

МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА И КОММУНИКАЦИЙ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»

Кафедра архитектуры и строительства

А. А. ВАСИЛЬЕВ, Л. И. ПАХОМОВА, А. С. ЧУГУНОВА

ВТОРИЧНЫЕ РЕСУРСЫ В СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛАХ

*Рекомендовано учебно-методическим объединением
по образованию в области строительства и архитектуры
для обучающихся по специальности 7-07-0732-01
«Строительство зданий и сооружений»
профилизации «Промышленное и гражданское строительство»
в качестве учебно-методического пособия*

Гомель 2026

УДК 338.24:691(075.8)
ББК 38.9
В19

Рецензент: кафедра промышленного и гражданского строительства
Белорусско-Российского университета (зав. кафедрой – канд.
техн. наук, доцент *С. В. Данилов*; канд. техн. наук, доцент
Е. Е. Корбут);
заведующий отделом № 1 «Композиционные материалы и
рециклинг полимеров» Институт механики металлополи-
мерных систем им. В. А. Белого НАН Беларуси, д-р техн.
наук, профессор *В. М. Шаповалов*

Васильев, А. А.

В19 Вторичные ресурсы в строительных материалах : учеб.-метод. посо-
бие / А. А. Васильев, Л. И. Пахомова, А. С. Чугунова ; М-во трансп. и
коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель :
БелГУТ, 2026. – 95 с.
ISBN 978-985-891-254-3

Рассмотрены основные виды побочных продуктов. Изложена технология изготовле-
ния строительных материалов из побочных материалов (отходов) металлургии, топлив-
ных зол, шлаков химической промышленности и промышленности строительных мате-
риалов, из отходов переработки растительного сырья. Показано применение отходов
промышленности строительных материалов.

Предназначено для студентов специальности «Строительство зданий и сооружений»
факультета ПГС.

УДК 338.24:691(075.8)
ББК 38.9

ISBN 978-985-891-254-3

© Васильев А. А., Пахомова Л. И.,
Чугунова А. С., 2026
© Оформление. БелГУТ, 2026

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1 ВИДЫ ПОБОЧНЫХ ПРОДУКТОВ И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ.....	8
1.1 Классификация побочных продуктов.....	8
1.2 Рациональное использование побочных продуктов.....	8
1.3 Утилизация побочных продуктов.....	9
1.4 Определение экономической эффективности использования побочных продуктов.....	10
2 МАТЕРИАЛЫ ИЗ ПОБОЧНЫХ ПРОДУКТОВ МЕТАЛЛУРГИИ.....	12
2.1 Характеристика шлаков.....	12
2.2 Вяжущие на основе металлургических шлаков.....	15
2.3 Заполнители из металлургических шлаков.....	20
2.4 Материалы из шлаков для дорожного строительства.....	23
2.5 Бетоны на основе металлургических шлаков.....	24
2.6 Материалы из шлаковых расплавов.....	27
2.7 Материалы на основе шламов.....	29
2.8 Цементные и асфальтовые бетоны на отработанных формовочных смесях.....	31
3 МАТЕРИАЛЫ ИЗ ТОПЛИВНЫХ ЗОЛ И ШЛАКОВ.....	32
3.1 Получение зол и шлаков от сжигания твердых видов топлива.....	32
3.2 Химический и минеральный состав зол и шлаков.....	33
3.3 Вяжущие вещества с добавкой зол и шлаков ТЭС.....	34
3.4 Пористые заполнители из зол и шлаков.....	36
3.5 Золосодержащие тяжелые бетоны.....	41
3.6 Золосодержащие строительные растворы.....	42
3.7 Золосодержащие ячеистые бетоны.....	43
3.8 Бетоны на заполнителях из золошлаковых смесей.....	44
3.9 Легкие бетоны на пористых заполнителях.....	45
3.10 Силикатный кирпич и золобетон с применением зол ТЭС.....	46
3.11 Зола и шлаки в дорожном строительстве.....	47
3.12 Применение зол для кровельных материалов.....	48
3.13 Керамические материалы с применением золошлаковых отходов.....	48
3.14 Плавленые материалы из зол и шлаков.....	48
4 СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ИЗ ПОБОЧНЫХ ПРОДУКТОВ ХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ.....	49
4.1 Материалы из шлаков электротермического производства фосфора.....	49
4.2 Материалы из гипсосодержащих побочных продуктов.....	50
4.3 Материалы из карбитной извести и карбонатных отходов.....	54
4.4 Материалы на основе кремнеземистых и сульфатомосиликатных отходов.....	55
4.5 Применение железистых и серосодержащих побочных продуктов.....	56
4.6 Строительные изделия из полимерфосфогипса.....	58
4.7 Применение галитовых отходов и глинисто-солевых шламов.....	59

4.8	Применение отходов производства капролактама	59
4.9	Применение отходов нефтехимической промышленности	59
4.10	Применение гидролизного лигнина и отходов целлюлозно-бумажного производства	61
4.11	Поверхностно-активные вещества и электролиты из побочных химических продуктов	62
5	МАТЕРИАЛЫ ИЗ ОТХОДОВ ПЕРЕРАБОТКИ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ	65
5.1	Сырьевые материалы	65
5.2	Материалы на основе минеральных вяжущих веществ	67
5.3	Материалы на основе органических связующих	71
6	ОТХОДЫ СТРОИТЕЛЬСТВА	75
6.1	Источники образования отходов строительства	75
6.2	Классификация строительных отходов	76
6.3	Утилизация строительных отходов	77
6.3.1	Утилизация бетонных и железобетонных отходов	80
6.4	Применение отходов промышленности строительных материалов	84
6.4.1	Отходы производства нерудных строительных материалов	84
6.4.2	Пыль цементного производства	85
6.4.3	Асбестоцементные отходы	86
6.4.4	Стекольные отходы	86
6.4.5	Отходы производства керамических изделий	87
6.4.6	Отходы производства бетона, железобетона и бетонного лома	88
6.5	Применение отходов строительства и сноса	88
6.5.1	Отходы бетона и железобетона	90
6.5.2	Отходы асфальтобетона	91
	СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	95

ВВЕДЕНИЕ

Современный уровень развития цивилизации основан на промышленном производстве, которое использует колоссальные объемы минерально-сырьевых и энергетических ресурсов нашей планеты. Масштабы воздействия хозяйственной деятельности человека на окружающую среду сопоставимы с геологическими процессами. Из всего добываемого объема сырья лишь небольшая его часть используется в качестве полезного продукта, а остальное накапливается в виде отходов на свалках, хранилищах, захоронениях, полигонах.

В высокоразвитых странах на одного человека приходится в год 3–5 т промышленных и 0,3–0,4 т бытовых отходов. На транспортирование отходов, их переработку, содержание свалок в среднем расходуется 10 % стоимости основной продукции. На территории Республики Беларусь ежегодно образуется более 20 млн т отходов. Среди них наибольшим объемом выделяются отходы калийных производств ОАО «Беларуськалий» в виде глино-солевых шламов и твердых отходов обогащения калийной руды, фосфогипс Гомельского химического завода, отработанные формовочные смеси литейного производства, шлак Белорусского металлургического завода, шламы гальванических производств.

Изменения в природной среде, которые особенно заметны в городах, местах добычи полезных ископаемых и вблизи крупных предприятий, а также вдоль транспортных путей значительно ухудшили качество среды обитания человека.

Рациональное использование природных ресурсов в настоящее время приобретает особое значение. Решение этой актуальной народнохозяйственной проблемы предполагает разработку эффективных безотходных технологий за счет комплексного использования сырья, что одновременно приводит к решению экологической проблемы, связанной со складированием отходов.

Ограниченность сырьевых ресурсов и необратимые изменения в природной среде в результате техногенного воздействия – две основные причины, определяющие необходимость разработки и внедрения в промышленность ресурсосберегающих технологий. Эти технологии сегодня активно развиваются в странах, имеющих высокий научно-технический и промышленный потенциал.

Создание предприятий, производящих строительные материалы, изделия и конструкции по энерго- и ресурсосберегающим технологиям, является ключевой задачей модернизации строительной отрасли. С учетом того, что строительная индустрия является одной из наиболее ресурсоемких отраслей, разработка технологий, позволяющих использовать отходы производств в качестве сырья для производства строительных материалов, – одна из наиболее важных задач развития инновационной экономики.

Создание новых ресурсосберегающих технологий требует значительных интеллектуальных и финансовых затрат. Наибольших успехов на этом пути добились промышленно развитые страны. Это связано со значительным научно-техническим потенциалом, имеющимся в этих государствах, истощением природных сырьевых ресурсов, колоссальными объемами различных отходов производств, а также тщательно продуманной государственной политикой в этой области. Для многих государств Западной Европы развитие ресурсосберегающих технологий является одной из приоритетных задач.

Решение проблемы ресурсосбережения в строительстве возможно при комплексном использовании технических, организационных, экономических факторов и ускорении научно-технического прогресса. Важнейший резерв ресурсосбережения в строительстве – широкое использование вторичных материальных ресурсов, которыми являются отходы производства и потребления. Объем промышленных отходов увеличивается более высокими темпами, чем общественное производство, и имеет тенденцию к опережающему росту.

Использование промышленных отходов в строительстве имеет ряд положительных аспектов, в том числе:

- обеспечивает производство богатым источником дешевого и часто уже подготовленного сырья;
- приводит к экономии капитальных вложений, которые предназначены для строительства предприятий, добывающих и перерабатывающих сырье, и повышению уровня их рентабельности;
- высвобождению значительных площадей земельных угодий и снижению степени загрязнения окружающей среды.

Ресурсосбережение в строительстве и промышленности строительных материалов развивается в настоящее время по следующим направлениям:

- замена природного сырья на промышленные отходы, в результате чего снижается потребление природных минерально-сырьевых ресурсов, при этом реализуется дополнительный экологический эффект – ликвидируются промышленные свалки;
- повышение технико-строительных характеристик продукции, например прочности строительных материалов или несущей способности конструкций, что позволяет снизить их материалоемкость;

- увеличение долговечности материалов, что обеспечивает повышение срока эксплуатации и затрат на ремонтно-восстановительные работы;
- проектирование зданий, сооружений и отдельных строительных конструкций с новыми возможностями для их модернизации, реконструкции и ремонта.

Одно из наиболее перспективных направлений утилизации промышленных отходов – их использование в производстве строительных материалов, что позволяет удовлетворить потребности в сырье почти на 40 % от требуемого объема. Применение отходов производств позволяет на 10–30 % снизить затраты на изготовление строительных материалов по сравнению с производством их из природного сырья, экономия капитальных вложений составляет 35–50 %.

В строительстве и промышленности строительных материалов используется два вида сырья: природное и техногенное (вторичное). Природное сырье – песчано-гравийная смесь, гравий, песок, щебень и другие горные породы. Сюда же относят отвалы пород, образующиеся при разработке карьеров и строительных котлованов.

С развитием технологий всё большее значение в строительной отрасли начинает приобретать техногенное сырье. К нему относят отходы производств и побочные продукты: металлургические шлаки, бокситовые шламы, отходы горно-обогатительных комбинатов (ГОК), золу и золошлаковые отходы ТЭС, отходы углеобогащения, вторичные полимеры, продукты переработки древесины и др. Техногенное сырье рассматривается многими специалистами как исключительно ценный продукт, аккумулирующий в себе ранее затраченные инвестиционные и энергетические ресурсы. Его использование в производстве строительных материалов во многих случаях значительно дешевле, чем разработка и освоение природных ресурсов.

Использование техногенного сырья для производства строительных материалов с экологической точки зрения весьма перспективно:

- сокращаются объемы добычи природных строительных материалов;
- утилизируется и химически прочно связывается огромное количество загрязняющих окружающую среду промышленных отходов;
- освобождаются земельные участки, отчуждаемые под шламохранилища и др.

Разработка абсолютно новых технологий строительных материалов на основе промышленных отходов является сложной задачей. Промышленные отходы чаще применяются в технологии строительных материалов как дополнительный компонент в составе сырья при производстве традиционных материалов. В ряде случаев это позволяет улучшить свойства готовой продукции.

1 ВИДЫ ПОБОЧНЫХ ПРОДУКТОВ И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

1.1 Классификация побочных продуктов

Побочные продукты обычно классифицируют по отраслям промышленности, где они образуются:

- металлургия – шлаки: доменные, сталеплавильные, цветной металлургии;
- тепловая энергетика – зола, топливные шлаки;
- химическая промышленность – железистые и гипсосодержащие отходы, соле- и гидроксидсодержащие шлаки и содопродукты, фосфорные шлаки, вторичные полимерные продукты;
- горнодобывающая промышленность – вскрышные и попутно-добываемые породы;
- деревообработка и другое растительное сырье обрезки, стружки, опилки, отходы лесозаготовок, лигнин;
- производство строительных материалов – отходы цементного, асбестоцементного, стекольного, керамического, полимерного производств;
- городское хозяйство – автопокрышки и полимерные материалы, бумажная макулатура, твердые остатки сточных вод.

1.2 Рациональное использование побочных продуктов

Использование вторичных материальных ресурсов позволит компенсировать недостаток природного сырья, уменьшить количество земель, отведенных под отвалы отходов и попутных продуктов основного производства, сократить транспортные затраты, улучшить технико-экономические показатели основного производства, уменьшить загрязнение воздуха, воды, земель вредными веществами, нарушающими экологическое равновесие.

Применение отходов, попутных и вторичных продуктов, как показывает имеющийся опыт их применения в производстве строительных материалов, дает большой экономический эффект. Они во многих случаях дешевле в 2–3 раза традиционного сырья. При использовании отдельных видов отходов расход топлива сокращается на 10–40, а удельные капиталовложения – на 30–50 %. Экономическая эффективность использования отходов имеет для каждого из них свои особенности. Так, применение для изготовления щебня вскрышных горных пород позволяет исключить буровзрывные работы и

уменьшить транспортные расходы; отходов углеобогащения для керамического кирпича – сократить расход топлива; шлаков и зол для вяжущих – сократить расход топлива на их изготовление; макулатуры для кровельных и гидроизоляционных работ – экономить древесину и сократить затраты на технологию их изготовления.

В цементной промышленности используются шлаки, близкие по химическому составу к цементу. Их можно рассматривать как полуфабрикаты. На 1 кг металлургического шлака затрачивается 1260 кДж теплоты, топливных зол и шлака – 600–840 кДж. Теоретически на 1 кг клинкера затрачивается 1680 кДж теплоты. Если же в качестве глинистого компонента применяется доменный шлак, количество затраченной теплоты уменьшается и составляет 1050 кДж, то есть экономия составляет 630 кДж. Кроме того, повышается производительность печей. Введение в состав цемента зол тепловых электростанций повышает его сульфатостойкость.

Громадный экономический эффект получается при применении шлаков в шлакопортландцементах за счет экономии топлива и повышения производительности печей.

Себестоимость конструкции из ячеистого бетона за счет применения золы на 10–15 % ниже, чем конструкций из вяжущего и молотого песка. Эффективно изготовление известково-золяно-шлакового и глинозольного кирпича по сравнению с силикатным. Снижается стоимость кладочных растворов при применении золы. Стоимости безобжигового зольного гравия на 50 % ниже стоимости керамзитового гравия.

Отходы углеобогащения содержат 15–20 % угля. Применение их для керамических материалов экономит топливо, повышает теплозащитные свойства стеновых материалов, уменьшает стоимость.

Шлаки черной металлургии, особенно гранулированные, применяются в производстве цемента, щебня, минеральной ваты, бетона, шлакоситаллов, что дает большую прибыль металлургическим заводам. Значительная прибыль получается от утилизации отходов цветной металлургии,

Применение нефелинового шлама, содержащего C_2S , для изготовления цемента сокращает расход известняка на 50 % и топлива на 20–25 %. Их выгодно использовать также для изготовления дорожных материалов, кирпича. В производстве цемента шлаками можно заменять спиритные огарки. Огненно-жидкие шлаки применяются для изготовления шлаковаты, отпадает необходимость плавить шлаки. Из фосфогипса можно получить гипсовые вяжущие, их применяют в дорожном строительстве.

1.3 Утилизация побочных продуктов

Промышленные отходы отрицательно влияют на экологическое равновесие в природе. Раньше природные ресурсы рассматривались как неисчерпаемые. За последние 40 лет добыто минерального сырья больше, чем за

всю предыдущую историю цивилизации. В результате загрязняется воздушный и водный бассейны, нарушается продуктивность сельскохозяйственных угодий, изменяются гидрогеологический режим, гидрохимический состав воды.

