и раствора; морозостойкость камней; толщина швов кладки; величина пустошовки; вид, диаметры, количество и расположение арматуры; прочность арматуры; влажность кладки
4	металлические конструкции	геометрические размеры; прогибы, предел текучести и временное сопротивление металла; относительное удлинение; ударная вязкость при различных температурах и после механического старения; химический состав стали; предел текучести, временное сопротивление, относительное удлинение, ударная вязкость и химический состав сварных швов, болтов, заклепок; размеры (длина, катет) сварных швов; количество и диаметр заклепок и болтов в узлах; класс точности и класс прочности болтов
5	деревянные конструкции	геометрические размеры; прогибы; порода древесины и ее сорт; прочностные характеристики древесины; влажность древесины; ширина годичных слоев и содержание в них поздней древесины; вид фанеры и ее прочностные характеристики; прочностные характеристики стальных или алюминиевых элементов; степень пропитки древесины антипиренами; длина и глубина лобовых врубок; длина опорной площадки и глубина подрезки растянутой зоны изгибаемых элементов; вид и размеры ослабления сечений врубками, вырезами
6	дефекты и повреждения железобетонных конструкций	ширина раскрытия и глубина трещин, их расположение и характер; размеры и расположение сколов с оголением и без оголения арматуры; степень повреждения арматуры и состояние ее сцепления с бетоном; степень повреждения закладных деталей и состояние стыков и узлов сопряжений сборных конструкций; размеры и глубина пропитки нефтепродуктами; глубина преобразованного слоя бетона; температура нагрева бетона при пожаре
7	дефекты и повреждения каменных конструкций	ширина раскрытия трещин, их характер и расположение; глубина и размеры местных повреждений кладки

Продолжение таблицы 3.3

1	2	3
8	дефекты и повреждения металлических конструкций	размеры ослабления поперечного сечения элементов; размеры трещин в основном металле, сварных швах и околошовной зоне сварных швов; непровары, неполномерность, наличие кратеров, чешуйчатость и др. в сварных швах; подрезы основного металла; общее искривление элемента или конструкции по всей длине между точками закрепления; местные искривления элемента или вмятины; взаимное смещение конструкций; зазоры в местах сопряжения конструкций; смещение болтов и заклепок с разбивочных осей и рисков; глубина коррозии элементов; степень разрушения защитных покрытий и др.
9	дефекты и повреждения деревянных конструкций	степень поражения древесины грибками, вредителями, гнилью; ослабления поперечного сечения элементов, не предусмотренные проектом; размеры и расположение усушечных трещин; общее искривление элемента или конструкции по всей длине между точками закрепления; местное выпучивание элементов; зазоры между элементами; непрочности в клееных конструкциях; деформации площадок смятия; глубина коррозии металлических элементов и деталей и др.

Обследование изделий и конструкций включает: визуальное обследование; определение фактических нагрузок и воздействий; инструментальное обследование.

Визуальное обследование проводится для установления соответствия отдельных конструкций проекту, выявления видимых деформаций, дефектов и повреждений.

Обнаруженные отступления от проекта, дефекты и повреждения наносятся на заранее заготовленные схемы (планы, разрезы, схемы отдельных конструкций и узлов и др.) или описываются в ведомости дефектов. Наиболее характерные и опасные дефекты и повреждения фотографируются.

По результатам визуального обследования делаются предварительные выводы о состоянии конструкций, причинах их деформаций и повреждений. В случае необходимости назначаются мероприятия по предотвращению возможных обрушений.

Фактические нагрузки и воздействия на обследуемое здание определяются следующим образом:

- нагрузка от собственного веса несущих и ограждающих конструкций – по чертежам и каталогам, действовавшим в период строительства, и результатам выборочного контроля путем обмера конструкций и лабораторного определения средней плотности материалов;

- нагрузка от веса кровли – путем вскрытия (одно вскрытие на 1000 м<sup>2</sup>, но не менее трех);

- нагрузки от кранов, транспортных средств и технологического оборудования – по паспортам на соответствующее оборудование и, при необходимости, по результатам специальных измерений;

- снеговые, ветровые и гололедные нагрузки, а также температурные климатические воздействия – по ТНПА;

- нагрузки от оборудования, людей, животных, складированных материалов и изделий – по ТНПА, либо по результатам специальных измерений;

- нагрузка от пылевых отложений определяется – по результатам замеров их толщины и плотности;

- параметры воздействий (вибрационных, тепловых, температурно-влажностных, химических и др.) на конструкции определяются замерами в соответствии с методиками, утвержденными в установленном порядке.

Инструментальное обследование проводится для определения контролируемых параметров конструкций, дефектов и повреждений.

Оценка технического состояния конструкций производится на основе анализа зафиксированных при обследовании дефектов и повреждений, сопоставления контролируемых параметров с установленными проектом или государственными стандартами на конструкции, с результатами поверочных расчетов.

Конструкция может находиться в одном из следующих 4-х несовместных состояний: нормальном; работоспособном; ограниченно работоспособном; неработоспособном (аварийном).

Поверочные расчеты должны выполняться на фактические расчетные нагрузки и с использованием расчетных характеристик материалов.

**Нормальное состояние конструкции** характеризуется отсутствием дефектов и повреждений, соответствием всех контролируемых параметров и фактических нагрузок проектным и нормативным требованиям с учетом нормируемых допускаемых отклонений.

**Работоспособное состояние конструкции** характеризуется наличием таких дефектов и повреждений, при которых ее несущая способность оказывается обеспеченной при действии фактических расчетных нагрузок. При этом значения некоторых контролируемых параметров могут не отвечать требованиям проекта и действующих нормативных документов, если в конкретных условиях эксплуатации не нарушается функциональное назначение конструкции.

**Ограниченно работоспособное состояние конструкции** характеризуется наличием таких дефектов и повреждений, при которых ее эксплуатация возможна только при постоянном контроле состояния и введении специальных ограничений (по нагрузкам или параметрам технологических процессов), обеспечивающих прочность конструкции, в соответствии с действующими нормами, и выполнение ею функционального назначения.

**Неработоспособное (аварийное) состояние конструкции** характеризуется наличием дефектов и повреждений, свидетельствующих о том, что конструкция находится в одном из предельных состояний первой группы, либо ее несущая способность, определенная по результатам поверочных расчетов, не удовлетворяет требованиям действующих норм.

Для конструкций, находящихся в неработоспособном (аварийном) состоянии, необходимо выдать рекомендации по предотвращению обрушения и мероприятиям, обеспечивающим безопасность людей.

После проведения обследования конструкций делаются выводы о целесообразности повторного использования материалов, изделий и конструкций. В ряде случаев выполняется не повторное использование, а их утилизация.

В Республике Беларусь правила повторного использования строительных материалов, изделий и конструкций установлены в ТКП 45-1.03-2009 (02250) «Изделия, материалы и оборудование. Правила повторного использования». Согласно данным ТКП:

- пункт 3.5 **повторное использование** – применение повторно конструкций, изделий и материалов, полученных от разборки зданий и сооружений или отдельных их частей, в том числе лифтов, после их технического обследования и подтверждения необходимой несущей способности и отсутствия дефектов при строительстве данного объекта или других объектов;

- пункт 3.12 **утилизация** – вовлечение материалов в качестве вторичного сырья в новый технологический процесс.

Объем выхода и стоимость годных для повторного использования материалов устанавливаются в проектно-сметной документации на объекты капитального ремонта и реконструкции на основании норм выхода материалов и изделий.

Из общего объема выхода должны быть выделены материалы и изделия, подлежащие повторному использованию на данном объекте. В ходе разборки конструкций и сооружений специальной комиссией, состоящей из представителей заказчика, подрядчика и проектной организации (капитальный ремонт и реконструкция), с участием материально ответственных лиц уточняются объемы выхода материалов и изделий, предусмотренные проектно-сметной документацией. По окончании разборки составляется акт произвольной формы, в котором указываются наименования материалов, полученных в результате демонтажа и годных к повторному использованию, их количество, процент годности, оценочная стоимость. Акт подписывается членами комиссии. На основании акта в установленном порядке соответствующие изменения в проектно-сметную документацию (реконструкция и капремонт) и оформляется ведомость возвратных сумм заказчику.

Оценка стоимости возвратных материалов производится по стоимости аналогичных материалов в ценах, действующих на момент оценки, скорректированных на процент износа материалов.

Материалы, полученные от разборки (возвратные материалы), являются собственностью заказчика – балансодержателя основных средств и приходятся на его баланс (если иное не предусмотрено договором подряда) по оценочной стоимости с отражением по дебету счета 10 «Материалы», субсчет 8 «Строительные материалы», в корреспонденции с кредитом счета 98 «Доходы будущих периодов».

Целесообразность повторного использования материалов на объектах ремонта и строительства устанавливается заказчиком на основе технико-экономического обоснования (с учетом затрат на восстановление и переработку).

Если материалы и изделия, полученные в результате разборки, подлежат повторному применению на объекте, то после приведения их в годное состояние они приравниваются к материалам заказчика. Эти материалы учитываются у подрядчика на забалансовом счете 003 «Материалы, принятые в переработку» независимо от способа передачи их заказчиком (либо по акту в ходе проведения обследования, либо путем оформления накладной на передачу ценностей ТН-2 с сохранением прав собственности заказчика) и не включаются в объем выполненных работ для налогообложения. Стоимость возвратных материалов включается подрядчиком только в объем выполненных работ для статистической отчетности.

Если материалы, изделия не могут быть повторно использованы на этом же объекте, то заказчиком должен быть решен вопрос об их реализации и направлении денежных средств

на уменьшение капиталовложений или источника финансирования. Обеспечение реализации возвратных материалов от разборки является одной из функций заказчика.