Больше всего выбросов дают предприятия энергетической, химической и металлургической промышленности. Крупные ТЭС выбрасывают в атмосферу 10–100 т золы в сутки, десятки тонн сернистого ангидрита.

Загрязняют атмосферу предприятия строительных материалов, горно-обогатительные комбинаты с технологическими процессами, связанными с дроблением, помолом и обжигом. Так, при получении цементного клинкера, количество выносимой пыли составляет 8–20 % сухого сырья. Даже после очистки газовоздушные выбросы содержат 100–150 мг/м³ пыли. Одна работающая печь выбрасывает около 100 кг пыли в час. Загрязняется гидросфера. Один бумажно-целлюлозный комбинат сбрасывает 150 тыс м³ сточных вод в сутки, т. е. столько, сколько крупный промышленный город. Опасность представляют фенольные соединения в сточных водах предприятий на лесотехнической, коксохимической, сланцевой, анилиновой промышленности, в производстве гербицидов.

Синтетические ПАВ в водах химических предприятий образуют стойкую пену, что ухудшает биохимический состав.

Отходы промышленных предприятий ухудшают качество почвы. Поэтому утилизация промышленных отходов строительными предприятиями имеет очень важное значение. Она позволяет сократить или даже ликвидировать отвалы, улучшить экологическую обстановку возле предприятий. К таким отходам следует отнести, прежде всего, золы ТЭС, фосфогипс, кислые гудроны, отходы углеобогащения, сталеплавильные шлаки изношенные шины, полимерные материалы.

1.4 Определение экономической эффективности использования побочных продуктов

При создании материалов из побочных продуктов выполняется расчет экономической эффективности по сравнению с аналогичными материалами из традиционного сырья. Учитывается эффективность капитальных вложений и новой техники по минимуму приведенных затрат, расходы на удаление и складирование отходов в отвалы (строительство отвалов, затраты на воду, электроэнергию, транспортировку отходов, содержание персонала, убытки сельскохозяйственных организаций на отчуждение земель под отвалы, затраты на защиту окружающей среды).

Экономический эффект $\mathcal{E}_{уд}$, руб./т, вычисляется по формуле

$$\mathcal{E}_{уд} = (n_1 / a)(C_1 + n_2 C_2 - C_3) + E_n(K_1 + n_2 K_2 - K_3), \quad (1.1)$$

где n_1 – коэффициент, учитывающий долю затрат на данный вид материала в общих затратах на сырье и материалы в себестоимости конструкции;

a – удельный расход побочного сырья на единицу продукции;

C_1 – себестоимость строительных материалов из традиционного сырья, руб.;

n_2 – коэффициент, учитывающий частичную или полную ликвидацию отвалов, $n_2 = 3 \dots 1$;

C_2 – ежегодные затраты на содержание отвалов и транспортировку побочных продуктов, руб.;

C_3 – себестоимость строительных материалов из побочных продуктов, руб.;

E_n – нормативный коэффициент окупаемости капитальных вложений, $E_n = 0,15$;

K_1 – удельные капитальные вложения на изготовление материалов из традиционного сырья, руб.;

K_2 – капитальные вложения на сооружения отвалов, руб.;

K_3 – удельные капиталовложения на изготовление материалов из побочного сырья, руб.

Снижение ущерба от утилизации побочных продуктов биосферы

$$\Delta Y = \Delta Y_B + \Delta Y_6, \quad (1.2)$$

где ΔY_B – ущерб от использования площадей для складирования побочных продуктов;

ΔY_6 – снижение ущерба сельскому, лесному, водному и другим хозяйствам.

Ущерб от использования площадей для складирования побочных продуктов, га, определяют по формуле

$$\Delta Y_B = \Pi S_B / T_B, \quad (1.3)$$

Π – цена 1 га земли, руб.;

S_B – площадь территории, высвобождаемой из-под отходов, га;

T_B – время, в течение которого разрабатываются отвалы, лет.

2 МАТЕРИАЛЫ ИЗ ПОБОЧНЫХ ПРОДУКТОВ МЕТАЛЛУРГИИ

2.1 Характеристика шлаков

Побочными материалами металлургии являются шлаки. Их применяют для изготовления цемента, местных вяжущих, заполнителей для бетонов, теплоизоляционных материалов, в качестве добавок в бетоны и растворы, автоклавных материалов. Они подразделяются на шлаки черной и цветной металлургии. Шлаки черной металлургии, в свою очередь подразделяются на доменные, сталеплавильные (мартеновские и конверторные), электроплавильные, производства ферросплавов, ваграночные.

Химический состав доменных шлаков следующий: CaO (29–30 %), MgO (0–18 %), Al₂O₃ (5–23 %), SiO₂ (30–40 %). В небольшом количестве содержится FeO (0,2–0,6 %), MnO (0,3–1,0 %), SO₃ (0,5–3,1 %).

В сталеплавильных шлаках оксидов железа содержится до 20 %, марганца – до 10 %. В шлаках цветной металлургии содержание CaO + MgO более низкое (7–13 %) и более высокое FeO (21–61 %).

Химический состав шлаков характеризуют модуль основности и модуль активности. Модуль основности M₀ представляет отношение основных оксидов к кислотным:

$$M_0 = (\text{CaO} + \text{MgO}) / (\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3). \quad (2.1)$$

По модулю основности шлаки подразделяются на основные (с M₀ > 1) и кислые (с M₀ < 1).

Модуль активности M_a – это отношение в шлаке глинозема к кремнезему:

$$M_a = \text{Al}_2\text{O}_3 / \text{SiO}_2. \quad (2.2)$$

Оксиды образуют различные минералы: кальциевые силикаты, алюминаты, ферриты.

При немедленном охлаждении шлаки могут самопроизвольно распадаться и превращаться в порошок. Это силикатный, железистый и марганцевый распады. Силикатный распад имеет место вследствие превращения β-2CaO·SiO₂ в γ-2CaO·SiO₂ при температуре ниже 525 °С. В результате объем шлака увеличивается примерно на 10 %. Это происходит при содер-

жании CaO в шлаке более 44–46 %. Однако при быстром охлаждении шлаков распада не происходит.

Железистый и марганцевый распады наблюдаются при наличии в шлаке сульфата железа FeS и сульфата марганца MnS. При взаимодействии их с водой образуются гидроксиды, увеличивающиеся в объеме.

При гидратации CaO и MgO возможны известковый и магнезиальный распады.

Из всех видов металлургических шлаков для изготовления строительных материалов больше всех применяют доменные шлаки. Они являются продуктом взаимодействия флюсов (карбонатов кальция и магния) с пустой породой железной руды, содержащей кварцевый песок, глину, серу, и золу кокса. Выход шлаков составляет 0,6–0,7 т на 1 т чугуна.

Доменные шлаки имеют химический состав, схожий с портландцементным клинкером. При их быстром охлаждении происходит образование стекловидной фазы, которая составляет 98 %. Такие шлаки в тонкоизмельченном состоянии могут при взаимодействии с водой твердеть, как портландцемент. Гидравлическая активность доменных шлаков чаще всего возрастает с повышением модуля активности. Наибольшую активность имеют основные шлаки, кислые – меньшую.

Активизируют твердение стекловидных шлаков щелочные и сульфатные добавки: портландцемент, ангидрит, щелочные соединения в виде гидроксидов натрия, калия, кальция. Они нарушают термодинамически неустойчивое равновесие стекла, которое при взаимодействии с водой самопроизвольно перестраивается с образованием более устойчивых гидросиликатов, гидроалюмосиликатов и гидроферратов кальция, в результате чего происходит схватывание и твердение.

Переработку шлаков чаще всего ведут способом грануляции. Шлаковые расплавы охлаждают. Образуются стекловидные зерна размером до 10 мм. Грануляцию осуществляют мокрым и полусухим способами. При мокром расплавленный шлак сливают в железобетонные резервуары объемом 450–800 м³, заполненные водой. Шлак быстро охлаждается и под воздействием пара и выделяющихся газов распадается на гранулы размером 5–10 мм. На 1 т шлака расходуется 2–2,5 м³ воды. Способ несложный и высокопроизводительный. Недостатком считается повышение до 30 % влажности шлака, что приводит к затрате до 80 кг условного топлива на сушку 1 т шлака. Зимой шлак смерзается, что затрудняет его выгрузку.

Полусухой способ грануляции выполняется в барабанных, гидроударных и гидрожелобных установках. Наиболее экономичными являются гидрожелобные (рисунок 2.1).

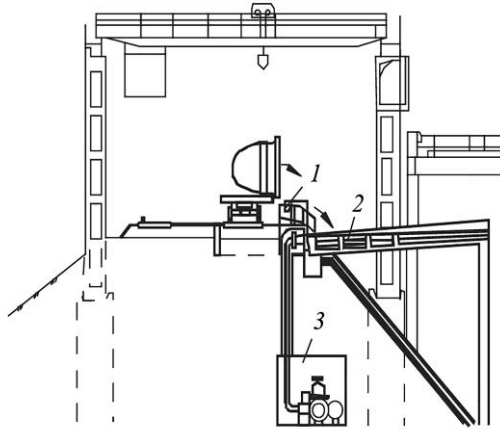


Рисунок 2.1 – Гидрожелобная установка для полусухой грануляции шлаков:
 1 – приемная ванна; 2 – грануляционный желоб; 3 – центробежный насос

Расплавленный шлак сливается струей по каменному желобу, где охлаждается водой, подаваемой под давлением 0,7–0,8 МПа, в результате чего происходит его грануляция. Далее шлак отбрасывается на 20 м и выносятся в приемник пульпы, а затем поступает в обезвоживающие бункера и на склад. Для снижения расхода воды при помощи вентилятора высокого давления к гидрожелобу подается воздух. Влажность такого шлака составляет 5–7 %. Целесообразнее всего применять доменные гранулированные шлаки для изготовления вяжущих веществ: шлакопортландцемента, шлакощелочного, сульфатно- и известково-шлаковых вяжущих, активной минеральной добавки в портландцемента. Также они применяются для изготовления минеральной ваты, в качестве заполнителей в цементных и асфальтовых бетонах.

Отвалы, медленно охлажденные шлаки применяются в качестве заполнителей для бетонов. Из них можно изготавливать вяжущие для бетонов автоклавного твердения.

Сталеплавильные шлаки в производстве строительных материалов применяются в меньшем объеме, чем доменные. Их выход на 1 т выплавляемого металла при мартеновском способе составляет 0,2–0,3 т, при бессемеровском и томассовском – 0,1–0,2, в электропечах – 0,1–0,4, от плавки феррохрома, феррованадия и ваграночных – небольшой. Более 60 % сталеплавильных шлаков мартеновского производства. У них сумма основных оксидов выше суммы кислотных. Почти всегда имеются включения металла. Они не гранулируются и сливаются в отвалы. Из-за высокой основности эти шлаки почти полностью кристаллизуются. Феррохромовые и феррованадиевые шлаки содержат в своем составе повышенное количество оксида каль-

ция и кремнезема. При охлаждении они рассыпаются в муку из-за превращения.

При обычных температурах сталеплавильные шлаки с водой не взаимодействуют. Однако в автоклавах в тонкоизмельченном виде способны твердеть, в особенности при добавках извести и молотого кварцевого песка. Их рекомендуют применять для автоклавных изделий. Не распадающиеся шлаки применяются для изготовления щебня.

Шлаки цветной металлургии содержат $\text{CaO}+\text{MgO}$ (7–13 %), Fe_2O_3 (21–61 %) и небольшое количество металлов: меди, свинца, цинка и др. Их в небольшом количестве применяют в качестве сырьевого компонента при изготовлении цементного клинкера, активной минеральной добавки в цементы, для изготовления минеральной ваты, изделий.

2.2 Вяжущие на основе металлургических шлаков

Основным потребителем металлургических шлаков является цементная промышленность. Их можно применять для изготовления всех разновидностей портландцементов в качестве сырьевого компонента при изготовлении клинкера или в качестве добавок, а также для изготовления бесклинкерных вяжущих.

Доменные шлаки имеют химический состав, схожий с химическим составом портландцементного клинкера (таблица 2.1).

Таблица 2.1 – Химический состав доменных шлаков и портландцементного клинкера

В процентах

Вид сырья	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MgO
Доменные шлаки	42–49	39–40	4–9	–	0,3–0,7	2,2–7,2
Портландцементный клинкер	63–66	21–24	4–8	2–4	–	0,5–5,0

Их можно взять основным компонентом сырьевой смеси для цементного клинкера. В этом случае содержание карбонатной составляющей в сырьевой смеси уменьшается на 20 %.

При сухом способе производства портландцемента использование шлака уменьшает расход топлива на 10–15 % на 1 т клинкера и позволяет повысить производительность печей на 15 %.

При применении маложелезистого доменного шлака возможно получение белого портландцемента, а при использовании феррохромового шлака при окислении металлического хрома – клинкера с зеленой окраской.

В портландцемент с минеральными добавками можно вводить до 20 % доменного шлака. Это позволяет сократить расход топлива на 1 т цемента на 17–18 %. Активность цемента к 28 суткам практически не изменяется.

Уменьшается высолообразование. При применении реакционноспособных заполнителей шлак защищает бетон от щелочной коррозии, коррозионная стойкость цементного камня в агрессивных средах также повышается.

Отрицательное влияние шлаки проявляют в несколько замедленном твердении цемента в раннем возрасте. Высококальциевые низкоалюминатные шлаки понижают морозостойкость цементов.

Цементы с основным компонентом доменного шлака – это обычные, быстротвердеющие и сульфатостойкие шлакопортландцементы.

Шлакопортландцемент – гидравлическое вяжущее вещество, получаемое помолотом портландцементного клинкера, гипса и доменного гранулированного шлака. Шлак вводится от 21 до 80 %. Вместо доменного шлака могут применяться электротермофосфорные шлаки.

Шлаки вводятся как эффективная минеральная добавка и могут применяться в качестве сырьевого компонента при изготовлении клинкера, где они заменяют глину.

Для клинкера обычно используются гранулированные шлаки, можно применять медленноохлажденные шлаки, однако они требуют повышенного расхода электроэнергии на дробление и помол.

Основные гранулированные шлаки в качестве минеральной добавки составляют обычно 50–60, кислых – 30–50 %. В шлакопортландцементе 8–10 % шлака может заменяться активной минеральной добавкой – трепелом, опоккой и др. Для получения быстротвердеющего шлакопортландцемента клинкер и шлак измельчают до удельной поверхности $4000 \text{ см}^2/\text{г}$. Для сульфатостойкого шлакопортландцемента применяют клинкер с содержанием C_2S не более 8 %, а шлак с содержанием Al_2O_3 – не более 8 %.

Применение шлака для шлакопортландцемента экономически выгодно. Себестоимость его по сравнению с портландцементом ниже на 25–30 % топливно-энергетические затраты снижаются в 1,5–2 раза.

Процессы, происходящие при твердении шлакопортландцемента, более сложны, чем у портландцемента. В реакциях участвуют клинкерная и шлаковая составляющие. Сначала с водой взаимодействует клинкер, образуется перенасыщенный раствор $\text{Ca}(\text{OH})_2$, который совместно с гипсом активизирует твердение шлаковых стекол. В затвердевшем портландцементе преобладают низкоосновные гидросиликаты кальция. CaO и MgO в нем меньше, чем у портландцемента.

Свойства шлакопортландцементов несколько отличаются от свойств портландцемента. Истинная плотность составляет $2,8\text{--}3 \text{ г/см}^3$, насыпная плотность в рыхлонасыпном состоянии – $900\text{--}1200 \text{ кг/м}^3$, в уплотненном – $1400\text{--}1700 \text{ кг/м}^3$.

Водопотребность шлакопортландцемента практически не отличается от водопотребности портландцемента, водоотделение больше. По срокам схва-

тывания начало схватывания наступает не ранее 45 минут и конец – не позже 10 часов. Введение 30–50 % шлака в цемент даже без гипса позволяет получить нормально- и медленносхватывающееся вяжущее. Гипс же возбуждает гидравлическую активность шлака и ускоряет его схватывание. Чаще всего шлакопортландцемент с 50–60 % шлака схватывается медленнее, чем портландцемент.

Шлакопортландцемент разделяется на классы по прочности на сжатие 32,5; 42,5. В начальный период твердение шлакопортландцемента происходит замедленными темпами. Однако через 2–3 месяца прочность его превосходит прочность портландцемента той же марки. Ускорению процессов твердения способствует тепловая обработка при 60–95 °С. Бетоны имеют прочность в 1,5–2 раза выше, чем твердевшие при 15–20 °С.

Шлакопортландцемент равномерно изменяет объем. Даже повышенное содержание свободного СаО в клинкере связывается шлаком, и в цементном камне понижается содержание гидроксида кальция. Стойкость против выщелачивающего действия мягких, а также сульфатных вод повышается.

Жаростойкость шлакопортландцемента выше, чем портландцемента. Из-за пониженного содержания Са(ОН) в цементном камне он не уменьшает прочность при длительном нагревании при температуре 600–800 °С.

Тепловыделение шлакопортландцемента через 3 и 7 суток составляет 141–197 кДж/кг. Поэтому его рекомендуют для строительства массивных сооружений.

Морозостойкость шлакопортландцемента ниже, чем портландцемента, и она уменьшается с увеличением расхода шлака, хотя и выдерживает 50–100 циклов попеременного замораживания и оттаивания. Его не рекомендуют в конструкциях, работающих в зоне переменного уровня воды, для дорожных бетонов.

Шлакощелочные вяжущие – гидравлические вяжущие вещества, получаемые из измельченных гранулированных шлаков и водных растворов соединений щелочных металлов натрия или калия со щелочной реакцией. В состав шлакощелочных вяжущих может входить в качестве добавки молотый портландцементный клинкер.

Основным компонентом шлакощелочных вяжущих являются измельченные гранулированные шлаки – доменный, электротермофосфорный или цветной металлургии. Чаще всего применяются доменные шлаки. Они должны иметь стекловидную структуру и степень измельчения не менее 3000 см²/г. Лучшими для шлакощелочных вяжущих являются шлаки с модулем основности от 0,6 до 1,05. Чем тоньше измельчен шлак, тем более высокую прочность будет иметь вяжущее.

В качестве щелочного компонента применяют каустическую (NaOH) и кальцинированную (Na₂CO₃) соду, поташ (K₂CO₃), содощелочной плав, со-

допоташную смесь, цементную пыль, натриевое жидкое растворимое стекло ($\text{Na}_2\text{O}\cdot\text{SiO}_2$) и др.

Наибольший экономический эффект дает применение щелочесодержащих отходов например содощелочного плава от производства капролактама, содопоташной смеси производства глинозема и др. Количество щелочного компонента в пересчете на Na_2O должно составлять не менее 2,5 и не более 6,5 %, при пересчете на K_2O – не менее 3,5 и не более 10 % от массы шлака.

Силикат натрия растворимый применяют с $n = 2...3$.

Шлакощелочное вяжущее может содержать в своем составе от 2 до 6 % молотого портландцементного клинкера, который ускоряет набор прочности и уменьшает деформативность цементного камня. Шлакощелочной компонент вводится в бетонную смесь в виде водного раствора плотностью от 1,1 до 1,3 г/см³. При температуре 20 °С твердение шлакощелочных вяжущих происходит в результате разрушения шлакощелочного стекла и образования низкоосновных гидросиликатов кальция группы $\text{CSH}(\text{В})$, а также гидрогранатов и гидроалюмосиликатов натрия.

По прочности вяжущие подразделяются на классы от 22,5 до 52,5.

Начало схватывания – не ранее 30 мин и конец – не позднее 12 часов. Тепловыделение их в 1,5–2,5 раза меньше, чем у портландцементов. Они имеют повышенную коррозионную стойкость, высокую водонепроницаемость и морозостойкость.

Шлакощелочное вяжущее восприимчиво к действию тепловой обработки. Оно может также набирать прочность при отрицательных температурах до минус 15 °С.

Экономическая эффективность применения шлакощелочных вяжущих исключительно высока. Удельные капитальные вложения на их производство в 2–3, себестоимость – в 1,7–2,9, удельных расход топлива – в 3–5, электроэнергии – в 2 раза меньше, чем портландцемента.

Сульфатно-шлаковый цемент – гидравлическое вяжущее вещество, полученное совместным помолом гранулированного доменного шлака с гипсом или ангидритом и щелочным активизатором – портландцементным клинкером, известью, обожженным доломитом.

К разновидностям сульфатно-шлаковых цементов относят гипсошлаковый и шлаковый бесклинкерный цементы.

Гипсошлаковый цемент содержит 75–85 % шлака, 10–15 % двуводного гипса, до 2 % оксида кальция и 5 % портландцементного клинкера. Лучшими являются основные доменные гранулированные шлаки с содержанием глинозема от 10 до 20 % и закиси марганца не более 3 %. Количество введенной извести должно составлять 0,2 г/л. Кислые шлаки должны иметь M_0 не менее 0,8 и M_d не ниже 0,45, глинозема – не более 20 % и закиси марганца – не более 3,5 %. Количество введенной извести должно составлять 0,4–0,5 г/л.

В качестве возбудителя шлака лучше применять ангидрит, полученный обжигом гипсового камня при температуре 600–700 °С.

При изготовлении гипсошлакового цемента нельзя вводить избыточное количество извести и портландцемента. Они могут вызвать неравномерность изменения объема.

Шлаковый бесклинкерный цемент содержит в своем составе 85–90 % шлака, 5–8 % ангидрита и 5–8 % обожженного доломита. При применении основных шлаков доломит обжигают при температуре 800–900 °С до частичного разложения CaCO_3 , при применении кислых – 1000–1100 °С до полного разложения CaCO_3 .

Начало схватывания сульфатно-шлаковых цемента происходит не ранее 30 минут, конец – не позднее 10 часов. Активность этих цемента составляет 30–40 МПа. Она увеличивается с тонкостью помола. Поэтому их рекомендуют измельчать до удельной поверхности 4000–5000 $\text{см}^2/\text{г}$. Оптимальная температура твердения сульфатношлаковых цемента 20–30 °С. При температуре ниже 10 и выше 40 °С, а также при пропаривании твердение замедляется.

Сульфатно-шлаковые цементы имеют повышенную стойкость при воздействии мягких, сульфатных и морских вод. Поэтому их рекомендуют применять в агрессивных средах. Они выделяют мало тепла и их целесообразно применять в массивных сооружениях. Бетоны на сульфатно-шлаковых цементах следует увлажнять в течение 2–3 недель.

Известково-шлаковый цемент – гидравлическое вяжущее, получаемое совместным помолом доменного гранулированного шлака, негашеной извести и двуводного гипса. Известки вводится 10–20 %. Содержание извести более 20 % может вызвать быстрое схватывание и неравномерность изменения объема. Гипса вводится 5 % для регулирования сроков схватывания и ускорения твердения, шлаки применяются основные или слабокислые с содержанием закиси марганца до 3–4 % и повышенным содержанием глинозема.

Известково-шлаковый цемент твердеет в результате щелочного возбуждения стекла оксидом кальция. Начало схватывания этого цемента должно наступать не ранее 25 минут, конец – не позже 24 часов. Прочность его составляет от 5 до 20 МПа. Она повышается при увеличении тонкости помола. Ускоряет его твердение тепловая обработка при температуре 90–95 °С и в автоклавах. При снижении температуры меньше 10 °С скорость твердения сильно замедляется. Этот цемент имеет после тепловыделение, высокую стойкость в агрессивных средах. Морозостойкость его низкая.

Применяют известково-шлаковый цемент для малопрочных бетонов и растворов. Не рекомендуется применять в конструкциях, подверженных попеременному увлажнению и высыханию, замораживанию и оттаиванию.

Известково-шлаковый цемент имеет высокую экономическую эффективность. На 1 т расходуется всего 50–60 кг условного топлива, 70–80 кВт·ч электроэнергии.

Шлаковые вяжущие для бетонов автоклавного твердения получают из нестандартных гранулированных или отвальных медленноохлажденных шлаков черной металлургии и активизаторов твердения. Кроме металлургических шлаков можно применять электротермофосфорные шлаки и золы ТЭЦ. Активизатором твердения является портландцемент или известь в количестве 10–20 % и гипс 3–5 %, При применении отвальных шлаков их следует дробить до зерен размером 3–5 мм, а затем извлекать металл. Затем составляющие совместно мелют до остатка на сите № 008 не более 10–15 %. Чем тоньше помол, тем прочность вяжущего выше.

При наличии в шлаках алюмоферритов кальция, β - C_2S или основного шлакового стекла эти вяжущие могут твердеть при обычной температуре, но лучше твердеют при температуре 90–95 °С в среде пара. При содержании в шлаках меньшего количества активных компонентов γ - C_2S , α -CS, мервинта, анортита и др., они набирают прочность в автоклавах под давлением 0,8–1,5 МПа при температуре 174,5–200 °С.

Шлаковые вяжущие автоклавного твердения целесообразно применять для изготовления в заводских условиях сборных бетонных и железобетонных изделий.

2.3 Заполнители из металлургических шлаков

Металлургические шлаки для заполнителей должны быть устойчивыми к силикатному, железистому, известковому и магнезиальному распадам. Стойкость против силикатного распада оценивают пропариванием шлака над кипящей водой или в автоклаве при давлении 0,2 МПа. Потери не должны превышать 5 %.

Стабилизацию выполняют термическим, химическим и кристаллохимическим способами. При термическом способе осуществляют быстрое охлаждение шлака, сливая его тонкой струей со шлаковой горы или грануляцией. При химической стабилизации в расплав вводят глину или песок, связывающие оксид кальция в устойчивые минералы. При кристаллохимическом способе для стабилизации β - C_2S вводятся щелочи, оксиды фосфора, бора и др.

Стойкость шлака против железистого распада определяют его выдерживанием в дистиллированной воде в течение 30 суток. Потери массы не должны превышать 5 %.

Известковый и магнезиальный распады не происходят при отсутствии в их составе свободных CaO и MgO. Процессы распада шлака протекают в течение 2–3 месяцев. Поэтому шлаки, пролежавшие длительное время в отвалах и в которых не наблюдается распад, считаются устойчивыми.

Гранулированный шлак состоит в основном из зерен крупностью до 5 мм. Примерно 50 % составляют зерна крупностью более 2,5 мм. Есть зерна размером 10–15 мм. Насыпная плотность шлака – 600–1200 кг/м³. Его при-

меняют в качестве мелкого заполнителя в бетонах, в том числе пористые его разновидности в легких бетонах, может служить укрупняющей добавкой для обогащения мелких природных песков. Эти шлаки применяют для изготовления мелких шлакобетонных камней, крупных блоков.

Перспективным является мелкозернистый бетон плотной структуры. Применяя пластифицирующие добавки, быстроходные смесители и ударный метод уплотнения бетонной смеси можно получить мелкозернистые бетоны класса по прочности на сжатие до $C^{32/40}$. Из него можно изготавливать панели безрулонной кровли, бортовые камни, тротуарные плиты.

Шлаковая пемза (термозит). Одними из самых эффективных заполнителей для легких бетонов являются щебень и песок из шлаковой пемзы. Пемзу получают поризацией шлакового расплава, бассейновым, гидроэкранным и другими способами. При бассейновом способе расплавленный шлак выливают в железобетонный стационарный бассейн или в металлический опрокидной. Через перфорированное днище под давлением 0,4–6,6 МПа подается вода. Образуемый пар вспучивает шлак. Из стационарного бассейна шлаковую пемзу выгружают экскаваторами или скреперами, во втором случае – опрокидыванием бассейна.

При гидроэкранным способе (рисунок 2.2) шлаковый расплав попадает в гидрожелоб и струями воды отбрасывается на экран, отразившись от которого попадает во второй гидрожелоб, а затем на перегружатель для дробления.

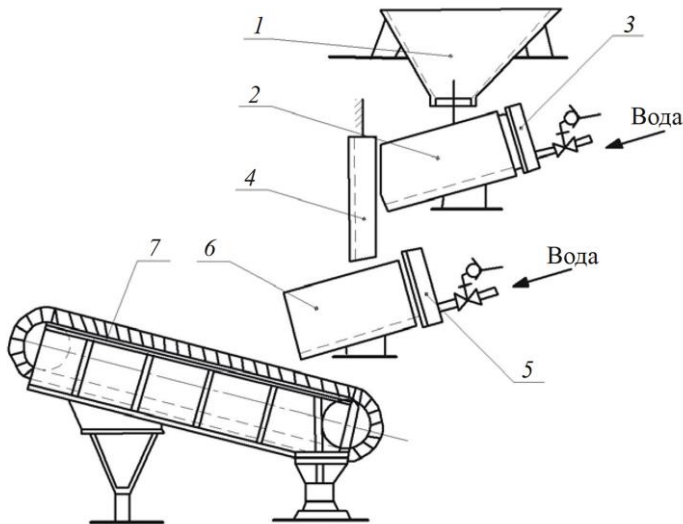


Рисунок 2.2 – Схема гидроэкранным устройства:

1 – воронка; 2 – первый желоб; 3 – первый гидромониторный насадок; 4 – экран;
5 – второй гидромониторный насадок; 6 – второй желоб; 7 – перегружатель

Из шлаковой пемзы изготавливают щебень с насыпной плотностью от 400 до 900 кг/м³ и песок с насыпной плотностью от 600 до 1000 кг/м³.

Прочность щебня – от 0,3 до 1,5 МПа. Выпускают его трех фракций: 5–10, 10–20, 20–40 мм. Это наиболее экономичный пористый заполнитель. Затраты труда на его изготовление в 5 раз меньше по сравнению с керамзитовым гравием и аглопоритовым щебнем. На него практически не расходуется технологическое топливо. Расход электроэнергии на 1 м³ щебня и песка составляет 6,2 кВт·ч, а на 1 м³ керамзитового гравия – 24 кВт·ч и аглопорита – 47,4 кВт·ч.

Эффективно применение заполнителей из шлаковой пемзы для теплоизоляционных и конструктивно-теплоизоляционных бетонов различного назначения. Их применяют для изготовления наружных стеновых панелей, несущих панелей внутренних стен и перекрытий, жаростойкого бетона.

Отвальные металлургические шлаки. На металлургических заводах скопились десятки миллионов тонн доменных, мартеновских и конверторных шлаков. Их количество продолжает расти. Имеется опыт их переработки в щебень, что экономически выгодно. Удельные капиталовложения в 2,5–3 раза ниже по сравнению с заполнителями из естественных горных пород.

Щебень из отвальных шлаков неоднороден по своему составу, поэтому его следует обогащать с разделением по плотности. Для этой цели применяют пневмокласификаторы углеобогажительных фабрик.

Из отвальных металлургических шлаков получают щебень с насыпной плотностью более 1000 кг/м³ тех же фракций, что и природный щебень. Выпускается щебень марок: по прочности от F30 до F120, по морозостойкости – от F15 до F30.

Литой шлаковый щебень изготавливают из шлаков текущего выхода по схеме, приведенной на рисунке 2.3. Расплавленный шлак сливают на специальные литейные площадки или в траншеи слоями 200–500 мм. При остывании до 800 °С он кристаллизуется и растрескивается. Для усиления растрескивания его поливают водой. Затем шлаковые массивы разрабатываются экскаватором, дробятся и разделяются на фракции.

Литой шлаковый щебень имеет среднюю плотность зерен 2200–2800 кг/м³, насыпную плотность 1200–1500 кг/м³, предел прочности при сжатии 100 МПа. Он характеризуется высокой морозо- и жаростойкостью, имеет стоимость в 2 раза ниже щебня из природного камня. Его применяют для изготовления высокопрочных бетонов, конструкций, подвергающихся воздействию высоких и низких температур, асфальтобетонов и как исходное сырье для шлаковаты.

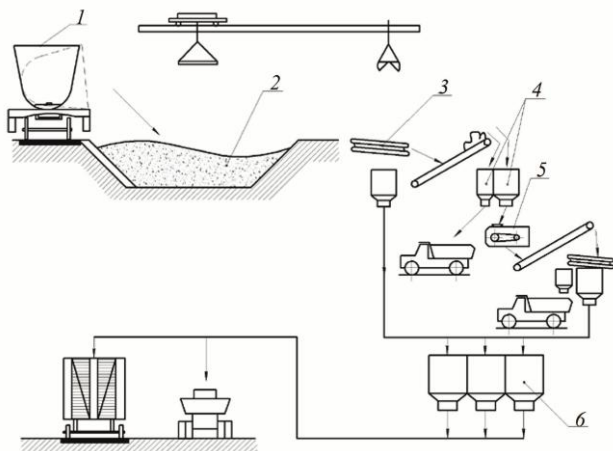


Рисунок 2.3 – Схема производства литого щебня траншейным способом:
 1 – шлаковозный ковш; 2 – траншея для шлаковых расплавов; 3 – грохот;
 4 – бункеры; 5 – дробилка; 6 – бункеры для готовой продукции (шлакового щебня)

2.4 Материалы из шлаков для дорожного строительства

Металлургические шлаки применяются в дорожном строительстве в виде щебня, песка, минерального порошка.