Стоимость материалов, непригодных для повторного использования на данном объекте, при наличии возможности реализации определяется по ценам, утверждаемым в установленном порядке на дрова, металлолом и другие отходы, получаемые от разборки, либо по ценам аналогичных материалов с учетом годности к использованию или реализации. На указанную сумму уменьшается сумма финансирования по объекту. В случае невозможности использования или реализации материалов от разборки (что отмечается в акте) их стоимость в возвратных суммах не учитывается.

Затраты по перевозке на свалку полученных в результате разборки материалов, непригодных для дальнейшего использования и реализации (строительный мусор), а также затраты на оплату расходов по содержанию свалки (оплата так называемых талонов и других установленных расходов) включаются в акты выполненных работ и возмещаются заказчиком.

При передаче возвратных материалов подрядчику с целью их повторного использования для производства работ в бухгалтерском учете заказчика делается запись по дебету субсчета 10-7 «Материалы, переданные в переработку на сторону» и кредиту субсчета 10-8 «Строительные материалы».

Подрядчик полученные от заказчика материалы принимает в переработку и учитывает их на забалансовом счете 003 «Материалы, принятые в переработку».

На основании актов выполненных работ заказчик производит списание использованных возвратных материалов записью по дебету счета 20 «Основное производство» с кредита счета 10-7 «Материалы, переданные в переработку на сторону». На сумму включенных в акты выполненных работ возвратных материалов производится уменьшение финансирования заказчика из средств республиканского дорожного фонда (или других целевых источников), что отражается в учете записью по дебету счета 98 «Доходы будущих периодов» и кредиту счета 86 «Целевое финансирование».

По взаимной договоренности между заказчиком и подрядчиком материалы, конструкции, детали, полученные от разборки сооружений и неиспользуемые на объекте, могут быть оприходованы в бухгалтерском учете подрядчика.

Как правило, это производится в случаях, когда подрядчик дает согласие на использование материальных ценностей для собственных нужд, о чем делается соответствующая запись в подписываемом акте, где отмечается, что по взаимной договоренности возвратные материалы приходятся подрядчиком. В этом случае стоимость возвратных материалов определяется в порядке, указанном в первой части статьи, и также направляется заказчиком на уменьшение финансирования по объекту (сумма счета оплаты за выполненные работы уменьшается на стоимость возвратных материалов (с НДС) без уменьшения выполненного объема работ). При этом бухгалтерией заказчика в обязательном порядке выписывается накладная на передачу ценностей и начисляется НДС на стоимость реализуемых материалов. Таким образом, для заказчика эта операция рассматривается как обычная реализация материалов, для подрядчика – как покупка.

Нормы выхода материалов и изделий от разборки конструкций и демонтажа оборудования разработаны для процессов, при которых образуются материалы повторного использования, вторичное сырье и строительный мусор. Отдельные нормы выхода материалов от разборки относятся к нескольким сметным работам, сметным таблицам или группе таблиц в сборниках элементных сметных норм на ремонтно-строительные работы для всех действующих в настоящее время сметно-нормативных баз.

Нормы выхода возвратных материалов учитывают поэлементную разборку конструкций, с первичной очисткой и складированием возвратных материалов и вторичного сырья на рабочем месте.

Кроме определения теоретически возможного выхода возвратных материалов для работ по разборке, необходимо установить механизм расчета реального выхода возвратных материалов для любого конструктивного элемента здания на конкретном объекте. Определение фактического объема выхода выполняется путем введения в расчет «коэффициента использования», отражающего техническое состояние (износ) возвратных материалов и возможность их повторного применения.

Коэффициент использования возвратных материалов ( $K_{II}$ ) представляет собой оценку технического состояния материалов разбираемой конструкции с точки зрения их повторного использования по основным потребительским свойствам. Коэффициент  $K_{II}$  принимается в диапазоне от 1 до 0:

$K_{II} = 1$  – техническое состояние материалов разбираемой конструкции хорошее и все полученные после разборки возвратные материалы могут быть повторно использованы.

Объем получения возвратных материалов на единицу разбираемой конструкции равен нормативному выходу возвратных материалов.

$K_{II} = 0$  – техническое состояние разбираемой конструкции неудовлетворительное, возвратные материалы при разборке не образуются, и весь объем выхода составляет строительный мусор.

При любом значении  $K_{II}$  в диапазоне от 0 до 1 объем выхода возвратных материалов и строительного мусора на единицу разбираемой конструкции определяется по формулам:

– для каждого возвратного материала:

$$O_{BM} = H_{BM} \times K_{II}; \quad (1)$$

– для массы возвратных материалов:

$$O_{MBM} = H_{MBM} \times K_{II}; \quad (2)$$

– для строительного мусора:

$$O_{CM} = H_{CM} + H_{MBM} \times (1 - K_{II}); \quad (3)$$

где  $O_{BM}, O_{MBM}, O_{CM}$  – объем получения соответственно: возвратных материалов; массы возвратных материалов; массы строительного мусора на единицу разбираемой конструкции;

$H_{BM}, H_{MBM}, H_{CM}$  – нормы выхода возвратных материалов в СНИР «Разборка конструкций»;

$K_{II}$  – коэффициент использования возвратных материалов.

Коэффициент использования возвратных материалов определяется визуально, путем инструментального обследования или вскрытия конструкций.

Коэффициент ( $K_{II}$ ) определяется как часть конструктивного элемента (оборудования) здания, материалы от разборки которого могут быть использованы по прямому назначению в аналогичных или других конструкциях на этом же или любом другом объекте строительства и ремонта.

Коэффициент использования возвратных материалов определяется на основе экспертной оценки технического состояния разбираемых конструкций, установленной проектной организацией в процессе предпроектных изысканий (или специальной комиссией по техническому обследованию объекта). Коэффициент использования возвратных материалов корректируется и согласовывается заказчиком и подрядчиком при заключении договора и может быть установлен единым на весь объект или отдельно по каждому конструктивному элементу, а при необходимости, по отдельным демонтажным работам или по конкретному возвратному материалу. Во всех случаях согласованные коэффициенты использования возвратных материалов фиксируются в тексте договора строительного подряда на реконструкцию, капитальный ремонт или снос здания.

Если при разработке сметной документации на объект ремонта коэффициент использования возвратных материалов не установлен, то он по умолчанию принимается равным нулю, т. е. при разборке конструкций и демонтаже оборудования образуется только строительный мусор.

Методические подходы к экологической оценке строительных материалов, согласно стандартам ИСО-14000, могут быть различными, но при этом обязательно анализируются связанные с ними нагрузки на окружающую среду по жизненному циклу материала.

Для обеспечения объективности результатов анализа рассматриваются взаимосвязанные параметры «свойства материала – качество среды».

Оценка экологических эффектов взаимодействия строительных материалов с окружающей средой базируется на комплексе независимых методов:

- сопоставительный анализ (экспертный анализ, метод рассуждений) базируется на имеющейся научной информации, ее анализе и последующих логических рассуждениях. Анализ дает относительную оценку нагрузок на человека и окружающую среду и позволяет расположить сравниваемые материалы в порядке экологического предпочтения, классифицировать их по экологическому качеству. Результатом являются карты экологического выбора строительных материалов, которыми может пользоваться потребитель;

- системный анализ (метод «черного ящика») заключается в анализе и математической оценке всех входящих и выходящих потоков. Используется для расчета «экобаланса», воздействий материала на среду и оценки последствий этих влияний;

- метод графов (ориентированные графы для решения многокомпонентных эколого-экономических задач) позволяет оценить прямые и обратные связи: «качество строительства – качество среды»;

- квалитетрический метод используется для оценки интегрального качества материала.

Экологическая оценка нагрузок строительных материалов на окружающую среду должна проводиться по пяти составляющим биосферы: атмосфере, гидросфере, литосфере

(почве, сырью), энергии и биотическим компонентам (включая человека). При экологической оценке материалов, в первую очередь, необходимо учитывать негативные воздействия, приводящие к обострению глобальных экологических проблем, таких как парниковый эффект, повреждение озонового слоя, загрязнение почв, истощение ресурсов и т. д.

### **3.3. Рациональные области повторного использования строительных материалов и конструкций**

#### 3.3.1. Повторное использование строительных материалов

**Бетон.** В результате разборки зданий и сооружений образуется значительное количества так называемого бетонного лома. Переработка бетонного лома направлена в настоящее время в основном на получение вторичных заполнителей и высвобождение арматурной стали.

Широкое распространение получила технология, когда оборудование для получения заполнителя из бетонного лома устанавливается на месте демонтажных работ, а полученный заполнитель используется, в основном, для устройства щебеночной подготовки дорожных одежд и оснований. Эффективной является технология, предусматривающая получение фракционированного щебня и использование его при заводском производстве бетона и железобетонных конструкций.

Разрушение конструкций при утилизации бетонного лома может производиться ударными методами, раскалыванием, резкой, дроблением. Из средств разрушения ударными методами применяют гидравлические и пневматические молоты, раскалыванием – гидроклинья; резкой – алмазные круги, оборудование для плазменной резки и др.; дроблением – бетоноломы с перемещаемыми прямыми или изогнутыми зубьями, подвешиваемые на экскаваторе вместо ковша. При разрушении крупногабаритных конструкций может быть использована энергия взрыва и расширения. Применение расширяющихся реактивов позволяет уменьшить шум, вибрации и выброс строительного мусора при разрушении конструкций. Ряд расширяющихся реактивов разработан на основе извести.

Разработаны установки первичного дробления некондиционного бетона и железобетона с применением дробильно-сортировочного оборудования, используемого при переработке битого камня из карьеров. Коэффициент полезного действия таких установок ниже, чем камнедробильных. Для разрушения железобетонных конструкций длиной до 12 м применяют гидравлические прессы, развивающие давление до 2 МПа.