Шлаковый щебень служит для укрепления оснований под асфальтобетонные перекрытия и устройства подстилающих слоев. Его изготовляют из несортированных отвалных шлаков. Щебень легко укатывается, цементируется, имеет высокую прочность на сдвиг, образует монолитный слой, особенно со щебнем из слабых известковых пород. Применяется также для расклинивания оснований из гранитного щебня, плохо поддающегося укатке. При эксплуатации прочность основания возрастает. Применяя шлак с хлоридом кальция, можно вести дорожные работы при отрицательных температурах.

Отвалные шлаки применяются как заполнитель в асфальтобетонах для верхних слоев дорожных одежд. Покрытия имеют высокую прочность, низкую истираемость, сопротивляются сдвиговым деформациям. При контакте с водой в порах образуются кристаллогидраты, которые повышает плотность и морозостойкость асфальтобетона.

Из сталеплавильных шлаков получается высококачественный минеральный порошок. Его назначение – перевод битума в пленочное состояние, заполнение пор между крупными частицами, что повышает плотность и прочность асфальтобетона. Недосток асфальтобетонных смесей – их повышенная на 15–20 % плотность по сравнению со смесями из природных материалов.

2.5 Бетоны на основе металлургических шлаков

Вяжущие и заполнители из металлургических шлаков широко применяются для различных видов бетонов: особо тяжелых, тяжелых, легких, крупно- и мелкозернистых.

Особо тяжелые изготавливают из сталеплавильных шлаков и шлаков цветной металлургии; **тяжелые** – на отвальном и литом шлаковом щебне и песке; **легкие** – на крупном заполнителе из шлаковой пемзы и мелком – из гранулированных шлаков. **Мелкозернистые шлаковые бетоны** изготавливают на гранулированном шлаке.

По структуре бетоны на шлаках бывают обычными, плотными, крупнопористыми и ячеистыми.

По назначению подразделяются на конструкционные, конструкционно-теплоизоляционные, теплоизоляционные, дорожные, гидротехнические, кислотостойкие и жаростойкие.

Шлаковые бетоны твердеют при обычных условиях. Пропаривание и особенно автоклавная обработка повышают их прочность.

На шлаковых заполнителях из плотных металлургических шлаков получают тяжелые бетоны всех классов по прочности. Прочность их может повышаться за счет развитой и активной поверхностей, особенно на растяжение и растяжение при изгибе. Пропаренные бетоны имеют прочность 10–30 МПа, автоклавные – 30–60 МПа.

Шлаковый песок (отсев) в бетонах повышает его водопотребность, что приводит к перерасходу цемента. Поэтому в бетоны следует вводить пластифицирующие добавки, а также кварцевый песок и песок из гранулированного шлака.

Бетоны на шлаковом щебне имеют повышенную водопотребность и меньшую удобоукладываемость. Деформативные свойства шлаковых бетонов и их сцепление с арматурой аналогичны с бетонами на природных плотных заполнителях. Их применяют для разнообразных несущих железобетонных конструкций.

Мелкозернистые бетоны изготавливают на шлаковом песке и песке из гранулированных шлаков. Вяжущими служат бесклинкерные шлаковые вяжущие и шлакопортландцемент. Прочность при сжатии может быть 10–40 МПа и выше. Прочность повышается с тонкостью измельчения шлаковых вяжущих, уплотнением бетонной смеси прессованием и вибропрессованием. Применение дробленых шлаков обеспечивает сцепление заполнителя с цементным камнем. Прочность возрастает на 40–60 % по сравнению с природными мелкими песками. При применении бесклинкерных шлаковых вяжущих в мелкозернистых бетонах наибольшая прочность получается при их тепловой обработке в автоклавах при давлении 0,9–1,6 МПа.

Для легких бетонов на пористых заполнителях применяют шлаковую пемзу ($\rho_n = 500 \dots 800 \text{ кг/м}^3$), гранулированный доменный шлак ($\rho_n = 700 \dots 1100 \text{ кг/м}^3$), доменные отвалы шлаки ($\rho_n = 800 \dots 1000 \text{ кг/м}^3$).

Шлаковая пемза и гранулированный шлак имеют стекловидную структуру. Поэтому бетоны на них отличаются более низкой теплопроводностью по сравнению с бетонами на керамзите и аглопорите. Бетоны на шлаковой пемзе обладают повышенной растяжимостью и трещиностойкостью. Можно получить бетоны с маркой по морозостойкости F600 и выше.

Плотный и поризованный шлакобетон применяют для изготовления несущих и ограждающих конструкций. Они экономичны: приведенные затраты по сравнению с керамзитобетоном на 20–25 % ниже.

Ячеистые бетоны – искусственные каменные материалы, состоящие из смеси вяжущего, кремнеземистого наполнителя, воды, газо- и пенообразователей, образующих равномерно распределенные поры диаметром 1–3 мм. Твердение бетонов может происходить при обычной температуре, тепловой обработке при атмосферном давлении и в автоклавах.

При твердении в автоклавах при повышенной температуре и давлении применяются шлаковые вяжущие. Лучшим является известково-шлаковое вяжущее на гранулированных доменных шлаках. При пропаривании в автоклавах его активность возрастает. Это вяжущее должно измельчаться до удельной поверхности не менее $4000 \text{ см}^2/\text{г}$ и в своем составе содержать не менее 10 % активной CaO. Эффективно применение также шлакопортландцемента. Отвалы шлаки применяют с M_0 не менее 0,6 и M_a не менее 0,4.

В качестве активных наполнителей в ячеистых бетонах применяют отвалы и гранулированные шлаки, измельченные до удельной поверхности $1500 \text{--} 3500 \text{ см}^2/\text{г}$.

Прочность на сжатие теплоизоляционного ячеистого бетона с $\rho_c = 400 \dots 500 \text{ кг/м}^3$ составляет 0,6–2 МПа, конструктивно-теплоизоляционного с $\rho_c = 600 \dots 1200 \text{ кг/м}^3$ – 3–12,5 МПа.

Недостатком ячеистых бетонов являются усадочные деформации. Она составляет 0,45–0,7 мм/м в автоклавных бетонах и 2 мм/м в безавтоклавных. Деформации набухания составляют 0,4–1,6 мм/м.

Введение 20–25 % крупного заполнителя из шлаковой пемзы и гранулированного шлака уменьшает усадочные деформации на 50–70 %.

Морозостойкость ячеистого бетона составляет 100–150 циклов.

Недостатком ячеистых бетонов является высокая сорбционная влажность, паро- и воздухопроницаемость. Они в 5–10 раз больше, чем в тяжелом бетоне. Бетоны следует защищать гидроизоляционными материалами при эксплуатации в среде с повышенной влажностью. Арматурная

сталь в бетоне корродирует. Ее следует окрашивать цементно-казеиновыми, цементно-латексными, битумными, полимерными и другими покрытиями.

Конструкции из ячеистых бетонов на шлаковых материалах имеют высокие экономические показатели. Они легче керамзитобетона в 1,9–2 раза, стоят дешевле, удельные капложения на 30–40 % ниже по сравнению с другими бетонами.

В жаростойких бетонах шлаковые материалы используются в виде вяжущих, заполнителей, тонкомолотых добавок, отвердителей. Жаростойкость шлаковых цементов выше портландцемента. В них ограничено содержание гидроксида кальция, разрушающегося при воздействии высоких температур. На шлакопортландцементе можно получить жаростойкий бетон с температурой эксплуатации до 1200 °С.

Жаростойкость бетонов на портландцементах, которая может составить 700 °С, повышают введением в их состав тонкомолотых доменных шлаков с M_0 не более 1. В качестве заполнителей для жаростойких бетонов применяют гранулированные и отвальные шлаки, шлаковую пемзу.

Начальная прочность при сжатии шлаковых бетонов достигает 30 МПа. При температуре 700–800 °С она уменьшается в 2–2,5 раза. Эти бетоны выдерживают 7 теплосмен при нагревании до 800 °С и охлаждении в воде и 20 теплосмен при охлаждении на воздухе. Высокую жаростойкость имеют бетоны на бесклинкерных шлаковых вяжущих.

Самораспадающиеся феррохромовые и марганцевые шлаки применяются как отвердители для жаростойких бетонов на жидком стекле. На доменных шлаках с тонкомолотой добавкой ферромolibденового шлака получают бетоны, выдерживающие температуру до 1000 °С. На глиноземистом цементе и шлаковой пемзе получают бетоны с $\rho_c = 440...1600 \text{ кг/м}^3$, выдерживающие температуру 800–1000 °С.

Бетоны на вяжущих и заполнителях из шлаков сталеплавильного и ферросплавного производств эксплуатируются при температуре 800–1700 °С.

Бетоны на шлакощелочных вяжущих – шлакощелочные бетоны. Это тяжелые, легкие на пористых заполнителях и ячеистые, самые различные специальные. Содержание вяжущего в их составе 15–30 %. Заполнителями служат те же материалы, что и в бетонах на портландцементах, и, кроме того, применяются многие дисперсные природные материалы и отходы производства. Особенность этих бетонов – способность щелочей взаимодействовать не только со шлаком, но и с заполнителями, а также пылевидными и глинистыми частицами с образованием щелочных гидроалюмосиликатов. Требования к заполнителям снижаются. Могут применяться мелкие пески, супеси, лессы. Допускается содержание глины до 5 %, пылевид-

ных частиц до 20 %, гипс и ангидрид не допускаются. Из вторичных ресурсов применяются шлаки, золы, горные породы, отходы камнедробления.

Приготавливаются бетонные смеси на существующем оборудовании. Молотый шлак перемешивается с заполнителем и затворяется водным раствором щелочного компонента с плотностью 1,1–1,3 г/см³. Бетонные смеси на силикате натрия (натриевом растворимом стекле) приготавливаются в две стадии. В начале в течение 2–3 минут все составляющие перемешивают с половиной раствора силиката, затем дозируется вторая половина и производится окончательное перемешивание.

Пропаривание при нормальном давлении и автоклавная обработка активизирует твердение. Прочность достигает 100 % от марочной. Время автоклавной обработки по сравнению с бетонами на портландцементе сокращается.

Шлакощелочные бетоны подразделяются на классы по прочности на сжатие от C¹²/₁₅ до C⁹⁰/₁₀₅. По морозостойкости эти бетоны имеют марки от F200 до F1000, по водонепроницаемости – от W4 до W30. Высокие водонепроницаемость и морозостойкость объясняются наличием в структуре камня мелких замкнутых пор.

Уровень pH паровой жидкости шлакощелочного бетона больше или равен 12, щелочная среда и высокая плотность бетона хорошо защищают арматурную сталь от коррозии.

Шлакощелочные бетоны обладают очень важным свойством для природных условий Беларуси: бетонные смеси не замерзают и твердеют при температуре до минус 10–15 °С. Имеют высокую стойкость в мягких и сульфатных водах из-за отсутствия в их составе гидроксида кальция и высокоосновных гидроалюминатов кальция.

Из-за высоких технических свойств шлакощелочные бетоны применяют во всех отраслях строительства. Они более экономичны по сравнению с цементными бетонами.

2.6 Материалы из шлаковых расплавов

Шлаковая вата. Сырьем для производства шлаковой ваты в основном служит доменный шлак. Реже применяются ваграночные, мартеновские и шлаки цветной металлургии. Самым экономичным сырьем является литой шлаковый щебень. Производительность печей на нем повышается на 30 %.

При выборе шлаков для производства шлаковой ваты их химический состав должен обеспечивать модуль кислотности (величину, обратную модулю активности) $M_k \geq 1,4$. Это кислые шлаки, которые обеспечивают вязкость расплава не более 0,5 Па·с при 1500 °С и 1,5 Па·с при 1400 °С, что создает необходимые условия получения кондиционного минерального волокна. Кислые шлаки также устойчивы против распада. При необходимости модуль кислотности корректируется введением добавок.

Изготовление изделий из минеральной ваты включает три этапа получения расплава, затем из него – волокна и изготовление разнообразных теплоизоляционных материалов и изделий.

Расплав получают в шахтных печах (вагранках). В верхнюю часть загружают шлак и кокс в виде кусков размером 50–70 мм. Образуется расплав с температурой 1400–1500 °С.

Наиболее экономичный способ получения расплава – в ваннных печах. Их тепловой КПД составляет 35–45 % против 16–25, % в вагранках. И самый экономичный способ получения шлаковой ваты – изготовление из первичного расплавленного шлака. Огненно-жидкий шлак загружается в ванны печи и подогревается до нужной температуры. При необходимости там же и корректируется состав. Экономия по сравнению с ваграночным составляет 30–50 %.

Изготовление волокна из расплава производится несколькими способами: вертикальным и горизонтальным дутьевым, в зависимости от направления потока воздуха; фильерным при подаче расплава через пластины с отверстиями; центробежным или центробежно-дутьевым, когда используется центробежная сила рабочего органа (диска, чаши, валиков) или центробежная сила и дутье для формирования струи расплава и вытягивания волокон.

Чаще всего волокна получают центробежным способом, который позволяет изготавливать шлаковую вату с плотностью до 100 кг/м³.

Для производства изделий из минеральной ваты применяют органические вяжущие вещества, которые скрепляют волокна между собой. Это фенолоспирты, композиции, состоящие из фенолоспирта и поливинилацетатной эмульсии или хлоропренового каучука, фенолоформальдегидная или карбамидная смолы, нефтяные битумы, крахмальное связующее.

Промышленность выпускает рыхлую шлаковую вату с $\rho_c = 75...127$ кг/м³ плиты на различных связующих с $\rho_c = 35...400$ кг/м³, цилиндры и полуцилиндры на синтетических связующих с $\rho_c = 100...250$ кг/м³, рулонные и шнуровые материалы.

Шлаковая вата применяется для тепло- и звукоизоляции стен, перекрытий, теплоизоляции покрытий, для изоляции холодильников и высокотемпературных печей, трубопроводов, работающих в интервале температур от 100 до 1200 °С.

Шлаковое литье. Расплавленные металлические шлаки применяются для изготовления бортовых камней, труб, плит, брусчатки и других изделий. Для этого используют расплавы нераспадающихся кислых доменных, мартеновских, медеплавильных и других шлаков. Их загружают в подогревающий миксер для дегазации, потом сливают в ковш, из которого заполняют формы. При затверждении усадка отливок составляет 7 % объема. В результате фазовых превращений, неравномерности распределения температур

возникают напряжения, которые могут привести к образованию трещин. В готовых изделиях их снимают термической обработкой в специальных печах (кристаллизацией). Дополнительно может создаваться жесткий каркас из шлакового щебня. В тонкостенных изделиях количество щебня составляет 10–25 % от их объема. Он плавится и аккумулирует тепло. В массивных изделиях объем щебня составляет 40–60 %, который частично оплавляется. Это уменьшает напряжение и ликвидирует усадочные явления.

Крупные изделия укрепляются стальной арматурой. Коэффициент термического расширения стали выше шлака, при охлаждении она создает предварительные напряжения, что повышает трещиностойкость изделий.

Пористое шлаковое литье получают поризацией шлакового расплава. На дно формы насыпают увлажненную коксовую мелочь, которая, сгорая, образует газопоризующие изделия.

Средняя плотность литых шлаковых изделий составляет 3000 кг/м^3 , предел прочности при сжатии 500 МПа, пористых – соответственно $350\text{--}1500 \text{ кг/м}^3$ и 1,5–30 МПа. По износостойкости они превышают бетон и сталь, эффективны при футеровках, подвергающихся воздействию абразивных материалов.

Шлакоситаллы – стеклокристаллические материалы, получаемые направленной кристаллизацией стекол. Исходным сырьем для их изготовления служат шлаки песок, щелочесодержащие и другие добавки. Катализатором кристаллизации являются TiO_2 , CaF_2 , P_2O_5 и другие.

Наиболее эффективно применение огненно-жидких шлаков, что позволяет экономить 30–40 % тепла, затрачиваемого на варку. Из расплава получают необходимые изделия, которые подвергают термической обработке в кристаллизаторах, в результате чего образуется кристаллическая структура.