Арматура из бетона извлекается с помощью магнитных сепараторов. После извлечения арматуры бетонный лом поступает на щековую дробилку для получения вторичного щебня.

Установлено, что применение крупных заполнителей из дробленого бетона позволяет получать бетон той же или незначительно (на 5–10 %) ниже прочности бетона на природных заполнителях.

**Кирпич.** Нет особых ограничений для вторичного использования керамических материалов, но, к сожалению, часто кирпичи и черепица смешаны с отходами, образовавшимися при сносе или разборке зданий. Для повторного применения элементов бывшей кирпичной

кладки никаких ограничений нет, так как контакт между керамическим материалом и подземными или поверхностными водами не создает токсичных материалов.

Керамические изделия, безусловно, очень прочный материал, который выдержал испытание временем. Поэтому не прекращается поиск вариантов переработки кирпичей сносимых строений.

Щебень из глиняных кирпичей может быть использован как подсыпка при выравнивании поверхностей и как заполнитель дренажных систем. Измельченный щебень может заменить натуральные материалы, такие как песок.

Фракции размером частиц до 4 мм, как правило, применяются для дренажных засыпок. Более грубые частицы могут быть использованы в других целях, например, в качестве наполнителя в бетон и раствор. Щебень, который применяется для этого, должен быть свободен от примесей, которые могут вымываться водой, вызывая загрязнение грунтовых вод. В некоторых случаях дробленые компоненты старой кладки могут входить в состав смеси, которая также может содержать и природные ингредиенты. Практика использования кирпичных отходов от сноса зданий и сооружений для засыпки и выравнивания дорог распространена в странах, не имеющих достаточного количества каменных карьеров.

Щебень глиняного кирпича, черепицы и другие отходы кладки могут быть использованы в дорожном строительстве, особенно в условиях дефицита натуральных материалов.

Хотя продукты измельчения кладки строений находят применение в строительстве дорог, они не используются в качестве гравия для магистралей интенсивного движения из-за своих деформационных качеств.

Лом кирпича, черепицы от снесенной кладки обычно не создает проблем, если он не загрязнен примесями, такими как минеральная вата.

Хотя неизбежны затраты при сносе и транспортировке вторичного материала к месту повторного использования, применение керамического материала может иметь более низкую стоимость, чем использование первичного сырья.

**Кровельные материалы.** В связи с массовой заменой отслуживших свой срок рубероидных кровель новыми долговечными кровельными покрытиями с каждым годом увеличивается объем получаемых при этом битумосодержащих отходов.

В процессе тепловой реабилитации ряда зданий и сооружений возникла необходимость дополнительного утепления покрытий реконструируемых зданий. Во многих случаях это мероприятие также нельзя осуществить без снятия старой рулонной или мастичной кровли. Объем получаемых при разборке рулонных и мастичных кровель достаточно ценных отходов (из-за содержания в них до 70 % по массе битума) достигает 15–30 тонн на 1 000 м<sup>2</sup> кровли.

Менее ценными по содержанию битума, но часто не уступающими им по объему, являются отходы асфальтобетона от стяжек, как правило, разрушающихся при разборке кровли. При толщине стяжки 30 мм количество отходов асфальтобетона на 1 000 м<sup>2</sup> разбираемой многослойной кровли составит до 40 т. В большинстве случаев указанные отходы повторно не используют и вывозят на свалку, загрязняя окружающую среду.

Сравнительно недавно стали разрабатываться методы комплексной переработки и использования битумосодержащих кровельных отходов. Например, предлагалось разрезать водоизоляционный ковер на фрагменты, выдерживать их в разогретом битумосодержащем растворе (расплаве) битума и, после «восстановления» первоначальных свойств, укладывать в кровлю с уплотнением. Возможно применение второго способа – старое рубероидное покрытие измельчают, перемешивают при нагревании и одновременно обезвоживают. Готовую массу в последующем наносят на кровельное основание и, после ее охлаждения, прикатывают катком.

Для поиска более эффективных методов утилизации битумосодержащих кровельных отходов были проведены специальные эксперименты. Установлено, что измельченные битумосодержащие кровельные отходы можно применять при переработке и повторном использовании отходов асфальтобетона, получаемого при ремонте дорожных покрытий.

При разборке многослойных кровель практически полностью разрушаются асфальтобетонные стяжки. Это связано, с одной стороны, с высокой адгезией материалов водоизоляционного ковра к асфальтобетону, а с другой, – с недостаточной его морозостойкостью.

Исследование возможности переработки и использования отходов асфальтобетона от разборки стяжек показало следующее:

- в кусковых отходах асфальтобетона от разборки стяжки практически не нарушается первоначальное соотношение количества битума и удельной поверхности заполнителя;
- кусковые отходы асфальтобетона можно измельчить с сохранением целостности зерен заполнителя в щековой дробилке в подогретом состоянии;
- уменьшить удельную поверхность заполнителя в асфальтобетоне можно удалением пылевидных частиц, образовавшихся при разрушении зерен заполнителя, отсевом или промывкой водой.

Применение регенерированного асфальтобетона возможно при устройстве и ремонте стяжки на насыпных утеплителях, а также бортиков в местах примыкания кровли к вертикальным поверхностям стен, парапетов и вентиляционных шахт. При этом разогрев асфальтобетонной смеси до размягчения битума можно осуществлять как до укладки в конструкцию, так и после.

**Пластмассы.** Повторно переработанные изделия из пластика могут использоваться для производства огромного количества новых изделий: от простых пластиковых бутылок и емкостей до деталей для современных автомобилей.

В последнее время потребность снизить затраты в процессе производства и выполнять требования законодательства позволила вторичной переработке пластика получить широкое распространение во многих странах мира.

Переработанные пластмассы выбираются производителями по нескольким причинам. Одним из основных факторов является *цена*. Почти во всех случаях переработанный материал имеет более выгодную цену в сравнении со своим оригинальным аналогом. Вторым по важности фактор – *экологичность*. Переработанные пластмассы интересны тем покупателям, которых волнуют проблемы окружающей среды, и компаниям, которые используя вторичный материал, получают преимущества, называя свои изделия «экологически благоприятными».

Еще одно преимущество состоит в следующем:

- сокращается количество отходов, которые надо утилизировать (удалять, сжигать);
- снижаются затраты на энергию и сырье для производства оригинальных пластмасс и соответственно уменьшаются выбросы и отходы, связанные с производством оригинальных материалов.

Стимулируют рост использования вторичного сырья законодательные акты об использовании вторичного сырья в новых изделиях.

Восстановленные материалы могут отличаться по своим свойствам от оригинальных пластмасс вследствие деструкции во время их длительного использования и при повторной переработке, а также из-за наличия примесей других полимеров, загрязнений и бумаги. Определяющим фактором является источник восстановленного материала, например, это могут быть промышленные или бытовые отходы.

Вторичные материалы в большей степени подходят для изделий, в которых цвет не особо важен. Пластмассы из бытовых отходов обычно имеют разнообразные цвета, и вторичный полимер получается темно-зеленым или черным. При незначительной окраске можно добавлять красители, чтобы скрыть исходный цвет. Иным решением является применение восстановленных пластмасс для изготовления деталей, скрытых от глаз окружающих.

Вторично переработанные пластмассы можно использовать в большинстве технологических процессов, включая литье под давлением, компрессионное прессование, экструзию, экструзию с раздувом рукава, термоформование и ротационное формование.

Наиболее подходящими из них являются те, которые имеют широкий диапазон технологических параметров, а именно компрессионное литье, литье под давлением и экструзия. Другие способы формования можно применять только в тех случаях, когда вторичный полимер имеет свойства, близкие к оригинальному. Чтобы обеспечить возможность введения большей доли материала, применяют специальные технологические приемы, среди которых:

- соэкструзия – процесс получения многослойного изделия со средним слоем из восстановленного материала, образующего «сэндвич» с боковыми слоями из оригинального полимера;

- многокомпонентное литье под давлением («сэндвич-литье»), где восстановленные полимеры образуют сердечник в толстостенном изделии, в котором стенки сделаны из оригинального материала;

- экструзия и литье под давлением вспененных полимерных материалов – здесь для образования пор в материале используются газы-порообразователи; таким образом, снижается вес изделий;

- экструзия и литье под давлением «смешанных» пластмасс – технологии, которые успешно применяются при введении значительной доли ПЭ в качестве связующего.

Преимущество этих технологий в том, что часто они не требуют промывки материалов перед переработкой, а недостаток – низкая прочность и высокая ползучесть. Данные сложности в значительной степени удается преодолеть путем усиления контроля за сырьевыми материалами и применения наполнителей.

## 3.3.2. Повторное использование строительных изделий и конструкций

При выполнении работ по разборке зданий и сооружений должны быть выделены конструкции, подлежащие повторному использованию. По окончании разборки составляется акт произвольной формы, в котором указываются наименования материалов, полученных в результате демонтажа и годных к повторному использованию, их количество, процент годности, оценочная стоимость.

Если повторное использование конструкций нецелесообразно, то они подлежат утилизации.

В таблице 3.4 представлен перечень повторно используемых строительных конструкций.

Таблица 3.4 – Повторно используемые строительные изделия и конструкции

Разбираемые изделия и конструкции	Получаемые материалы– изделия–конструкции	Область применения
1	2	3
Кровельное покрытие из листовой стали	Сталь кровельная, металлолом	При ремонте и реконструкции кровель из листовой стали
Кровельное покрытие из волнистых асбестоцементных листов	Листы асбестоцементные, щебень асбестоцементный	Для ремонта асбестоцементных кровель; заполнитель для низкомарочных бетонов
Парапетная металлическая решетка	Звенья металлической решетки, металлолом	Для устройства парапетов–ограждений балконов и лоджий–перил при ремонте и реконструкции зданий Устройство заборов и декоративных ограждений при благоустройстве территории
Водосточные трубы	Части водосточных труб, металлолом	По прямому назначению
Стропильная система	Бревна или брусья до 240 мм–доски, технологическая щепастружка	Для ремонта перекрытий–полов и крыш жилых домов–зданий и сооружений–изготовления погонажных и мелкоштучных элементов–каркасных и щитовых конструкций–элементов встроенной мебели–опалубки. Изготовление арболита–фибролита–опилкобетона–древесностружечных плит и т. п.
Сборные ж/б стропила–плиты покрытия	Сборные ж/б несущие элементы крыши (стропила–плиты покрытия и т. д.), бетонный щебень и песок различных фракций, металлолом	При ремонте и реконструкции жилых домов. Устройство дорожных покрытий. Заполнители для бетона. Подготовка под асфальтовые и бетонные полы
Монолитные ж/б конструкции	Бетонный щебень и песок различных фракций, металлолом	Заполнитель для бетона. Подготовка под асфальтовые и бетонные полы

Продолжение таблицы 3.4

1	2	3
Чердачные перекрытия по деревянным балкам	Балки, доски, технологическая щепка, стружка, опилки, щиты наката, горбыль	Для ремонта перекрытий–полов и крыш жилых домов–зданий и сооружений–изготовления погонажных и мелкоштучных элементов–каркасных и щитовых конструкций–элементов встроенной мебели–опалубки
Засыпка из шлака, песка, керамзита и др.	Материал засыпки	По прямому назначению
Металлические балки и прогоны	Балки из прокатных профилей, балки составного сечения, погонажные изделия из проката, металлолом	Для устройства перекрытий, лестниц, перемычек, усиления простенков стен, колонн и др. при ремонте и реконструкции жилых домов, зданий и сооружений
Стены кирпичные–столбы–арки	Кирпич и половняк, щебень и песок различных фракций, мелкие блоки	Перекладка и устройство стен и перегородок при ремонте и реконструкции. Заполнители для низкомарочных бетонов. Подготовка под асфальтовые и бетонные покрытия
Стены бетонные и ж/б из блоков и панелей–	Сборные ж/б блоки и панели стен, сборные ж/б элементы, бетонный щебень и песок различных фракций, металлолом	Строительство подсобных–складских и других одноэтажных временных сооружений. Устройство дорожных покрытий. Заполнители для бетона. Подготовка под асфальтовые и бетонные покрытия
Стены деревянные рубленые из бревен	Бревна, брус, технологическая щепка–стружка–опилки	По прямому назначению. Изготовление арболита–опилкобетона–древесно–стружечных плит и т. п.
Оконные заполнения	Оконные блоки–створки–фрамуги–коробки–оконное стекло–бой стекла–скобяные изделия и подоконные доски	Для устройства оконных заполнений при ремонте и реконструкции
Дверные заполнения	Дверные блоки–коробки–полотна–скобяные изделия–наличники	Для устройства дверных заполнений при ремонте и реконструкции
Лестница на металлических косоурах	Металлические балки, звенья металлических ограждений, ступени, щебень и крошка различных фракций, поручни, металлолом	По прямому назначению: для устройства лестниц при ремонте и реконструкции жилых домов–зданий и сооружений. Декоративное покрытие бетонных поверхностей. Заполнители для бетона
Лестница на железобетонных косоурах	Ж/б балки, звенья металлических ограждений, ступени, щебень и крошка различных фракций, поручни, металлолом	Для устройства лестниц при ремонте и реконструкции жилых домов–зданий и сооружений
Фундаменты бутовые, бутобетонные, железобетонные	Бутовый камень, щебень и песок различных фракций	Для ремонта фундаментов жилых домов–зданий и сооружений. Заполнители для низкомарочных бетонов. Подготовка под асфальтовые и бетонные покрытия

### **3.4. Технология повторного применения конструкционных материалов и изделий**

#### 3.4.1. Технология переработки изделий из бетона и железобетона

В настоящее время большая часть строительных отходов вывозится на полигоны и свалки, в том числе несанкционированные, что отрицательно сказывается на экологической обстановке.

В то же время отходы строительного производства представляют собой вторичное сырье, использование которого после переработки на щебень и песчано-гравийную смесь может снизить затраты на строительство новых объектов и одновременно позволит уменьшить нагрузку на городские полигоны, исключить образование несанкционированных свалок.

Переработка строительных отходов осуществляется в основном на дробильно-сортировочных установках. Щебень от дробления строительных отходов представляет собой рыхлосыпучую смесь кусочков зернистого материала различной формы и различных фракций.

В зависимости от исходного материала, поступившего на дробление, получают разные по своим прочностным характеристикам типы щебня.

Использование вторичного щебня допускается:

- при изготовлении бетонных смесей для производства блоков стен подвалов;
- при изготовлении камней бетонных стеновых и других бетонных изделий;
- в дорожном строительстве при устройстве оснований дорожных покрытий, подстилающих слоев тротуаров и др.

Получаемый щебень имеет низкую цену и обладает всеми необходимыми свойствами для применения в вышеупомянутых целях.

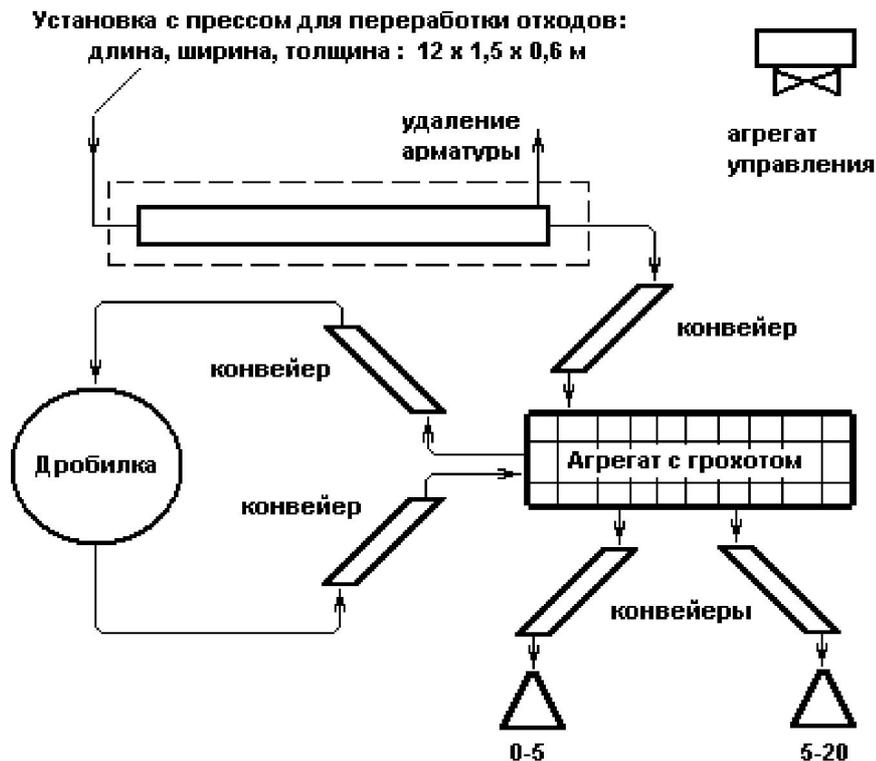
В мировой практике организация производства и использования вторичного заполнителя из бетонного лома осуществляется по трем вариантам:

1. Бетонный лом с места демонтажных работ транспортируется на завод по производству заполнителей.
2. Оборудование для получения заполнителя из бетонного лома устанавливается непосредственно на месте демонтажных работ.
3. Получение заполнителя из бетонного лома и производство на его основе организовано на месте демонтажных работ.

В современной практике получил распространение второй вариант переработки и использования бетонного лома, когда полученный вторичный заполнитель используется в основном для устройства щебеночной подготовки дорожных покрытий и оснований.

Однако наиболее эффективным является третий вариант. Полученный вторичный щебень может быть использован в качестве крупного заполнителя при заводском приготовлении бетонов прочностью от 5 до 30 МПа.

Технологическое оборудование, используемое для переработки некондиционного бетона: установки первичного дробления (разрушения), вторичного дробления и фракционирования (рисунок 3.2).



**Рисунок 3.2 – Схема переработки железобетонных изделий**

Общие принципы создания технологического оборудования по переработке бетона и железобетона базируются на возможности применения существующего дробильно-сортировочного оборудования, используемого при переработке битого камня из карьеров. Однако при определении конструктивных параметров дробильной установки, предназначенной для железобетона, необходимо учитывать наличие арматуры и невозможность точного контроля формы и размеров подаваемого материала.

В связи с этим определенные узлы дробильных установок для железобетона значительно более металлоемки и размер их, по сравнению с аналогичными узлами обычных дробильных установок такой же производительности, больше. Вызвано это, прежде всего необходимостью пропускания арматуры через установку.

Исходными данными для выбора необходимого типа установки являются габариты подлежащих переработке железобетонных изделий.

Разрушение некондиционного бетона и железобетона осуществляется следующим образом: на колосниковый стол краном укладывается железобетонное изделие или посредством переносного бункера выгружаются бетонные отходы; на разрушаемое изделие или отходы опускается рычажный пресс (нож), работа которого заключается в чередовании цикла опускания и поднятия; по мере разрушения изделия дробленый материал проваливается через колосниковую решетку стола на ленточный конвейер и переносится на установку вторичного дробления.

Куски арматурной стали из массы дробленого бетона, прошедшие через колосники стола, извлекаются в зоне выхода ленты конвейера магнитным отделителем. Арматурный каркас, очищенный от бетона, с колосникового стола снимается подъемным механизмом.

После извлечения арматуры из бетона разрушаемых железобетонных изделий ее измельчают на гидравлических или ручных ножницах.