Шлакоситаллы широко применяются в строительстве. Из них изготавливают плиты для облицовки цоколей и фасадов, ограждения балконов и лоджий, полы промышленных и гражданских зданий, трубы, высоковольтные изоляторы и другое.

Шлакоситаллы обладают высокой химической стойкостью и износостойкостью. Их применяют в химической и горнорудной промышленности.

Пористые шлакоситаллы (пеношлакоситаллы) являются хорошими теплоизоляционными материалами.

2.7 Материалы на основе шламов

Шламы – побочные продукты получения глинозема из нефелина. Нефелин – минерал из класса силикатов $\text{KNa}_3(\text{AlSiO}_4)$ и щелочных горных пород нефелиновых сиенитов.

По химическому составу нефелиновый шлам занимает промежуточное положение между портландцементным клинкером и шлаком. Он состоит из

β - C_2S и небольшого количества ферритов кальция, алюминатов и др. и имеет повышенное содержание щелочей (до 25 %). На основе нефелинового шлама изготавливают нефелиновый цемент. Он состоит из 60–85 % высушенного шлама, 15–20 % извести и портландцемента и 4–7 % гипса. Гипс вводится для регулирования сроков схватывания. Материалы совместно измельчают до остатка на сите № 009 не более 10 %.

Начало схватывания его наступает не ранее 45 минут и не позднее 6 часов. Класс по прочности 32,5. Нарастание прочности при обычной температуре протекает медленно. Ускоряет твердение в 1,5–2 раза пропаривание и в 2,5–3 раза – автоклавная обработка.

При расходе нефелинового цемента 250–300 кг/м³ можно получить бетоны нормального твердения классов по прочности на сжатие до $C^{12}/_{15}$ и автоклавного классов $C^{20}/_{25}$ – $C^{32}/_{40}$.

Применяют нефелиновый цемент при изготовлении массивных конструкций, жаростойких и ячеистых бетонов вместо извести для кирпича.

Себестоимость нефелинового цемента на 42 % и расход топлива на 56 % ниже по сравнению с портландцементом.

Кроме нефелинового шлама при изготовлении вяжущих применяют бокситовый и сульфатный шламы. В своем составе они содержат β - C_2S алюминаты, ферриты и другие минералы. Для активизации твердения вводят добавки извести и гипса.

Шламы применяются также при производстве портландцементов. Они служат для изготовления портландцементного клинкера и в качестве минеральной добавки.

Портландцементный клинкер изготавливают из сырьевой смеси, состоящей из 41 % шлама, 53 % известняка, 4,5 % боксита и 1,5 % пиритных огарков. Их совместно измельчают и корректируют состав.

Шламовые отходы уже содержат гидравлические активные минералы. При изготовлении клинкера для завершения реакций клинкерообразования требуется меньше времени и топлива, чем при производстве клинкера из обычного, сырья. Производительность печей повышается на 30 %.

Нефелиновые и другие шламы могут вводиться как активные минеральные добавки. Замена 15–20 % клинкера измельченным шламом не уменьшает существенно прочность цементов.

Нефелиновые цементы низкотермичны. Их рекомендуют для массивных бетонов.

Бокситовые шламы содержат повышенное качество оксидов железа и алюминатов. Их применяют в качестве корректирующей добавки при изготовлении портландцемента. Температура обжига клинкера снижается на 50–70 °С.

2.8 Цементные и асфальтовые бетоны на отработанных формовочных смесях

Одним из отходов литейных заводов и цехов являются отработанные формовочные смеси. Имеется опыт их применения в качестве заполнителей для цементных растворов и бетонов, газобетонов. Большее применение они нашли в дорожном строительстве при устройстве подстилающих слоев дорожных одежд с минеральными и органическими вяжущими, для устройства искусственных оснований городских дорожных одежд, в виде добавки к минеральной составляющей для асфальтобетонов, в качестве мелкого заполнителя для асфальтобетонов.

Формовочная смесь приготавливается из кварцевого формовочного песка (60–70 %), отработанной повторно применяемой смеси (24–38 %) жидкого натриевого стекла (6–8 %), феррохромового шлака (3,5–4 %), бентонитовой глины (2–3 %).

Из нее изготавливают формы, которые после получения металлического литья разрушаются и после дополнительной переработки превращаются в мелкий заполнитель, применяемый для изготовления цементных и асфальтовых бетонов.

Следует иметь в виду, что удобоукладываемость бетонных смесей хуже удобоукладываемости смесей на речном песке. Это приводит к перерасходу цемента или требует введения пластифицирующих добавок. И их следует применять после экономического обоснования.

Асфальтобетоны, минеральная часть которых состоит из отработанных формовочных смесей, имеют показатели, соответствующие нормативным требованиям.

3 МАТЕРИАЛЫ ИЗ ТОПЛИВНЫХ ЗОЛ И ШЛАКОВ

3.1 Получение зол и шлаков от сжигания твердых видов топлива

Среди промышленных отходов большой объем занимают золы и шлаки от сжигания твердых видов топлива: угля, горючих сланцев, торфа. На многих теплоэлектростанциях их выход превышает 1 млн т в год.

Из зол и шлаков можно изготавливать разнообразные строительные материалы: вяжущие, заполнители, бетоны. Это выгодно экономически и, кроме того, улучшает экологию.

Твердое топливо сжигают чаще всего в виде пыли и реже – кусков. В топках образуется 80 % золы и 20 % шлака. Зола уносится дымовыми газами и улавливается циклонами и электрофильтрами. Шлак накапливается в шлаковом бункере под топкой. Минеральная часть твердого топлива включает глинистые минералы, кварц, полевые шпаты, сульфиды и оксиды железа, карбонаты кальция и магния. При температуре 1200–1700 °С образуются различные соединения. Глинистые минералы дегидратируются и переходят из кристаллического в аморфное состояние. Зерна кварца существенно не изменяются. Происходит только их растрескивание и оплавление.

Соединения железа переходят в гематит Fe_2O_3 или магнетит Fe_3O_4 . Карбонаты диссоциируют с образованием CaO и MgO . Органическая часть топлива переходит в полукокс или кокс и затем отделяется до CO и CO_2 . Золой могут содержать невыгоревшие органические остатки.

Зола улавливается золоулавливателями и транспортируется чаще всего гидравлическим способом в золоотвалы. Этим же способом может транспортироваться и шлак. Зола лучше удалять пневматическим сухим способом. Получается более однородный состав, она зимой не смерзается. Капитальные затраты на удаление и складирование в два раза, а эксплуатационные на 30 % меньше, чем при гидравлическом. Из бункера-наполнителя она вагонами или автотранспортом направляется потребителю.

Шлак из котла может удаляться различными способами. При гидравлическом удалении шлак с водой попадает в отстойник, а затем грейферным краном грузится в автосамосвалы и направляется в отвалы или потребителю.

При огненно-жидком шлакоудалении с последующей грануляцией расплавленный шлак попадает в ванну с водой, где распадается на гранулы размером 10–15 мм, состоящие из стекла. При гидравлическом удалении

шлак подается водой в отвалы, при сухом – в дробилку, где измельчается до зерен необходимого размера.

Золошлаковые смеси в отвалах имеют неоднородный зерновой и химический составы и высокую влажность, что ухудшает их свойства для производства строительных материалов.

3.2 Химический и минеральный состав зол и шлаков

Химический состав зол колеблется в зависимости от месторождений углей. Они содержат, %: SiO_2 – 37–63; Al_2O_3 – 9–37; Fe_2O_3 – 4–17; CaO – 1–32; MgO – 0,1–5; SO_3 – 0,05–2,5; $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ – 0,5–5.

По модулю основности золы подразделяются на основные с $M_0 > 0,9$; кислые с $M_0 = 0,6...0,9$ и сверхкислые с $M_0 < 0,6$. Основные содержат 50 % $\text{CaO} + \text{MgO}$, сверхкислые – 12 %.

Высококальциевой зольностью обладают бурые и каменные угли ряда месторождений Средней Азии и Сибири, горючие сланцы.

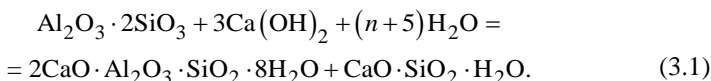
Большинство зол от сжигания каменных углей и антрацитов содержат повышенное количество SiO_2 и Al_2O_3 и небольшое (до 5 %) CaO .

В золах допускается наличие SiO_2 до 3 %, свободных CaO – до 2–5 % и MgO – до 5 %, $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ – до 1,5–3 %. Повышенное содержание этих оксидов приводит к сульфатной коррозии, к неравномерности изменения объема и щелочной коррозии при применении реакционно-способных заполнителей.

Кроме минеральной части в золах содержится от 0,5 до 20 % несгоревшего топлива, которое является вредной примесью при использовании их в бетонах.

Неорганическая фаза зол состоит из аморфной и кристаллической составляющих. Основной является стекловидная алюмосиликатная фаза в количестве 40–65 % получаемая обжигом глинистого вещества. Она состоит из частиц шарообразной формы размером до 100 мкм. Кристаллическая составляющая состоит из α -кварца (αSiO_2), муллита ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) и может содержать гематит (Fe_2O_3). Стекловидная фаза способна к гидратации и гидролизу, что дает возможность применять их при изготовлении вяжущих и в бетонах. Они обладают пуццолановой активностью – способны взаимодействовать с гидроксидом кальция при обычных температурах.

Аморфизированное глинистое вещество в виде метакаолинита $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ взаимодействует с $\text{Ca}(\text{OH})_2$ по схеме



Высокотемпературное спекание и плавление глинистых минералов снижает гидравлическую активность зол и шлаков. Активность их значительно повышается в результате пропаривания при нормальном давлении и особенно при автоклавной обработке.

Показателем качества золы является ее дисперсность и гранулометрический состав. Удельная поверхность золы 1000–4000 см²/г, размеры зерен – 1–200 мкм. Около 50 % составляют зерна размером 30–40 мкм. Наиболее дисперсная зола улавливается электрофильтрами.

Топливные шлаки состоят из зерен размером 0,14 до 20 мм. Химический состав их, как и зол, имеет широкий диапазон – от сверхкислых до основных. Содержание стекловидной фазы составляет 85–90 %, содержание негоревших частиц – от 1 до 25 % и более.

3.3 Вяжущие вещества с добавкой зол и шлаков ТЭС

Золошлаковые материалы: пылевидные золы, золошлаковые смеси из отвалов и топливные шлаки – можно применять для изготовления портландцементного клинкера, портландцементов с минеральными добавками, пуццолановых портландцементов, шлакопортландцементов, цементов для строительных растворов, известково-зольных и известково-шлаковых вяжущих.

Сырьем для получения портландцементного клинкера чаще всего служат известняки и глины. Их химический состав характеризуется содержанием оксидов CaO, SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃. Такой же химический состав имеют золы и шлаки. Поэтому их можно применять в качестве сырьевого материала для изготовления клинкера, чаще всего для замены глинистого компонента. При применении зол и шлаков с повышенным содержанием CaO можно уменьшить количество карбонатного компонента. Такие золы наиболее экономичны.

Применение пылевидных зол позволяет уменьшить расход электроэнергии. Золы с наличием негоревшего топлива улучшают условия обжига сырьевой смеси и экономят топливо.

Перед применением шлаки размалывают. Лучшими являются сланцевые шлаки с повышенным содержанием оксида кальция 45–55 %. Из них можно получить цементы более высокого качества, чем на природном сырье.

Портландцемент с минеральными добавками. В этот цемент вводится до 20 % золы и шлака. Технология их изготовления зависит от вида и качества золошлаковых отходов.

Влажные отвальные смеси сушат до влажности 1–2 %, а затем совместно измельчают с портландцементным клинкером и гипсом. Тонкомолотую золу можно смешивать с молотым клинкером. Эти портландцементы имеют пониженное тепловыделение. Активность их повышается при тепловлажностной обработке. Их целесообразно применять на заводах сборного железобетона.

Пуццолановый портландцемент (золопортландцемент) содержит 25–40 % золы. Его истинная плотность – 2700–2900 кг/м³, насыпная плот-

ность в рыхлом состоянии – 800–1000 кг/м³, что меньше, чем у портландцемента без добавок. Нормальная густота теста возрастает до 30–35 %.

Золoportландцемент имеет повышенные водо- и сульфатостойкость. Это объясняется взаимодействием золы с $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и образованием низкоосновных гидросиликатов $((0,8-1,0)\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2\cdot\text{H}_2\text{O})$ и гидроалюмината кальция. Он имеет также пониженное тепловыделение при твердении.

Повышенное содержание золы в цементе понижает их морозостойкость и стойкость при попеременном увлажнении и высушивании.

Золoportландцемент рекомендуется для массивных бетонов, подводных и подземных частей сооружений, при воздействии мягких и сульфатных вод. Его не следует применять для конструкций, подвергаемых воздействию знакопеременных температур.

Шлакопортландцемент в своем составе может иметь до 80 % топливного гранулированного шлака с содержанием стекловидной фазы до 60–95 %. Цементы с содержанием клинкера 20 % и основных шлаков 80 % ($\text{CaO} > 30-40\%$) могут иметь прочность чистоклинкерных цементов. При применении кислых шлаков ($\text{CaO} < 15-20\%$) можно получить активность, равнозначную с активностью шлакопортландцементов на кислых доменных шлаках.

Шлакопортландцементы на топливных шлаках медленней твердеют в начальные сроки. При пропаривании имеют активность, близкую к активности цементов с доменными шлаками. Запаривание в автоклавах увеличивает их прочность в 1,2–1,7 раза и особенно эффективно при применении малоактивных кислых шлаков.

Морозостойкость и стойкость при попеременном увлажнении и высушивании шлакопортландцементов достаточно высокая. Бетоны на них могут выдержать 200–250 циклов попеременного замораживания и оттаивания и 100–150 циклов увлажнения и высушивания.

Сланцезольный портландцемент содержит 15–25 % мельчайшей фракции летучей сланцевой кукерситовой золы. Эта зола в тонкодисперсном состоянии может самостоятельно твердеть в результате гидратации двухкальциевого силиката, однокальциевого алюмината и др. Выпускают его классов по прочности на сжатие 32,5 и 42,5. В нормальных условиях твердения он имеет прочность на 10 МПа, а при пропаривании на 15 МПа выше, чем обычные цементы.

Зольный цемент для строительных растворов содержит в своем составе не менее 40 % клинкера и не более 40 % золошлаковых отходов.

Приготавливают его совместным помолом составляющих или смешиванием раздельно молотых клинкера и золошлака. Прочность цемента при сжатии должна быть не менее 15 МПа. Он дешевле на 20–30 %. Применяют этот цемент для приготовления кладочных и штукатурных растворов.

Известково-зольные и известково-шлаковые вяжущие вещества получают совместным помолом воздушной или гидравлической извести с золой или шлаком и гипсом (до 5 %). При применении кислых шлаков (СаО 5–10 %) извести берется 20–40 %, золы или шлаки – 60–80 %, при применении основных зол или шлаков (СаО 30–50 %) содержание извести составляет 10–30 %, золы или шлаки – 70–90 %.

В нормальных условиях это вяжущее твердеет медленно. Активизирует его твердение пропаривание при температуре 85–95 °С и еще больше – автоклавная обработка.

Известково-зольное вяжущее выпускают класса по прочности на сжатие 32,5. Его недостаток – пониженные воздухо- и морозостойкость. Стоимость ниже стоимости портландцемента и шлакопортландцемента в 1,5–2,5 раза.

Применяют эти вяжущие для изготовления штукатурных и кладочных растворов.

3.4 Пористые заполнители из зол и шлаков

Применение зол и шлаков для получения искусственных заполнителей расширяет сырьевую базу и позволяет экономить топливно-энергетические ресурсы на их изготовление.

Из золы получают обжиговые заполнители: аглопоритовый гравий, зольный гравий и глинозольный керамзит. Можно изготавливать и безобжиговый зольный гравий, получаемый из золы и вяжущих веществ. Основным показателем, определяющим пригодность золы для получения обжиговых заполнителей, – способность ее вспучиваться подобно глине. При нагревании происходит газообразование внутри гранулы в результате сгорания остатков несгоревшего топлива (полукокса).

Реакция протекает вначале по схеме $C + O_2 = CO_2$, а затем с уменьшением количества кислорода по схеме $CO_2 + C \rightarrow 2CO$.

Этот процесс происходит при температуре 1100–1200 °С. Высокое качество заполнителя получают, когда максимум газовыделения совпадает с оптимальной вязкостью массы и она деформируется без разрыва сплошности.