Для удаления арматурных изделий, извлеченных из бетона, наиболее широкое распространение за рубежом получили магнитные надконвейерные сепараторы, стационарные магниты и магнитные барабаны на натяжной станции конвейера.

Технология удаления металла может быть описана следующим образом: после установок первичного дробления используется магнитный надконвейерный сепаратор и на конечной стадии конвейера – магнитный барабан. Надконвейерный магнитный сепаратор обеспечивает извлечение крупных кусков арматуры с верхнего слоя дробленого материала, а магнитный барабан собирает более мелкие обломки арматуры, лежащие в нижнем слое материала.

Извлечение арматурных изделий из бетона до установок вторичного дробления обеспечивает возможность измельчения и фракционирования заполнителей из дробленого бетона по технологии, аналогичной технологии для получения естественных заполнителей, и использования обычных дробильных установок, применяемых при переработке природного камня в карьерах.

Для обеспечения мобильности и гибкости в технологии переработки бетона и железобетона и получения фракционированного заполнителя из дробленого бетона целесообразно использовать агрегат мелкого дробления и сортировки.

Материал, подлежащий фракционированию, поступает с установки вторичного дробления в приемный лоток, оттуда по боковому конвейеру попадает на виброгрохот. На виброгрохоте материал разделяется на три фракции с размером 0–5, 5–20, 20–40 мм и поступает в расположенный под грохотом бункер с тремя отсеками.

Под отсеки необходимо подвести отвальные конвейеры. Материал крупностью более 40 мм, не прошедший сквозь сита грохота, поступает в конусную дробилку. Из-под дробилки возвратным конвейером материал подается в приемный лоток и боковым конвейером – на виброгрохот.

Таким образом, создается замкнутый цикл фракционирования и додрабливания. Готовый щебень отвальным конвейером может направляться в автотранспорт или на склад готовой продукции.

Во всем мире заметно повысился интерес к повторному использованию бетона в строительном производстве. Ранее повторно использовалась лишь незначительная часть разрушаемого бетона, в основном в качестве подстилающего слоя (щебеночной подготовки) при возведении автомагистралей, прокладке железных дорог и устройстве временных площадок. В последнее время вторичный заполнитель из бетонолома получил более широкое применение.

### 3.4.2. Оборудование, применяемое при переработке бетонных и железобетонных изделий

Мобильная дробилка (рисунок 3.3) предназначена для эффективного дробления прочных руд и строительных отходов.

Основные особенности мобильной дробилки:

1. Может использоваться как в открытых, так и в закрытых системах.
2. Большая производительность (до 800 т/ч).
3. Оптимизированная камера дробления.
4. Автоматизация технологических процессов.



**Рисунок 3.3 – Мобильная дробильная установка**

Молотковая мельница (рисунок 3.4) подходит для переработки всех видов пород с прочностью на сжатие менее 320 МПа.

Особенности молотковых мельниц:

1. Большой коэффициент дробления и большая производительность.
2. Низкая затрата энергии и равномерные кубовидные фракции.
3. Простой дизайн и компактная структура.
4. Низкая инвестиция и простая эксплуатация.

Конструкция и схема молотковой мельницы: молотковая мельница состоит из стальной опоры, ролика, колосникового грохота и т. д. Верхняя и нижняя часть опоры прочно сварены, а другие части соединяются болтами.

Принцип действия молотковой мельницы: двигатель приводит главный подшипник в движение, и ролик начинает вращаться. Материалы, помещенные в дробильную камеру, разбиваются и дробятся быстро движущимися молотками. Далее те, которые раздроблены до нужного размера, через колосниковый грохот собираются как фракции, а другие снова транспортируются в дробильную камеру, где дробятся повторно. Влажность материалов должна быть ниже 20 %.



Рисунок 3.4 – Молотковая мельница

Таблица 3.5 – Технические характеристики молотковых мельниц

Модель	CM4008-75	CM4012-90	CM4015-132
Диаметр ролика, мм	750	900	1150
Длина ролика, мм	800	1200	1500
Скорость вращения ролика, об/мин	800–1000	800–1000	550–800
Размер входного отверстия, мм	320×930	400×1200	500×1500
Макс. размер входа, мм	<70	<90	<100
Размер выхода, мм	0–3	0–3	0–3
Производительность, т/ч	35–50	50–70	70–100
Мощность двигателя, кВт	75	90	132
Количество молотков	18	16	32
Габарит Д×Ш×В, м <sup>3</sup>	2310×1665×1610	2840×2100×2020	3720×2650×2540

### 3.5. Технология повторного применения изоляционных и отделочных материалов и изделий

#### 3.5.1. Переработка и вторичное использование битумосодержащих кровельных материалов

За годы прошлого интенсивного промышленного и жилищного строительства, при минимизации затрат на само сооружение зданий и охрану окружающей среды, скопились миллионы тонн никем не востребованных отработавших свой срок битумосодержащих кровельных материалов. Эти отходы являются трудно разложимыми в естественных условиях веществами и сильно загрязняют окружающую среду. Их утилизация требует значительных затрат.

Каждый год появляются новые предложения по использованию различных отходов в промышленности. Приведенная ниже разработка претендует на вклад в дело по сохранению природной среды.

Разработка технологии переработки битумосодержащих кровельных материалов (ПБМ) начата производственным участком ГК «Инэковир» в 2000 году. В 2003 году был доработан и запущен первый комплекс технологической линии ПБМ – мини-завод для переработки битумосодержащих кровельных отходов (рисунок 3.5). Он мог разделять кровельные отходы на битум-порошок и битумизированный картон (без термической обработки), затем из битум-порошка выплавлялся чистый битум.



**Рисунок 3.5 – Мини-завод по переработке битумосодержащих отходов**

Для обеспечения полного замкнутого безотходного цикла переработки отходов разработана технология производства битумно-полимерного наплавляемого материала, использующегося для устройства и ремонта кровель, а также для гидроизоляции. В производстве рулонных материалов используется до десяти видов отходов, в том числе на 100 % используются старые кровельные отходы.

Одновременно развивалось и модернизировалось выпускаемое для переработки оборудование. Повышалась его надежность. Все выпускаемое оборудование разработано специалистами ГК «Инэковир», производится на производственном участке ГК «Инэковир» и эксплуатируется бесперебойно в течение всего года, в том числе и зимой, на базе в Калининграде. На участках по переработке кровельных отходов, выпуску рулонных кровельных материалов и битума работает оборудование, тождественное серийно выпускаемому.

В Калининградской области с июня 2005 года по декабрь 2009 года:

- переработано более 3 203 000 кг кровельных и сопутствующих отходов;
- произведено 1 725,682 тонн битума;
- произведено 49 240 рулонов кровельного материала «Экорубит», что составляет 492 240 м<sup>2</sup>.

Приведенные выше объемы получены несмотря на то, что оборудование работало не на полную мощность. Это связано с тем, что произведённые материалы не продавались, а использовались предприятием для ремонта кровель в Калининграде и области.

Оборудование подходит не только для переработки кровельных отходов, но и для переработки:

- бракованных гипсовых плит, образующихся на заводе по выпуску гипсокартонных изделий;
- пенополистирола (для производства полистиролбетонных изделий для применения в качестве фасадного или кровельного утеплителя).

На данный момент ассортимент получаемой продукции при переработке отходов мягких кровель составляет:

- чистый битум строительный (рисунок 3.6);
- подкладочный рулонный наплавляемый битумно-полимерный материал;
- защитный (бронированный) рулонный наплавляемый битумно-полимерный материал;
- битумно-минеральная масса;
- различные битумные и битумно-полимерные мастики;
- битум-порошок для применения в дорожном строительстве.



**Рисунок 3.6 – Чистый битум, полученный из отходов по технологии ПБМ**

Основным сырьем для получения рулонных битумно-полимерных материалов является старый (отработавший) битумный кровельный ковёр. В качестве пластификатора используется вторичное сырьё в виде отработанных промышленных и моторных масел на органической основе, мазутные остатки. В качестве модификаторов также используется вторичное сырьё, например, резиновая крошка и отслужившие свой срок упаковочные и теплоизолирующие материалы из пенополистирола, полиэтилена, полипропилена (рисунок 3.7).



**Рисунок 3.7 – Линия по выработке современных битумно-полимерных наплавляемых материалов**

Товарные составляющие (которые необходимо приобретать):

- Основа – стеклохолст;
- Посыпка – вермикулит;
- Упаковочная плёнка – плёнка кровельная, термоусадочная.

Для производства чистого битума марки БН-Э необходимы только отходы мягких кровель, а также отработка масла либо отходы мазута.

Рассматриваемая технология, за счёт своей эффективности, позволяет обеспечивать положительную рентабельность как самой переработки отходов битумных кровельных материалов, так и следующей за ней переработки полуфабрикатов в готовую продукцию: товарный битум, битумные мастики, рулонный кровельный материал и т. д.

Целевыми потребителями произведённого рулонного материала являются компании, осуществляющие ремонт мягких кровель, организации, осуществляющие торговлю строительными материалами, структуры ЖКХ, строители новых зданий и сооружений (как жилых, так и промышленного назначения).

Основные потребители битума, мастик и битум-порошка: строительные и кровельные компании, а также предприятия, связанные с дорожным хозяйством.

Главным преимуществом перед конкурентами является низкая себестоимость продукции, полученной на данном комплексе, при одинаковом качестве с аналогичными материалами, произведёнными по традиционным технологиям.

В месяц на мини-заводе можно получить около 120–130 тонн чистого битума (если перерабатываются кровельные битумосодержащие отходы).

Производительность линии при минимальной комплектации составляет 2 000 рулонов в месяц и легко масштабируется.

Комплекс может работать круглый год. Отходов, запасённых за строительный сезон (в среднем с апреля по октябрь) хватает, чтобы бесперебойно работать остальные 4–5 ме-

сяцев, накапливая готовую продукцию на складе. В сезон же продукция расходуется фактически моментально и зачастую по ещё более высоким ценам.

Оборудование поставляется в трёх различных комплектациях, различающихся по ассортименту готовой продукции, производительности, и, соответственно, цене.

Коммерческие предприятия смогут расширить сферу деятельности, обеспечивая регион недорогими и качественными стройматериалами для муниципальных объектов.

Полная окупаемость при хорошей организации работы и адекватной ценовой политике составляет 6–12 месяцев (зависит от комплектации).

### 3.5.2. Переработка и вторичное использование теплоизоляционных материалов и изделий

При переходе на новые требования к теплотехническим свойствам ограждающих конструкций в Республике Беларусь остро встал вопрос недостаточного количества эффективных утеплителей, производимых предприятиями республики. В нашей стране выпускаются такие утеплители, как ячеистый бетон (плотность 500–600 кг/м<sup>3</sup>), керамзит (плотность 250–350 кг/м<sup>3</sup>), минеральная вата (выпускается в основном плотностью 125 и 175 кг/м<sup>3</sup>), пенополистирол (плотность 25–50 кг/м<sup>3</sup>), полистиролбетон (плотность 23–350 кг/м<sup>3</sup>). Однако, из-за отсутствия собственной сырьевой базы, объемы выпускаемой продукции невелики, а стоимость теплоизоляционных изделий высока.

Предлагаемые зарубежными фирмами утеплители на базе стеклянного и базальтового волокна (фирмы *Paroc*, *Isover*, *Ursa*, *Rockwool*), пенополистирола (*Styrofoam*) являются весьма эффективными, но их применение сдерживается высокой стоимостью готовой продукции. Следовательно, необходимо получить материал, который будет дешевле минеральной ваты и пенополистирольного утеплителя при одинаковой величине сопротивления теплотеплопередаче.

В Республике Беларусь ряд заводов и фирм освоили выпуск полистиролбетонного утеплителя. Однако по действующему СТБ 1102-98 его теплоизоляционные свойства в 1,4 раза ниже, чем у минваты. Минимальная плотность полистиролбетонных плит по СТБ 1102-98 составляет 230 кг/м<sup>3</sup>. Тогда как в России в соответствии с ГОСТ Р 51263-99 возможно получение полистиролбетона с плотностью 150 кг/м<sup>3</sup>.

В Полоцком государственном университете совместно с РУПП «Витязь» выполнены работы по разработке и организации промышленного выпуска плит из полистиролбетона с плотностью 150, 200, 250 кг/м<sup>3</sup> (таблица 3.6). Технология изготовления полистиролбетонных плит адаптирована к условиям РУПП «Витязь».

Плиты полистиролбетонные на основе отходов пенополистирола изготавливаются в следующей последовательности.

С площадки складирования расходный объем ( $V_p = 2 \text{ м}^3$ ) пенополистирольных вкладышей (рисунок 3.8) доставляется в цех дробления, где вручную складывается в штабель высотой до 1,5 м.

Таблица 3.6 – Физико-механические показатели полистиролбетона

Наименование показателя	при марке по плотности, кг/м <sup>3</sup>		
	150	200	250
Предел прочности при сжатии (при 10 % деформации), МПа	0,075	0,124	0,23
Предел прочности при изгибе, МПа	0,042	0,074	0,124
Теплопроводность в сухом состоянии при температуре (25±5) °С, Вт/(м·К)	0,049	0,063	0,071



**Рисунок 3.8 – Пенополистирольный вкладыш**

Со штабеля пенополистирольные вкладыши вручную подаются на установку для резки пенополистирольных вкладышей (рисунок 3.9). Производительность установки – 3 м<sup>3</sup>/час. Установка для резки пенополистирольных вкладышей и дробилка пенополистирольных вкладышей разработаны специалистами РУПП «Витязь» совместно с представителями Учреждения образования «Полоцкий государственный университет».



**Рисунок 3.8 – Установка для резки плитного пенополистирола – отхода основного производства**

Получаемые после резки куски пенополистирола, ширина которых не должна превышать 400 мм, складировать в штабель высотой до 1,5 м.

Из штабеля куски пенополистирола вручную подаются на дробилку пенополистирольных вкладышей (рисунок 3.9), производительность которой составляет 2 м<sup>3</sup>/час.



**Рисунок 3.9 – Дробилка пенополистирольных вкладышей**

С дробилки измельченная крошка пенополистирола по пневмотрубопроводу поступает в накопительный бункер объемом  $V = 18 \text{ м}^3$ .

На участке производства плитного утеплителя предусматривается приготовление полистиролбетонной смеси, которое осуществляется в следующей последовательности:

- дозирование и загрузка цемента;
- дозирование и загрузка воды;
- дозирование и загрузка пластифицирующей добавки;
- дозирование и загрузка крошки пенополистирольной.

Из расходного бункера цемент поступает на весовой дозатор, после чего он поступает в бетоносмеситель (рисунок 3.10), рабочий объем которого  $V_p = 0,75 \text{ м}^3$ . Время дозирования и загрузки цемента составляет 3 мин.

Вода дозируется при помощи дозатора. С дозатора вода поступает в бетоносмеситель (время дозирования и подачи воды – 3 мин).

Рабочий раствор добавки с концентрацией 10 % готовится путем добавления горячей воды с температурой не более 80 °С.

Через 3 мин после подачи воды в бетоносмеситель вручную вливается рабочий раствор добавки. Добавка дозируется с использованием емкости, имеющей отметки, соответствующие рабочему объему раствора добавки на один замес.

Из накопительного бункера через затвор дозаторная емкость наполняется пенополистирольной крошкой в количестве 20,8 кг. Время заполнения емкости составляет 1 мин.



**Рисунок 3.10 – Бетоносмеситель**

Измельченный пенополистирол с дозаторной емкости при помощи эжектора по пневматическому трубопроводу поступает на РБУ в бетоносмеситель. Время загрузки и дозирования измельченного пенополистирола – 5 мин.

Время перемешивания в бетоносмесителе компонентов полистиролбетонной смеси после загрузки пенополистирольной крошки – 5 мин.

**Выгрузка полистиролбетонной смеси.** Рабочий объем полистиролбетонной смеси ( $V = 0,5 \text{ м}^3$ ) из бетоносмесителя через затвор выгружается в кузов автосамосвала. Время выгрузки полистиролбетонной смеси – 3 мин. Рабочий объем полистиролбетонной смеси в кузове автосамосвала составляет  $V = 1 \text{ м}^3$  и заполняется за 2 замеса. Время приготовления  $1 \text{ м}^3$  полистиролбетонной смеси – 38 мин.

Полистиролбетонная смесь доставляется в формовочный цех и выгружается в расходный бункер, объемом  $V = 1 \text{ м}^3$ .

Расходный бункер с полистиролбетонной смесью кран-балкой, грузоподъемность которой составляет 3,2 т, доставляется к месту формовки.

Послойное заполнение кассет (рисунок 3.11) и уплотнение полистиролбетонной смеси производится вручную. Время формования  $1 \text{ м}^3$  полистиролбетонной смеси составляет 15 мин.

После завершения термической обработки полистиролбетона кассеты кран-балкой перемещаются к распалубочному посту.

Кассеты распалубливаются, вручную очищаются, смазываются эмульсолом и собираются в проектное положение. Время распалубки и подготовки формы составляет 7 мин.

Плиты после распалубки вручную переносятся к месту временного складирования для набора плитой отпускной прочности (время набора отпускной прочности устанавливается по значению отпускной прочности, согласованной с заказчиком).



**Рисунок 3.11 – Деревянная кассета для формования полистиролбетонных плит**

В зоне временного складирования плиты, имеющие отпускную прочность, укладываются вручную на деревянные поддоны (1 м<sup>3</sup> на поддон) и, используя упаковочную машину, упаковываются полиэтиленовой пленкой и полипропиленовой лентой (рисунок 3.12).



**Рисунок 3.12 – Складирование полистиролбетонных плит**

После упаковки поддоны при помощи кран-балки подаются на транспортную тележку и перевозятся на склад готовой продукции.

Отгрузка потребителю готовой продукции на автомобильный транспорт производится с использованием козлового крана.

## ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА\*

1. Бобович, Б. Б. Переработка отходов производства и потребления / Б. Б. Бобович, В. В. Девяткин. – М. : Интернет инжиниринг, 2000. – 496 с.
2. Бозылев, В. В. Сульфатные добавки на основе вторичных продуктов промышленности Беларуси для ресурсосберегающих бетонов : дис. ... канд. техн. наук : 05.23.05 / В. В. Бозылев. – Новополоцк, 1995. – 143 с.
3. Большаков, В. И. Строительное материаловедение / В. И. Большаков, Л. И. Дворкин. – Днепропетровск : РВА «Дніпро-VAL», 2004. – 677 с.
4. Вишнякова, Ю. В. Строительные растворы с карбонатосодержащим наполнителем из вторичного продукта водоподготовки : дис. ... канд. техн. наук : 05.23.05 / Ю. В. Вишнякова. – Новополоцк, 2014. – 179 с.
5. Воробьев, В. А. Строительные материалы / В. А. Воробьев, А. Г. Комар. – М. : Стройиздат, 1971. – 489 с.
6. Глазычев, В. Л. Социально экологическая интерпретация городской среды / В. Л. Глазычев. – М. : Наука, 1984. – 180 с.
7. Грасевич, Н. А. Применение вторичных продуктов химических предприятий Гродненского региона для фиброармирования цементных систем : дис. ... магистра техн. наук : 1-70 80 01 / Н. А. Грасевич. – Гродно, 2015. – 76 с.
8. Гринин, А. С. Промышленные и бытовые отходы. Хранение, утилизация, переработка / А. С. Гринин, В. Н. Новиков. – М. : Фаир-Пресс, 2002. – 336 с.
9. Грюнштам, В. А. Определение количества и стоимости материалов, получаемых при разборке строительных конструкций и инженерного оборудования (возврат материалов) / В. А. Грюнштам // Ценообразование и сметное нормирование в строительстве. – 2006. – № 3.
10. Дворкин, Л. Г. Строительные материалы из отходов промышленности : учеб.-справ. пособие / Л. Г. Дворкин, О. Л. Дворкин. – Ростов н/Д : Феникс, 2007. – 369 с.
11. Зеркалов, Д. В. Экологическая безопасность : моногр. / Д. В. Зеркалов. – Киев : Основа, 2012. – 506 с.
12. Иванова, Э. Г. Устойчивое развитие на местном уровне : Местная Повестка дня на XXI век : пособие по разработке и внедрению для местных органов управления и общественности / Э. Г. Иванова, Ю. В. Яблонская. – Минск : Орех, 2007. – 67[7] с.
13. Ионин, Л. Г. Социология культуры: путь в новое тысячелетие : учеб. пособие для студентов вузов / Л. Г. Ионин. – 6-е изд., перераб. и доп. – М. : Логос, 2005.
14. Какутич, Е. Ю. Устойчивое развитие как концептуальная основа трансформации мировой экономики. Механизм регулирования экономики / Е. Ю. Какутич. – СПб., 2010. – № 1. – С. 45.
15. Князева, В. П. Экологические аспекты выбора строительных материалов : метод. указ. / В. П. Князева. – М. : МАРХИ, 2010. – 23 с.
16. Князева, В. П. Экология. Основы реставрации / В. П. Князева. – М. : Архитектура-С, 2005. – 400 с.
17. Конобеева, А. Б. Товароведение и экспертиза строительных материалов : учеб. пособие / А. Б. Конобеева. – Мичуринск : Изд-во МичГАУ, 2007. – Ч. 1. – 338 с.
18. Лаппо, Г. М. Урбанизация в России / Г. М. Лаппо // Экологические проблемы урбанизированных территорий. – М. : Изд. дом «Камертон», 2006. – № 1. – С. 6–12.
19. Об утверждении Концепции развития строительного комплекса Республики Беларусь на 2011–2020 годы : постановление Совета Министров Республики Беларусь от 28.10.2010, № 1589. – Минск, 2010.
20. Прокопец, В. С. Органическое вяжущее на основе нефтяного гудрона и активированной резиновой крошки : учеб. пособие / В. С. Прокопец, Ю. В. Иваницкий. – Омск : Изд-во «Академия», 2005. – 88 с.

\* Литература из данного списка может быть рекомендована для изучения дисциплины.

21. Прядко, И. А. Экономический механизм обоснования экологически устойчивого развития городских территорий : дис. ... канд. экон. наук : 08.00.05 / И. А. Прядко. – Ростов н/Д, 2008. – 167 с.
22. Сафончик, Д. И. Бетоны, модифицированные пластифицирующей добавкой СПБ : дис. ... канд. техн. наук : 05.23.05 / Д. И. Сафончик. – Новополюцк, 2004. – 181 с.
23. Социология проблем города [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://lcbclan.ru/sociologiya/sociologiya\\_problem\\_goroda.html](http://lcbclan.ru/sociologiya/sociologiya_problem_goroda.html).
24. Стандарт BRE в области окружающей среды и устойчивого развития BES 6001: версия 2.0 : Рамочный стандарт в области ответственных поставок строительных материалов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://14000.ru/projects/energy-efficiency/BES6001.pdf>.
25. Тетиор, А. Н. Архитектурно-строительная экология. Устойчивое строительство : науч.-метод. лит. / А. Н. Тетиор. – М. : ООО «Пластрой», 2003. – 450 с.
26. Тетиор, А. Н. Железобетонные и каменные конструкции в экологическом строительстве : учеб. пособие / А. Н. Тетиор. – М. : МГУП, 2009. – 497 с.
27. Тетиор, А. Н. Экологизация мышления и деятельности человека : моногр. / А. Н. Тетиор. – М. : ФГБОУ ВПО МГУП, 2014. – 410 с.
28. Тетиор, А. Н. Городская экология / А. Н. Тетиор. – 3-е изд. – М. : Изд. центр «Академия», 2008. – 336 с.
29. Тетиор, А. Н. Устойчивое развитие города. В 2 ч. / А. Н. Тетиор – М. : ГУП «Олимп», 1999. – Ч. 2. – 323 с.
30. Тетиор, А.Н. Устойчивое развитие города. В 2 ч. / А. Н. Тетиор. – М.: ГУП «Олимп», 1999. – Ч. 1. – 173 с.
31. Фомина, В. Ф. Архитектура : учеб.-метод. пособие / В. Ф. Фомина. – Ульяновск : УлГТУ, 2009. – 188 с.
32. Черепанов, К. А. Проблемы выбора оптимальных параметров застройки в зависимости от социальных, экономических и экологических свойств городской среды / К. А. Черепанов // Молодой ученый. – 2014. – № 2. – С. 216–232.
33. Шейбак, Н. А. Бетоны и бетонные смеси, модифицированные вторичным нитритом натрия : дис. ... магистра техн. наук : 1-70 80 01 / Н. А. Шейбак. – Новополюцк, 2012. – 53 с.
34. Электронный бюллетень портала GreenEvolution.ru [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://greenevolution.ru>.
35. Albano C., Camacho N., Hernandez M., Matheus A. and Gutierrez A. Influence of content and particle size of waste pet bottles on concrete behaviour at different w/c ratios. *Waste Management*. 2009; 29 (10) : 2707-2716. PMID : 19525104 [Electronic resource]. – Mode of access: <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2009.05.007> [Links].
36. Ankit Nileshchandra Patel, Stone Waste in India for Concrete with alue Creation Opportunities/ Ankit Nileshchandra Patel // *International Journal of Latest Trends in Engineering and Technology*. – 2013. – Vol. 2, issue 2. – P. 113–120.
37. Asokan P., Osmani M. and Price ADF. Improvement of the mechanical properties of glass fibre reinforced plastic waste powder filled concrete. *Construction and Building Materials*. 2010; 24(4) : 448–460.
38. ASTM D 5644-01 : Standard Test Method for rubber compound Materials-Determination of particle size distribution of vulcanized particle rubber.
39. Björn Berge, *The Ecology of Building Materials* / Björn Berge. – Second edition. – Italy, 2009. – 427 p.
40. Bringezu, S. Construction ecology and metabolism: Re-materialization and dematerialization. In *Construction Ecology and Metabolism* / S. Bringezu // *Nature as the Basis for the Built Environment* / C. Kibert, J. Sendzimir, and G. Guy : eds. E. F. Spon. – London : Ltd., 2002.
41. Cachim, P. B. Mechanical properties of brick aggregate concrete. *Construction and Building* / P. B. Cachim // *Materials*. – March, 2009. – Vol. 23, issue 3. – 1292–1297, 0950–0618.
42. Crowther, P. Developing An Inclusive Model For Design For Deconstruction / P. Crowtherin // *Deconstruction and Materials Reuse: Technology, Economics, and Policy*. CIB Publication 266, A. Chini editor. – April, 2001.