Состав шихты можно регулировать добавкой 15–25 % глины и получить глинозольный аглопорит. Глину можно вводить, когда применяют золы с температурой плавления 1200–1400 °С. При температуре плавления свыше 1400 °С ее вводят в обязательном порядке.

Для улучшения процесса обжига и качества зольного заполнителя кроме глины в состав шихты могут добавлять тугоплавкие золы, лигносульфонаты технические, молотые уголь и песок.

Обязательным технологическим пределом для всех видов зольных заполнителей является грануляция сырьевой шихты. Ее выполняют при помощи тарельчатых грануляторов.

Аглопоритовый гравий и зольный аглопорит. Для изготовления аглопоритового гравия применяются золы с содержанием, %: SiO_2 – 45–60, Al_2O_3 – 15–25, Fe_2O_3 – 5–15, $\text{CaO} + \text{MgO}$ – до 12, SO_3 – до 3. Содержание не сгоревших частиц в легкоплавких золах должно быть 2–4 %, в среднеплавких – 4–7 % и тугоплавких – до 13 %. В шихту можно вводить до 15 % глины.

Схема изготовления зольного гравия приведена на рисунке 3.1.

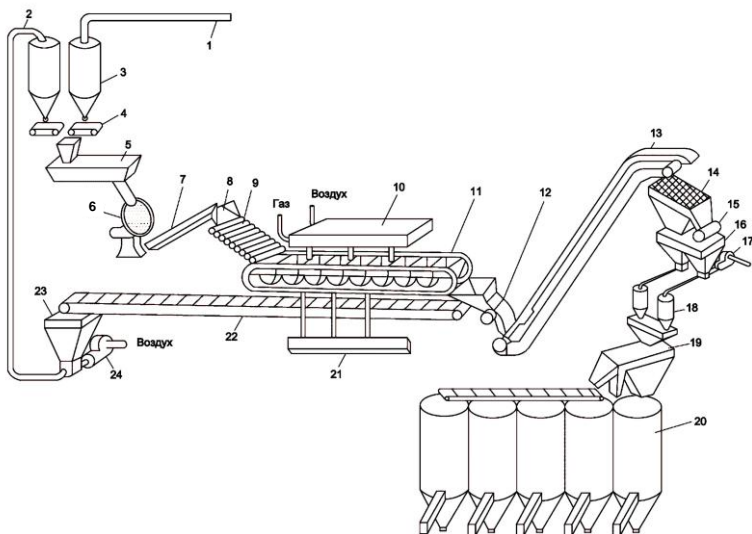


Рисунок 3.1 – Схема производства аглопоритового гравия из золы ТЭС:

- 1 – пневмотранспорт золы; 2 – пневмотранспорт возврата; 3 – расходный бункер золы; 4 – автоматический весовой дозатор; 5 – двухвальный шнековый смеситель; 6 – тарельчатый гранулятор; 7 – ленточный конвейер; 8 – лоток; 9 – роликовый укладчик; 10 – горни; 11 – ленточная обжиговая агломерационная машина; 12 – роторная дробилка; 13 – пластичный конвейер; 14 – инерционный грохот; 15 – двухвалковая зубчатая дробилка; 16 – приемный бункер; 17 – пылевой центробежный вентилятор; 18 – рукавный фильтр; 19 – инерционный грохот; 20 – бункер готовой продукции; 21 – сборный коллектор для охлаждаемых газов; 22 – ленточный конвейер для сбора просыпи; 23 – приемный бункер просыпи; 24 – вентилятор высокого давления

Шлам приготавливается из сухой золы или из золы с добавкой глины. Они подаются вначале в вантовой смеситель 5, а затем – в лопастный смеситель для приготовления шихты, а потом – на грануляцию 6.

Сушка и обжиг гравия выполняются на ленте агломерационной машины 2. Здесь же происходит вспучивание гранул. Обожженный гравий на грохотах 14

разделяется на фракции. Спекшийся гравий подвергается дроблению, а также фракционируется. Готовая продукция подается в силосы, а затем отправляется потребителю.

Технология изготовления зольного аглопорита отличается тем, что шихта не подвергается грануляции, а подается для обжига на агломерационную машину, после чего дробится, разделяется на фракции и загружается в силосы.

Глинозольный керамзит изготавливают из сырьевой смеси, состоящей из глины (20–90 %) и золы (10–80 %). Глинистый компонент связывает частицы золы в гранулах до обжига, способствует образованию расплава в определенном температурном интервале, способствует выгоранию остатков угля в золе. Изменяя соотношение между глиной и золой, регулируют интервал плавкости (вспучиваемости), вязкость расплава и таким образом изменяют прочность гравия.

Золы для изготовления глинозольного керамзита должны содержать, %: SiO_2 – 33–57, Al_2O_3 – 14–37, CaO – 7–12, остатков несгоревшего топлива – 10. Зола должна иметь удельную поверхность 2000–3000 $\text{см}^2/\text{г}$.

Глинозольный керамзит производят по обычной технологической схеме изготовления керамзита, которая включает измельчение и усреднение сырья, формование гранул и их термическую обработку.

Комовую глину загружают в приемный бункер дисковой дробилки и измельчают до кусков размером 40–60 мм. Затем направляют последовательно на вальцы грубого и тонкого помола и измельчают до крупности 2–3 мм. Зола смешивается с глиной в глиносмесителе с пароувлажнением и еще раз в глиносмесителе открытого типа. Формование гранул выполняют на дырчатых вальцах или ленточном прессе, а затем они окатываются в сушильном барабане. В обжиговой вращающейся печи в интервале температур 1080–1150 °С происходят вспучивание и обжиг гранул, которые затем охлаждают и сортируют на фракции.

Насыпная плотность глинозольного керамзита составляет 400–700 $\text{кг}/\text{м}^3$ прочность 3,5–4,5 МПа, водопоглощение 10–21 %, морозостойкость более 15 циклов.

Изготовление глинозольного керамзита позволяет экономить 25–30 % топлива по сравнению с обычным.

Зольный гравий. Зольный гравий получают из золы или золошлаковой смеси. Шлак положительно влияет на обжиг гранул, облегчает переход зольной массы в размягченное состояние и способствует их вспучиванию.

К золе предъявляются следующие требования: содержание $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$ – 70–87 %, CaO – не более 8 %, Fe_2O_3 – 7–15 %, температура размягчения до пиропластического состояния – не более 1300 °С, интервал плавкости – около 1000 °С. Содержание остатков несгоревшего, топлива не должно превышать 3 %. Удельная поверхность золы должна составлять не менее 3000 $\text{см}^2/\text{г}$.

Изготовление зольного гравия состоит из четырех этапов: сушка сырья, его помол, гранулирование и обжиг. Технологическая схема производства гравия приведена на рисунке 3.2.

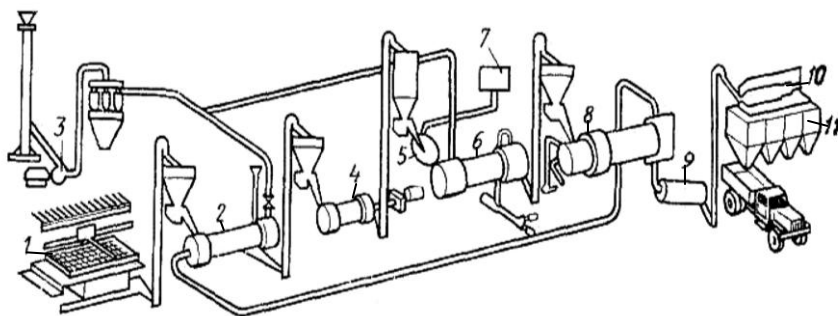


Рисунок 3.2 – Схема производства зольного гравия:

- 1 – ящичный подаватель; 2 – контактно-сушильный барабан; 3 – шаровая мельница;
 4 – тарельчатый гранулятор; 5 – узел приготовления сульфитно-дрожжевой бражки;
 6 – барабанное сушило; 7 – печь спекания; 8 – холодильник; 9 – классификатор;
 10 – бункер готовой продукции; 11 – дымосос

Зола из отвала поступает в сушильный барабан 2, где сушится отходящими газами печей, измельчается в шаровой мельнице 3 до удельной поверхности $3000 \text{ см}^2/\text{г}$, гранулируется на тарельчатом грануляторе 4, где увлажняется водным раствором ЛСТ и окатывается в гранулы. ЛСТ является связкой при грануляции. Затем гранулы подсушивают в сушильном барабане 6 и обжигают во вращающейся печи 7 при температуре $1050\text{--}1200 \text{ }^\circ\text{C}$. Далее их охлаждают в холодильнике 8 до $50\text{--}100 \text{ }^\circ\text{C}$, фракционируют и направляют на склад.

Зольный гравий выпускается со средней плотностью $350\text{--}450 \text{ кг/м}^3$ и пределом прочности $1\text{--}1,5 \text{ МПа}$.

Безобжиговый зольный гравий изготавливают из смеси вяжущих и зола-шлаковых смесей. В качестве вяжущих применяют портландцемент, известь, гипсовое и гипсоцементно-пуццолановое вяжущее. Зола применяется с удельной поверхностью не менее $2500 \text{ см}^2/\text{г}$. Доля несгоревшего топлива в ней допускается до 25 %.

Для снижения насыпной плотности гравия в состав сырьевой смеси вводят перлитовый песок, древесные опилки, отходы ячеистого бетона и др.

Технология изготовления зольного безобжигового гравия приведена на рисунке 3.3 и включает следующие переделы: совместный помол золы и вяжущего, получение гранул при помощи гранулятора, твердение и разделение на фракции.

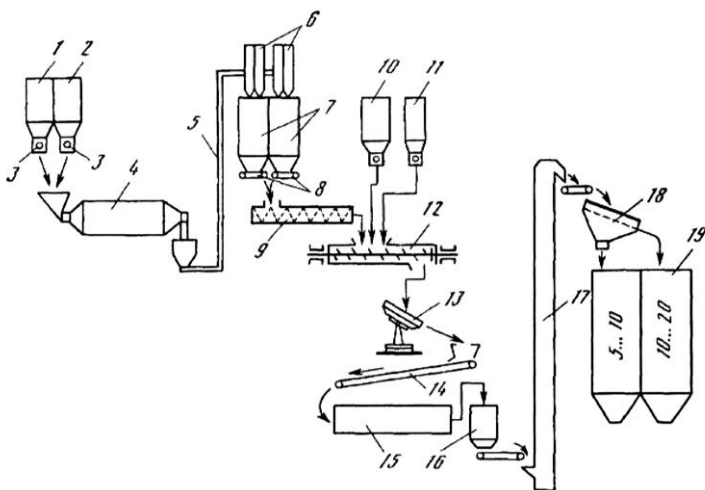


Рисунок 3.3 – Технологическая схема изготовления безобжигового зольного гравия: 1, 2 – бункеры золы; 3 – дозатор весовой; 4 – мельница шаровая; 5 – система пневмотранспорта; 6 – циклоны; 7 – бункер золоцементной смеси; 8 – питатель ленточный; 9 – конвейер винтовой; 10 – бак воды с дозатором; 11 – емкость для жидких добавок с дозатором; 12 – смеситель двухканальный; 13 – гранулятор тарельчатый; 14 – конвейер ленточный; 15 – камера пропарочная; 16 – бункер приемный; 17 – элеватор; 18 – грохот; 19 – силосы

Совместный помол золы и вяжущего выполняют в шаровых мельницах. Это повышает однородность смеси, увеличивает тонкость помола смеси на 400–500 см²/г и активизирует вяжущее и золу.

Твердение может происходить при нормальной температуре или тепловой обработке.

Зольный гравий из сырьевой смеси, состоящей из 10–15 % портландцемента и 85–90 % золы, имеет насыпную плотность 800–950 кг/м³ и прочность 4–6 МПа. Прочность можно повышать снижением водоцементного отношения (вода: вяжущее + зола), введением химических добавок ЛСТ, мылонафта и других в количестве 0,1 %.

Ускорение твердения достигают пропариванием при температуре 70–95 °С и введением ускорителя твердения Na₂SO₄ или CaCl₂ в количестве 1–3 % от массы вяжущего. При затворении смеси водой с добавкой 5 % жидкого натриевого стекла Na₂SiO₃ прочность гранул уже через 2 часа составляет 0,5–0,7 МПа, а через 24 часа – 2,3–2,5 МПа.

Золошлаковая смесь на основе извести состоит из 20–25 % молотой негашеной извести, золы 70–75 % и полуводного гипса 5 %. Смесь измельчают до удельной поверхности 4200–4500 см²/г. Через 28 суток естественного твердения прочность гравия составляет 1,8–2,2 МПа.

При обработке гранул углекислым газом уже через 12 часов можно получить прочность 2,0–3,5 МПа. Насыпная плотность гравия составляет 780–850 кг/м³.

Одним из эффективных вяжущих при изготовлении безожигового зольного гравия является гипсоцементно-пуццолановое вяжущее. Оно позволяет отказаться от тепловой обработки и получить гравий с прочностью 0,1–0,15 МПа сразу после грануляции, 1–1,5 МПа – через 1 сутки и 4,5–5 МПа – через 28 суток. Введением пористых заполнителей в состав сырьевой смеси можно получить гравий с насыпной плотностью до 450–550 кг/м³.

По затратам топливно-энергетических ресурсов зольный безобжиговый гравий является самым экономичным. По физико-механическим свойствам легкие бетоны на этом гравии близки к бетонам на керамзите и аглопорите.

3.5 Золосодержащие тяжелые бетоны

Зола ТЭС может вводиться вместо цемента и мелкого заполнителя.

В массивных гидротехнических бетонах внутренней зоны можно заменить 25–30 % портландцемента золой, в бетонах подводной наружной зоны – 15–20 %. Например, при строительстве плотины Братской ГЭС было заменено 15–20 % цемента золой ТЭС, физико-механические свойства которого не ухудшились.

Влияние золы проявляется в следующем. При замене 10 % цемента прочность бетона через 14 суток снижается на 20–35 %, однако в возрасте 180–360 суток прочность бетона с золой была равна прочности бетона без золы или несколько ее превышала. Прочность гидротехнического бетона обычно назначается в возрасте 180–360 суток, и это уменьшение в раннем возрасте не является недостатком. Снижение объясняется повышением нормальной густоты теста из портландцемента и золы и вследствие этого увеличением водоцементного отношения бетонной смеси. В более позднем возрасте проявляется пуццолановая активность золы и прочность бетона повышается. На прочность бетона оказывает влияние тонкость помола золы. При замене 15–20 % портландцемента золой с $S_{уд} = 2900 \text{ см}^2/\text{г}$ его прочность снижается, при замене с $S_{уд} = 5600 \text{ см}^2/\text{г}$ прочность не снижается.

Бетон с заменой 25–30 % портландцемента золой имеет пониженное на 15–20 % тепловыделение. Это позволяет отказаться от искусственного охлаждения бетона.

Зола ТЭС, взаимодействуя с $\text{Ca}(\text{OH})_2$, связывает его в нерастворимые соединения. Это повышает стойкость бетона при воздействии мягких сульфатных вод и вод, содержащих соли магния. Бетоны с золой имеют повышенную водонепроницаемость. Происходит набухание гелеобразных продуктов твердения цемента в водном растворе $\text{Ca}(\text{OH})_2$, кроме того, зола улучшает зерновой состав бетонной смеси.

Замена части цемента золой уменьшает морозостойкость бетона. Происходит увеличение объема капиллярных пор вследствие повышения водоцементного отношения, уменьшается количество вовлеченного воздуха, органические остатки разрушают вяжущее.

Если применяются цементы с более высокой активностью, чем это требуется для получения бетона заданного класса, количество золы, %, определяется по формуле

$$З = (R_{ц} - R_{см}) / R_{ц}, \quad (3.2)$$

где $R_{ц}$ – фактическая активность цемента, МПа;

$R_{см}$ – активность цемента, соответствующая необходимой активности цемента для данного класса бетона, МПа.

Пропаривание при 90–95 °С активизирует твердение золы. Оптимальное количество введенной золы для такого бетона составляет 150 кг/м³. При этом достигается экономия 50–70 кг цемента на 1 м³ бетона. Эффективно применение золы при изготовлении плоских изделий в кассетах. Зола уменьшает воздухововлечение, и количество раковин на поверхности изделия уменьшается, меньше также водоотделение и расслоение бетонной смеси.

Зола снижает щелочность бетона, что может создать условия для коррозии арматурной стали. Для ее исключения минимальный расход цемента Ц, кг, в зависимости от содержания в смеси золы З, кг, и содержания в ней несгоревшего угля А, %:

$$Ц = (0,4 + 0,04А)З. \quad (3.3)$$

Золу в бетонную смесь вводят различными способами: сухую золу – через отдельный дозатор, в виде водно-золевой суспензии, предварительно смешивая с цементом, в виде смеси золы с цементом и водой. Наиболее простой – первый способ.

3.6 Золосодержащие строительные растворы

Зола добавляется в кладочные и штукатурные цементные, цементно-известковые и известковые растворы марок от 4 до 150 в качестве активной минеральной добавки для замены вяжущего, повышения удобоукладываемости и нерасслаиваемости растворных смесей, которые рекомендуются при положительных температурах. При отрицательных температурах эти растворы твердеют медленней, поэтому их не следует применять в зимнее время.

Армирование кладки можно делать только после проверки коррозионной стойкости арматуры.

Применяют как сухую золу, так и золу гидроудаления.

В цементные растворы с малым расходом цемента добавляют 80–125 % золы от массы цемента. При расходе цемента более 400 кг/м^3 введение золы малоэффективно. Тонкодисперсной золой заменяют часть цемента и песка. При этом расход цемента снижается на 30–50 кг. При повышении удобоукладываемости растворной смеси крупнодисперсную золу рекомендуют применять для замены части песка без сокращения расхода цемента. Песок полностью заменять не следует, так как в 2–3 раза увеличиваются деформации кладки.

Оптимальное содержание золы в цементно-известковых растворах составляет $100\text{--}200 \text{ кг/м}^3$. Она заменяет часть цемента, извести и песка. Экономится до 30–50 кг цемента и 40–70 кг известкового теста на 1 м^3 раствора. Эти растворы имеют низкую расслаиваемость.

В известковых растворах можно заменять 50 % известкового теста золой. При введении золы в количестве, равном количеству известкового теста, прочность раствора повышается. Можно получить растворы марки 25 и даже выше.

При приготовлении золосодержащих растворных смесей их следует перемешивать в растворосмесителях 3–5 минут.

3.7 Золосодержащие ячеистые бетоны

В ячеистом бетоне зола является кремнеземистым компонентом и заменяет кварцевый песок. Реакционная способность ее выше. При высокой дисперсности зола может применяться без измельчения. Прочность ячеистых золосодержащих бетонов меньше, чем бетонов на кварцевом песке.

К золам ТЗС для ячеистых бетонов предъявляется ряд требований: содержание стекловидных и оплавленных частиц должно быть не менее 50 %, несгоревшего топлива от сжигания бурого угля – не более 3 %, каменного – не более 5 %, удельная поверхность – $3000\text{--}5000 \text{ см}^2/\text{г}$, содержание SO_2 – не более 3 %, набухание в воде не должно превышать 5 %.

Наиболее эффективно применение сланцевой золы. Она содержит в своем составе свободного CaO – 15–20 %, клинкерных минералов – 10–15 %, ангидрита – 7–10 %, активного стекла – 30–35 %.

Ориентировочный расход материалов, кг/м^3 , газобетона одного из составов со средней плотностью $900\text{--}950 \text{ кг/м}^3$ и прочностью 6,5–7,5 МПа следующий: портландцемента класса по прочности на сжатие 32,5 – 250; золы – 600; молотой извести – 25; гипса – 10; воды – 420; алюминиевой пудры – 0,3 кг.

Бетонную смесь перемешивают в газобетоносмесителе. В начале загружают, зольный шлам, затем воду, вяжущее и суспензию газообразователя. Затем смесь заполняют формы.

Формование осуществляется литевым или вибрационным способами.

Прочность ячеистых золобетонов на сжатие составляет 0,5–15 МПа, средняя плотность – 400–1200 кг/м³, морозостойкость – до 150 циклов. Более высокую морозостойкость имеют бетоны на портландцементе, чем на извести. Их недостаток – способность к сорбционному увлажнению, вызываемому микропористостью золы.

Применение золы ТЭС для изготовления ячеистых бетонов позволяет уменьшить расход извести в 1,2–1,5 раза и сократить почти в 2 раза капитальные вложения на добычу и переработку сырья.

3.8 Бетоны на заполнителях из золошлаковых смесей

В бетонах на портландцементе, воздушной и гидравлической извести, природные пески и крупные заполнители можно заменять золошлаковыми смесями крупностью менее 0,315 мм в количестве 20–50 %. Целесообразность такой замены необходимо решать для конкретных условий. Перерасход цемента по сравнению с бетонами на высококачественных природных заполнителях может составить 10–20 %.

Приготовление бетонной смеси на золошлаковой смеси следует делать в бетоносмесителях принудительного действия в течение 3–5 минут. Положительное воздействие на твердение бетона оказывает пропаривание при 90–95 °С. Через один месяц такой бетон достигает проектной прочности. При автоклавном твердении требуемая прочность получается сразу после термообработки. При этом уменьшается расход цемента на 20–30 % по сравнению с бетоном на природных заполнителях. На золошлаковой смеси можно получить бетон прочностью 5–50 МПа, морозостойкостью 15–150 циклов.

Имеется опыт применения таких бетонов в шахтном строительстве для изготовления сборных крепежных элементов и шпал, в сельскохозяйственном и малоэтажном жилищном строительстве для изготовления фундаментных блоков, стеновых блоков и панелей, плит перекрытия, покрытия и др.

В мелкозернистых бетонах только часть песка может заменяться шлаком или золой. Бетон на шлакопесчаном заполнителе изготавливают из шлака раздельного гидроудаления и природного кварцевого песка. Расход цемента по сравнению с бетоном на песке может быть снижен на 20–25 %. Мелкозернистые золопесчаные бетоны изготавливают из смеси состава по массе в следующем соотношении: «цемент : зола : песок (1 : 0,2 : 3,8)–(1 : 0,8 : 5,4)». Зола является микрозаполнителем и пуццолановой добавкой. Для повышения активности ее мелют до удельной поверхности 2500–4500 см²/г. Прочность бетона с золой выше прочности бетона без золы при тех же расходах цемента на 20–50 %, морозостойкость может быть выше марки F150.

3.9 Легкие бетоны на пористых заполнителях

Легкие бетоны могут изготавливаться на пористых легких заполнителях: золе ТЭС, безобжиговом зольном гравии, на глинозольном керамзите и зольном аглопоритовом гравии.

Средняя плотность бетона уменьшается, что обеспечивает теплозащитные свойства конструкций.

Зола содержит значительное количество частиц с пористостью 10–20 %, потому замена плотного песка на золу снижает среднюю плотность бетона на 200 кг/м^3 .

Бетонные смеси с золой не расслаиваются и хорошо уплотняются. Зола обладает высокой водоудерживающей способностью из-за развитой внутренней пористости. Вода испаряется из такого бетона медленно. Постепенное и длительное поступление воды в цементный камень обеспечивает гидратацию цемента в сухой среде при температуре 120–140 °С. Продолжительность тепловой обработки можно сократить до 7 часов.

На безобжиговом зольном гравии с насыпной плотностью 800–950 кг/м^3 и прочностью 4–6 МПа можно получить легкие бетоны со средней плотностью 1700–1900 кг/м^3 , прочностью 30–40 МПа; на гравии с насыпной плотностью 400–600 кг/м^3 и прочностью 1–2 МПа – бетоны со средней плотностью 850–1000 кг/м^3 и прочностью 12 МПа. Мелкий заполнитель также может быть частично или полностью заменен золой.

Зольный безобжиговый гравий в отличие от обжиговых заполнителей в процессе тепловой обработки продолжает увеличивать прочность. Происходит также диффузия цементного теста в поры гравия, в результате чего происходит упрочнение гравия. Гравий отсасывает воду из цементного теста, повышая прочность контактных слоев на границе «гравий – цементный камень». При обезвоживании бетона увлажненный гравий отдает воду, создавая благоприятные условия для гидратации цемента.

Бетоны на безобжиговом зольном гравии имеют высокую атмосферно- и морозостойкость. Они пригодны для изготовления несущих железобетонных элементов, в том числе и предварительно напряженных.

Имеется опыт изготовления однослойных стеновых панелей из бетона класса по прочности на сжатие В10 на глинозольном керамзите с насыпной плотностью 440 кг/м^3 и золе гидроудаления, плит покрытий из бетона классов по прочности на сжатие $C^{20}_{/25}$ и $C^{25}_{/30}$.

На зольном аглопоритовом гравии получают бетоны со средней плотностью 950–1600 кг/м^3 класса по прочности на сжатие $C^8_{/10}$.

Применяют аглопоритовый зольный гравий с насыпной плотностью 500–800 кг/м^3 и прочностью 1,2–7,3 МПа. Мелкий природный песок может быть заменен полностью или частично золой.

Имеется опыт изготовления наружных стеновых ограждений, плит покрытий.

3.10 Силикатный кирпич и золобетон с применением зол ТЭС

При изготовлении силикатного кирпича зола ТЭС применяется как компонент вяжущего и заполнителя. Используются как кислые, так и основные золы. Соотношение извести и золы в известково-зольном вяжущем, %, составляет 75 : 25. На 1000 кирпичей расходуется 500 кг золы. Количество золы как заполнителя принимается 1,5–3,5 т и зависит от состава золы и ее активности. При введении угольной золы расход извести снижается на 10–50 %, а сланцевая с (СаО + MgO) до 40–50 % может полностью заменить известь. Зола в известково-зольном вяжущем – не только активная кремнеземистая добавка, она увеличивает прочность сырца в 1,3–1,5 раза.

Оптимальная добавка золы зависит от ее химического состава и дисперсности. Технические характеристики золосиликатного кирпича приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Свойства золосиликатного кирпича в зависимости от содержания золы

Содержание золы взамен песка, %	Прочность, МПа	Водопоглощение по массе, %	Влажность после запаривания, %	Коэффициент размягчения	Средняя плотность, кг/м ³
0	15	17	7	0,57	1880
20	18	18	8	0,60	1830
30	21	20	10	0,67	1810
40	19	22	12	0,70	1750
60	19	25	13	0,72	1690
80	15	28	14	0,75	1590
100	12	32	16	0,78	1430

Недостаток золосиликатного кирпича – более высокое водопоглощение и влажность. Водостойкость их выше, чем у силикатного кирпича. Средняя плотность ниже. Это положительное свойство. С золами можно получить пористый кирпич с $\rho_c = 1250...1400$ кг/м³, $R_{сж} = 10...17,5$ МПа, пористостью 27–28 %, F15– F35. Толщину стен можно уменьшить на 20 %, а массу – на 40 %. Применение топливных зол уменьшает стоимость кирпича.

В плотных силикатных автоклавных бетонах в качестве кремнеземистых компонентов при изготовлении вяжущего также может применяться зола, которая заменяет частично или полностью кварцевый песок. При полной замене песка из-за пористости золы и повышенной ее водопотребности получают пористый бетон.

Золы обладают пуццолановой активностью. Они вступают в химическую реакцию с Са(ОН)₂ вяжущего, что позволяет уменьшить расход вяжущего.

Применение высококальциевых сланцевых зол позволяет полностью отказаться от вяжущего. Можно использовать золы, как сухого отбора, так и золы гидроудаления из отвалов.

Средняя плотность золобетона составляет 1200–2000 кг/м³, класс прочности от В3,5 до В30, морозостойкость – 15–100 циклов. Золобетон – достаточно воздухостойкий материал. Добавка 50–75 кг/м³ портландцемента повышает воздухостойкость, а также его водостойкость и морозостойкость. Перемешивать составляющие золобетона следует более тщательно, чем для обычного тяжелого бетона. Лучше всего применять бегуны. Примерный режим тепловой обработки следующий: выдержка – 2–3 часа, подъем давления до 0,8 МПа – 2–4 часа, выдержка при этом давлении – 6–10 часов и снижение давления – 3–4 часа.

Из плотного золобетона изготавливают стеновые блоки, панели и камни, перемычки и плиты перекрытий и покрытий.

3.11 Зола и шлаки в дорожном строительстве

В дорожном строительстве золы и золошлаковые смеси применяются для устройства подстилающих и нижних слоев оснований, для частичной замены цемента или извести при стабилизации грунтов, в виде минерального порошка в асфальтовых бетонах. Подстилающие и нижние слои дорог выполняются из золошлаковых смесей и мелкообломочных каменных материалов. Они хорошо укатываются пневматическими катками при влажности 4–8 %. Коэффициент уплотнения составляет 1,3–1,5, модуль деформации составляет 50–60 МПа. По своим эксплуатационным показателям дорожные одежды из золошлаковых смесей не уступают конструкциям из кондиционных материалов.

Толщину оснований можно уменьшить укреплением их цементом, известью, молотым доменным гранулированным шлаком и таким образом снизить транспортные затраты. Известки вводится 15–35 % от массы пылевидной фракции золошлаковой смеси. Могут добавляться портландцемент, хлориды, сульфаты. Золошлаковая смесь, обработанная известью, достигает прочности 5 МПа и более. Расход цемента составляет 4–7 % общей массы. Достигается прочность 1–2 МПа.

Золошлаковые смеси с вяжущими смешиваются в смесителях или непосредственно на дороге. После уплотнения для предотвращения испарения воды их обрабатывают битумной эмульсией.

В дорожных одеждах из грунтов, укрепленных портландцементом, расход цемента можно уменьшить на 30–40 %. Наиболее дешевым стабилизатором грунта является известково-золенный состав 1:5.

Золошлаковые отходы могут использоваться для изготовления битумо-минеральных смесей для устройства конструктивных слоев дорог III–V категорий. Обработывая топливные шлаки битумом или дегтем в количестве 2 % по массе, получают черный щебень. Сцепление органических вяжущих с золошлаковыми смесями улучшается при активизации их известью или катионо-активными ПАВ.

3.12 Применение зол для кровельных материалов

Зола ТЭС вводится в качестве наполнителя при изготовлении битумных приклеивающих мастик для устройства рулонных кровель, паро- и гидроизоляции, для приклеивания паркета.

Холодная битумно-золяная мастика состоит из битума БН 70/30 – 52–59, уайт-спирита – 22–25 и золы – 18–26 %. Тонкость помола золы характеризуется полным проходом через сито № 02 и остатком не более 3 % на сите № 008.

3.13 Керамические материалы с применением золошлаковых отходов

При изготовлении керамических материалов золошлаковые отходы целесообразно вводить в состав шихты. Зола может служить отощающей добавкой. Содержание в ее составе более 10 % несгоревшего топлива сокращает или даже исключает введение технологического топлива. При изготовлении кирпича и камней керамических применяются легкоплавкие золы с температурой размягчения не более 1200 °С. При применении среднепластичных глин оптимальное количество золы, %, по объему составляет 30–40, умереннопластичных – 20–30 и малопластичных – 10–20.

Эффективность золошлаковой смеси зависит от ее дисперсности. Мелкозернистые фракции повышают трещиноватость сырца, прочность же готовых изделий повышается. Зола как отощающая добавка должна содержать в своем составе фракцию с размером зерен менее 0,3 мм не более 30 % и максимальный размер зерен 1,5 мм.

Золошлаковые отходы могут полностью заменить глину. Из золы, шлака и жидкого натриевого стекла в количестве 3 % получают кирпич на обычном оборудовании кирпичных заводов.

Из золяной керамики, состоящей из 60–80 % золы, 10–20 % глины и других добавок, изготавливают методом прессования тротуарные и дорожные плиты, имеющие высокую прочность, морозостойкость и химическую стойкость.

3.14 Плавленые материалы из зол и шлаков

Из расплавов топливных зол и шлаков получают шлаковую пемзу с насыпной плотностью 600–800 кг/м³, минеральную вату со средней плотностью 80–200 кг/м³ для изоляции поверхностей с температурой до 1150 °С литье изделия прочностью до 400 МПа и высокой химической стойкостью.

Из огненно-жидких шлаков получают каменное литье, шлакоситаллы прочностью до 400 МПа, более дешевые, чем из доменных шлаков.

4 СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ИЗ ПОБОЧНЫХ ПРОДУКТОВ ХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Побочными продуктами химической промышленности для изготовления строительных материалов служат шлаки электротермического производства фосфора, гипсосодержащие, известковые, железистые, полимерные и другие отходы основного производства.