43. Elias-Ozkan, S. T. Recycling Rubble into Aggregates / S. T. Elias-Ozkan // A Model for Local Governments. Habitat International. – 2001. – 25(4). – P. 493–502.
44. Fraj, A. B. Valorization of coarse rigid polyurethane foam waste in lightweight aggregate concrete / A. B. Fraj, M. Kismi and P. Mounanga // Construction and Building Materials. – 2010. – 24(6) : 1069–1077. [Electronic resource]. – Mode of access: <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2009.11.010> [Links].
45. Franklin Associates. Characterization of Building-Related Construction and Demolition Debris in the U. S. Prepared for the U. S. Environmental Protection Agency, EPA530-R-98-010. – June, 1998.
46. Geraedts Rob P. Upgrading the Flexibility of Buildings, Delft University, Netherlands, in proceedings of the CIB World Building Congress, Wellington, New Zealand. – April, 2001.
47. González, B. Recycled aggregates concrete: aggregate and mix properties / B. González, F. Martínez // Materiales de Construcción. – July–September, 2005. – Vol. 55, N 279, 53–66, 0465–2746.
48. Hannawi, K. Physical and mechanical properties of mortars containing PET and PC waste aggregates / K. Hannawi, S. Kamali-Bernard and W. Prince // Waste Management. – 2010; 30(11) : 2312–2320. PMID:20417085 [Electronic resource]. – Mode of access: <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2010.03.028> [Links].
49. Hendriks F., Nijkerk A. A., van Koppen A. E. The building cycle, Aeneas, The Netherlands, 2000 [Electronic resource]. – Mode of access: <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2009.10.017> [Links].
50. Kay, J. On Complexity Theory, Exergy, and Industrial Ecology: Some Implications for Construction Ecology / J. Kay // Construction Ecology and Metabolism: Nature as the Basis for the Built Environment / C. Kibert, J. Sendzimir, and G. Guy ; eds. E. F. Spon. – London : Ltd., 2002.
51. Khatib, Z. K. Rubberized Portland Cement Concrete / Z. K. Khatib, F. M. Bayomy // Journal of Materials in Civil Engineering. – August, 1999. – P. 206, 213.
52. Kim S. B., Yi N. H., Kim H. Y., Kim J. H. J. and Song Y. C. Material and structural performance evaluation of recycled PET fibre reinforced concrete. Cement and Concrete Composites. 2010; 32(3) : 232–240 [Electronic resource]. – Mode of access: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2009.11.002> [Links].
53. Kou S. C., Lee G., Poon C. S. and Lai W. L. Properties of lightweight aggregate concrete prepared with PVC granules derived from scraped PVC pipes. Waste Management. 2009; 29(2) : 621–628 [Electronic resource]. – Mode of access: PMID:18691863.<http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2008.06.014> [Links].
54. Kusina, A. Eksploatacja obiektów budowlanych / A. Kusina. – Radom, 2005. – 50 s.
55. Naik T. R., Singh S. S., Huber C. O. and Brodersen B. S. Use of post-consumer waste plastics in cement-based composites. Cement and Concrete Research. 1996; 26(10) :1489–1492 [Electronic resource]. – Mode of access: [http://dx.doi.org/10.1016/0008-8846\(96\)00135-4](http://dx.doi.org/10.1016/0008-8846(96)00135-4) [Links].
56. Otto, K. N. Product Design / K. N. Otto, K. L. Wood // Techniques in Reverse Engineering and New Product Development, Upper Saddle. – N. Y. : Prentice Hall, 2001.
57. Ozkan, S. T. E. Recovery and Reuse of Demolition Waste / S. T. E. Ozkan // Recycling Rubble for Concrete Components. Unpublished Ph. D. Dissertation, Middle East Technical University. – 2000.
58. Popek, M. Wykonywanie remontów oraz rozbiórki murowanych konstrukcji budowlanych / M. Popek. – Wydanie I. – Warszawa, 2014. – 38 s.
59. Zeegers A., Hermans M. and Ang G. In Search for Design Criteria for the Delivery of Industrialised, Flexible and Demountable Buildings. A Performance Based Model, Netherlands, in proceedings of the CIB World Building Congress, Wellington, New Zealand. – April, 2001.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
<b>РАЗДЕЛ 1. Устойчивая застроенная среда. Проблемы и перспективы её развития.....</b>	<b>4</b>
1.1. Современные представления об устойчивой застроенной среде.....	4
1.1.1. Общие представления о городской среде.....	4
1.1.2. Устойчивые биопозитивные город и страна.....	5
1.1.3. Основные направления создания экогородов.....	7
1.1.4. Сбор и переработка отходов.....	8
1.2. Нормативно-правовое регулирование концепции устойчивого развития застроенной среды.....	10
1.2.1. Основные мероприятия по переходу к устойчивому развитию застроенной среды.....	10
1.2.2. Декларация о необходимости устойчивого развития города (области).....	12
1.2.3. «Повестка дня на XXI век» – основа Программы устойчивого развития.....	13
1.2.4. Порядок выполнения положений по обеспечению устойчивого развития здорового города.....	14
1.2.5. Примеры городов, имеющих стратегии устойчивого развития. Нормативно-правовые документы, регулирующие устойчивое развитие.....	15
1.2.6. Нормативно-правовые документы Республики Беларусь, регулирующие устойчивое развитие застроенной среды.....	15
1.2.7. Нормативно-правовые документы зарубежных стран, регулирующие устойчивое развитие застроенной среды.....	16
1.3. Анализ проблем развития существующей устойчивой застроенной среды.....	19
1.3.1. Социальные проблемы развития городов.....	19
1.3.2. Экономические проблемы развития городов.....	21
1.3.3. Экологические проблемы развития городов.....	23
1.3.4. Перспективы решения проблем развития устойчивой застроенной среды.....	28
1.4. Основные строительные конструкции существующей застроенной среды.....	30
1.4.1. Конструктивные типы и схемы зданий.....	30
1.4.2. Основные строительные конструкции зданий.....	32
1.4.3. Области применения строительных конструкций в зданиях и сооружениях существующей застроенной среды.....	34
1.5. Основные строительные материалы и изделия существующей застроенной среды.....	36
1.5.1. Бетон и железобетон.....	36
1.5.2. Металлы.....	38
1.5.3. Керамические материалы и изделия.....	39
1.5.4. Древесина.....	41
1.5.5. Полимеры.....	43
1.5.6. Биопозитивные материалы.....	44
1.6. Основные направления и перспективы развития устойчивой застроенной среды.....	44
1.6.1. Направления развития устойчивой застроенной среды.....	44
1.6.2. Перспективы развития устойчивой застроенной среды.....	51

<b>РАЗДЕЛ 2. Применение отходов промышленности при изготовлении строительных материалов.....</b>	<b>55</b>
2.1. Анализ отходов, образующихся на различных предприятиях.....	55
2.1.1. Утилизация и обезвреживание отходов промышленности.....	55
2.1.2. Понятия «отходы», «вторичные ресурсы», «попутные и побочные продукты».....	57
2.1.3. Классификация промышленных отходов.....	58
2.1.4. Основные направления использования отходов.....	60
2.2. Строительные материалы, получаемые из отходов металлургии.....	62
2.2.1. Шлаки из отходов металлургии.....	62
2.2.2. Шламовые побочные продукты.....	63
2.2.3. Шлакодержащие вяжущие.....	64
2.2.4. Щебень из отходов металлургии.....	67
2.2.5. Шлакоминеральные смеси.....	68
2.2.6. Шлаковый наполнитель.....	68
2.2.7. Лёгкие шлаковые заполнители.....	69
2.2.8. Бетоны на основе металлургических шлаков.....	70
2.2.9. Применение в бетонах металлургической пыли и горелой земли.....	74
2.3. Строительные материалы, получаемые из отходов топливно-энергетической промышленности.....	75
2.3.1. Отходы добычи и обогащения угля.....	75
2.3.2. Золошлаковые отходы.....	76
2.3.3. Топливные шлаки.....	77
2.3.4. Портландцемент и композиционные цементы.....	78
2.3.5. Золошлаковые вяжущие.....	79
2.3.6. Золощелочные вяжущие.....	80
2.3.7. Золошлаковые заполнители.....	81
2.3.8. Гранулированный топливный шлак.....	83
2.3.9. Глинозольный керамзит и зольный гравий.....	83
2.3.10. Бетоны с добавкой золы-уноса.....	85
2.3.11. Строительные растворы.....	86
2.3.12. Применение шламов водоочистки для получения строительных растворов.....	87
2.3.13. Силикатный кирпич.....	90
2.3.14. Асфальтовые материалы.....	92
2.3.15. Материалы с применением отходов добычи и обогащения угля.....	92
2.4. Строительные материалы, получаемые из отходов химико-технологических производств.....	93
2.4.1. Классификация отходов химико-технологических производств.....	93
2.4.2. Отходы химико-технологических производств, применяемые для получения модификаторов бетонных смесей и бетонов.....	94
2.4.3. Применение отходов производства волокон для создания фиброармированных цементных материалов.....	102
2.5. Строительные материалы, получаемые из отходов переработки древесины и другого растительного сырья.....	105
2.5.1. Отходы переработки древесины.....	105
2.5.2. Отходы растительного происхождения.....	107
2.5.3. Древесные материалы, получаемые с применением отходов.....	107
2.5.4. Арболит и цементно-стружечные материалы.....	108

2.5.5. Клееная древесина.....	111
2.5.6. Древесно-стружечные плиты.....	112
2.5.7. Местные материалы на основе опилок и волокнистых отходов.....	113
2.5.8. Термопластичные композиции.....	114
2.6. Строительные материалы, получаемые из отходов городского хозяйства.....	115
2.6.1. Материалы из отходов городского хозяйства.....	115
2.6.2. Материалы, получаемые при использовании бетонного лома.....	124
2.6.3. Регенерация асфальтобетона.....	125
<b>РАЗДЕЛ 3. Повторное использование строительных элементов существующей застроенной среды.....</b>	<b>127</b>
3.1. Жизненный цикл строительных конструкций, материалов и изделий.....	127
3.1.1. Жизненный цикл изделия. Основные стадии жизненного цикла.....	127
3.1.2. Экологическая оценка строительных материалов с учётом их жизненного цикла.....	129
3.2. Техничко-экономическая целесообразность повторного использования строительных материалов.....	135
3.3. Рациональные области повторного использования строительных материалов и конструкций.....	143
3.3.1. Повторное использование строительных материалов.....	143
3.3.2. Повторное использование строительных изделий и конструкций.....	147
3.4. Технология повторного применения конструкционных материалов и изделий.....	149
3.4.1. Технология переработки изделий из бетона и железобетона.....	149
3.4.2. Оборудование, применяемое при переработке бетонных и железобетонных изделий.....	152
3.5. Технология повторного применения изоляционных и отделочных материалов и изделий.....	153
3.5.1. Переработка и вторичное использование битумосодержащих кровельных материалов.....	153
3.5.2. Переработка и вторичное использование теплоизоляционных материалов и изделий.....	157
Использованная литература.....	162

Производственно-практическое издание

**САФОНЧИК** Дмитрий Иосифович  
**ЧЕРКАС** Лариса Анатольевна  
**ВОЛИК** Алла Ричардовна

СПРАВОЧНИК МОДУЛЯ  
«СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ УСТОЙЧИВОЙ  
ЗАСТРОЕННОЙ СРЕДЫ»

Практическое пособие

Редакторы: *М. В. Вахмянина, М. И. Гецевич, И. В. Сивакова*  
Компьютерная вёрстка: *М. И. Верстак, И. П. Зимницкая*  
Дизайн обложки: *О. В. Канчуга*

Подписано в печать 27.11.2015. Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>8</sub>.  
Бумага офсетная. Ризография. Гарнитура Таймс.  
Усл. печ. л. 19,53. Уч.-изд. л. 15,0. Тираж 70 экз. Заказ 094.

Издатель и полиграфическое исполнение:  
Учреждение образования «Гродненский государственный  
университет имени Янки Купалы».  
Свидетельство о государственной регистрации издателя,  
изготовителя, распространителя печатных изданий  
№ 1/261 от 02.04.2014.  
Ул. Ожешко, д. 22, 230023, Гродно.

ISBN 978-985-515-930-9