4.1 Материалы из шлаков электротермического производства фосфора

Фосфорные шлаки – это побочные продукты получения фосфора в электропечах. Тонко измельченный фосфат кальция $\text{Ca}(\text{PO}_4)_2$, песок, уголь или кокс прокаливают при температуре 1300–1500 °С. При этом образуется фосфор, который восстанавливается углем до нейтрального состояния и испаряется, а также шлак, выход которого на 1 т фосфора составляет 10–1,2 т. По химическому составу он близок к доменному. Фосфорные шлаки содержат в своем составе P_2O_5 и CaF_2 до 3 % каждого и пониженное количество Al_2O_3 до 4 %.

Гранулированный электротермофосфорный шлак состоит из 90–95 % стекла. По зерновому составу соответствует мелким или средним пескам с истинной плотностью 2,8 г/см³ и насыпной плотностью 1200 кг/м³.

Фосфорные шлаки используются для изготовления вяжущих, легких и плотных заполнителей, шлакоситалов, керамических материалов. Шлаки вводятся в состав цементов на основе порландцементного клинкера. При смешивании с водой в обычных условиях они не твердеют. В щелочной среде порландцементного клинкера шлаки набирают прочность, хотя и имеют меньшую активность по сравнению с доменными из-за небольшого содержания Al_2O_3 . Со временем, через 3–5 месяцев, прочность их увеличивается. Активизируется твердение при тепловлажностной обработке, особенно в автоклавах.

Из фосфорного гранулированного шлака получают шлакощелочное вяжущее. Активизатором твердения служит известь в количестве 0,5–3,0 % совместно с хлористыми, сернокислыми и углекислыми солями щелочных и щелочноземельных металлов. После тепловой обработки при нормальном давлении можно получить вяжущее классов по прочности на сжатие 22,5–52,5; при автоклавной – 32,5–52,5.

Электротермофосфорный шлак может частично или даже полностью заменять глинистый компонент при изготовлении порландцементного клин-

кера. Шлаки с содержанием P_2O_3 до 3 %, CaF_2 1–2 %, MnO 1–5 %, введенные в количестве 8–10 %, ускоряют обжиг клинкера. Декарбонизация начинается при низкой температуре, температура спекания снижается на 100–150 °С, что повышает производительность печей на 3–6 %, прочность цемента повышается на 5–10 МПа.

Шлаковую пемзу изготавливают по обычной технологии. Насыпная плотность ее составляет 600–800 кг/м³.

Шлаковая вата из фосфорного шлака характеризуется длинными тонкими волокнами и имеет среднюю плотность 80–200 кг/м³.

Литой щебень из огненно-жидких шлаков имеет прочность не ниже 100 МПа, среднюю плотность 2500–2550 кг/м³. Его получают по траншейной технологии. Расплавленный шлак из шлаковозных ковшей сливается в траншеи слоями, толщиной 100–200 мм, поливается водой, разрабатывается экскаваторами, дробится, фракционируется и затем отправляется потребителю. Применяют этот щебень для изготовления тяжелых бетонов без перерасхода цемента.

4.2 Материалы из гипсосодержащих побочных продуктов

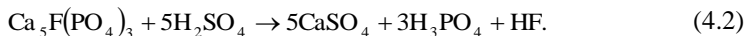
В настоящее время насчитывается свыше 50 видов гипсосодержащих отходов. Основная часть их содержит дигидрат сульфата кальция. Характеристика некоторых из них приведена ниже.

Фосфогипс – отход сернокислотного производства минеральных удобрений. Борогипс – отход сернокислотного производства борной кислоты. Фторогипс – отход сернокислотного получения плавиковой кислоты из полевого шпата. Хлорогипс – отход сернокислотной обработки бишофита. Титаногипс – отход сернокислотной переработки титанового сырья.

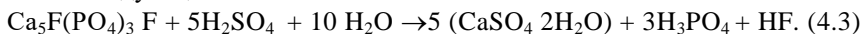
При изготовлении вяжущих веществ чаще всего используется фосфогипс. В зависимости от химического и фазового состава он бывает апатитовым и фосфоритовым. Апатитовый фосфогипс получают из сернокислотной экстракции фосфорной кислоты из апатитового концентрата Ковдорского, Хабинского и других месторождений. Процесс протекает по схеме



Причем в зависимости от температурных условий образования фосфорной кислоты в осадке может получиться дигидрат, полугидрат или безводный сульфат кальция. Безводный сульфат кальция образуется по схеме



Фосфоритовый фосфогипс получают сернокислотной обработкой фосфоритов из месторождений Каратау. Из фосфорной кислоты экстрагируется методом сернокислотного разложения с осаждением сульфат-иона по следующей схеме



В осадок выпадает дигидрат сульфата кальция. На 1 т фосфорной кислоты образуется 3,6–6,2 т фосфогипса в пересчете на сухое вещество. Он представляет собой шлам влажностью 20–40 %. Высушенный фосфогипс – белый порошок с голубоватым оттенком с удельной поверхностью 3000–3500 см²/г, с насыпной плотностью 400–500 кг/м³. Он состоит на 98 % из дигидрата сульфата кальция. Основные примеси: фосфорный ангидрид, оксиды алюминия, железа, кальция, натрия, неразложившийся апатит, CaF₂ и H₂SiF₆. Фосфорный ангидрид находится как в свободном состоянии, так и связан в труднорастворимые фосфаты.

По содержанию дигидрата сульфата кальция фосфогипс соответствует гипсовому камню первого сорта. Его можно использовать в качестве сырьевого материала для гипсовых вяжущих. Однако примеси, высокая влажность и дисперсность усложняют его применение.

Объемы гипсосодержащих отходов составляют миллионы тонн. На их хранение расходуются большие средства. Кроме того, они засоряют окружающую среду. Поэтому переработка их в гипсовые вяжущие имеет большое практическое значение. Важнейшим технологическим переделом в получении вяжущих из фосфогипса является снижение в сырьевой смеси содержания вредных примесей или их нейтрализация.

Схема производства гипсовых вяжущих из фосфогипса приведена на рисунке 4.1.

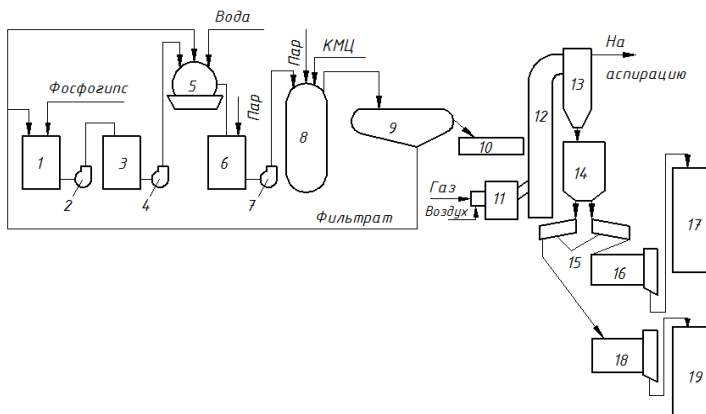


Рисунок 4.1 – Технологическая схема производства гипсовых вяжущих из фосфогипса:

- 1 – смесительный бак; 2, 4, 7 – насосы; 3, 6 – баки; 5 – барабанный вакуум-фильтр; 8 – автоклав; 9 – ленточный вакуум-фильтр; 10 – шнековый теплообменник; 11 – топка; 12 – труба-сушиллка; 13 – циклон; 14 – сборник вяжущего; 15 – аэрозелоб; 16, 18 – трубные мельницы; 17, 19 – силосы

Процесс получения гипсовых вяжущих из дигидрата состоит из промывки фосфогипса, тепловой обработки его в водной суспензии, фильтрации кристаллов α -полугидрата на вакуум-фильтре, сушке и помоле.

Фосфогипс влажностью 20–25 % подается в смесительные баки 1, разбавляется водой с температурой 20 °С до влажности 100 %, взятой от вакуум-фильтра 9, и затем центробежным насосом 4 подается на барабанный вакуум – фильтр 5. На вакуум-фильтре производится промывка фосфогипса от вредных примесей P_2O_5 и др. На 1 т вяжущего образуется 2,5 м³ фильтрата.

Осадок фосфогипса влажностью 65 % поступает в смесительный бак, где нагревается до 90 °С паром. Конденсат, образующийся в змеевике, используется для разбавления пульпы. Затем пульпа насосом 7 подается в автоклав 8, в котором паром поддерживаются температура 125–130 °С и давление 0,15 МПа. Регулятором процесса кристаллизации является добавка карбоксиметилцеллюлозы, вводимая из расчета 0,5 кг на 1 т фосфогипса в виде 2 % раствора.

После автоклава суспензия α -полугидрата поступает на вакуум-фильтр 9, где обезвоживается до влажности 15–17 %, а потом сушится дымовыми газами в трубе-сушилке 12 в течение нескольких секунд.

Осаждение сухого порошка осуществляется в циклонах 13. Высушенный α -полугидрат подается аэрожелобами 15 в трубные мельницы 16 и 18 для помола, в которых его вяжущие свойства активизируются, а затем загружается в силосы 17 и 19 и отправляется потребителю.

Полученное фосфогипсовое вяжущее имеет предел прочности 30–50 МПа, с началом схватывания через 8–10 мин, концом – через 10–15 мин.

Получение фосфогипсового вяжущего из фосфополугидрата состоит из следующих этапов: измельчения и активизирования сырьевой смеси на вальцах тонкого помола; перевода пассивизирующих пленок в жидкую фазу; фильтрования суспензии на ленточных вакуум-фильтрах; промывания твердой фазы, сушки ее до полного удаления гигроскопической влаги и помола. Вяжущее имеет предел прочности в возрасте 1,5 ч при сжатии – 5,5–9,0 МПа, изгибе – 3,0–3,9 МПа, в возрасте 1 суток – при сжатии 10–16 МПа, изгибе – 5–7 МПа с началом схватывания через 8–10 мин и концом – через 11–14 мин. Предел прочности через 20–30 суток увеличивается на 10–30 %.

По технологии, разработанной Литовским НИИ строительства и архитектуры, фосфогипс не промывают. Его нейтрализуют известковым молоком или водными растворами портландцемента. При этом фосфаты переходят в $Ca_3(PO_4)_2$, а фториды – в CaF и нерастворимые силикаты и алюминаты. Схема изготовления вяжущего по этой технологии приведена на рисунке 4.2.

Фосфогипс может вводиться в состав сырьевой смеси при изготовлении цементов для получения клинкера или в качестве добавки при изготовлении портландцемента.

Добавка 3–4 % фосфогипса в шлам увеличивает коэффициент насыщения клинкера с 0,89–0,9 до 0,94–0,96, объясняемый влиянием SO_3 . Это повышает стойкость футеровки в зоне спекания и улучшает размалываемость клинкера. Фосфогипс служит катализатором, снижает вязкость расплава и увеличивает его количество. Положительное влияние оказывают примеси фосфорного ангидрида и фтора.

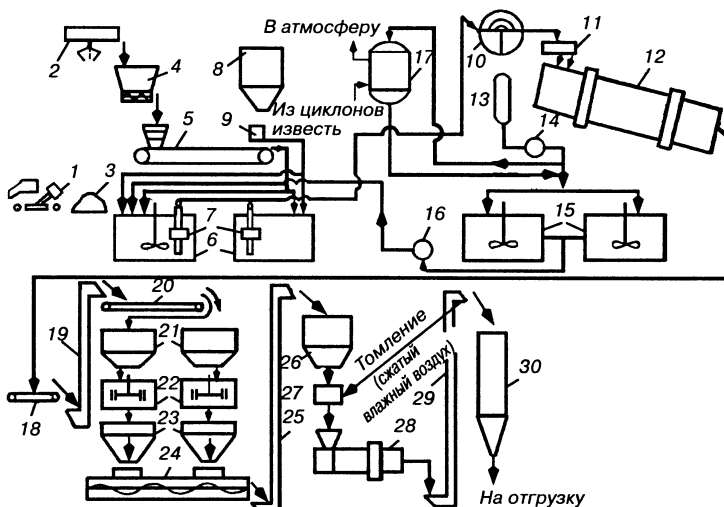


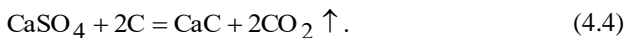
Рисунок 4.2 – Схема производства строительного гипса из фосфогипса:
 1 – транспорт фосфогипса; 2 – мостовой грейферный кран; 3 – склад фосфогипса;
 4 – питатель винтовой; 5, 18, 20 – ленточный конвейер; 6 – реактор нейтрализации;
 7, 14, 16 – насос; 8 – бункер извести; 9, 27 – дозатор; 10 – барабанный вакуум-фильтр;
 11 – питатель; 12 – сушильный барабан; 13 – ресивер; 15 – сборник фильтрата;
 17 – скруббер; 19, 25, 29 – элеватор; 21, 26 – бункер; 22 – гипсоварочный котел;
 23 – бункер томления; 24 – винтовой конвейер; 28 – шаровая мельница;
 30 – бункер строительного гипса

Фосфогипс может вводиться в состав портландцемента как замедлитель схватывания вместо гипсового камня. Причем эффект замедления схватывания повышается в связи с большим содержанием в фосфогипсе серного ангидрида, а также содержанием фосфора и фтора. Активность цемента не снижается, небольшое замедление твердения может происходить только в начальный период.

В качестве добавки в портландцементы применяют гранулированный фосфогипс. Часть фосфогипса обезвоживается при температуре 220–250 °С, а затем смешивается с остальной частью во вращающемся барабане. Обезвоженный фосфогипс гидратируется за счет воды, имеющейся в исходном материале, и образуются гранулы двуводного фосфогипса.

Гранулирование может производиться прессованием на торфобрикетных прессах, введением пиритных огарков в качестве упрочняющих добавок и другими способами.

Фосфогипс может применяться как основной сырьевой материал для одновременного получения цементного клинкера и серной кислоты. Сульфат кальция разлагают в восстановительной среде по схеме



Сернистый газ улавливают и переводят в серную кислоту. Оксид кальция, вступая в химическое взаимодействие с SiO_2 , Al_2O_3 и Fe_2O_3 , образует клинкерные минералы. Причем минералообразование протекает при температуре на $50\text{--}70^\circ\text{C}$ ниже. Фосфогипс высушивают до образования ангидрита. Содержание P_2O_5 в сырье не должно быть выше $2,5\%$.

Этим способом получают цементы средних классов. Основной его недостаток – высокая энергоемкость.

Фосфогипс можно использовать при изготовлении сульфоалюминатно-нобелитовых цементов. Сырьевая смесь приготавливается из фосфогипса, алюмосиликатных компонентов и восстановителя в ограниченном количестве, чтобы не допускать полное разложение сульфата кальция, который идет на образование $(3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3)\cdot\text{CaSO}_4$, $2(2\text{CaOSiO}_2)\cdot\text{CaSO}_4$. Часть CaSO_4 остается несвязанным, часть разлагается с выделением SO_2 , который перерабатывается в серную кислоту. Процесс протекает при температуре на $200\text{--}250^\circ\text{C}$ ниже, чем при получении портландцементного клинкера. Получают цемент классов по прочности на сжатие $32,5\text{--}52,5$.

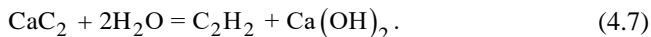
При изготовлении расширяющихся и напрягающихся цементов обжигают смесь фосфогипса и мела в соотношении $1:1$. Измельчают до удельной поверхности $2500\text{--}3000\text{ см}^2/\text{г}$ и вводят в портландцемент до 15% .

Борогипс образуется при кислотном разложении природных боратов и боросиликатов: гидротороцита $\text{CaMgB}_6\text{O}_{11}\cdot 6\text{H}_2\text{O}$, ашарита $3\text{Mg}_2\text{B}_2\text{O}_5\cdot 2\text{N}_2\text{O}$, датолита $2\text{CaO}\cdot\text{B}_2\text{O}_3\cdot 2\text{SiO}_2$. Его применяют как регулятор сроков схватывания портландцементов вместо природного гипса. Уже введение его 1% по SO_3 обеспечивает нормальные сроки схватывания цемента, а $2,5\%$ улучшает качество цемента. Применяют борогипс после сушки и грануляции.

4.3 Материалы из карбидной извести и карбонатных отходов

Карбидная известь является отходом производства карбида кальция, используемого для получения ацетилена.

Карбид кальция получают реакцией угля (антрацита, кокса) с оксидом кальция по схеме



Активность карбидной извести составляет 56 %. Она применяется для изготовления известково-кремнеземистых вяжущих. Можно получить изделия с прочностью 25 МПа и выше.

Карбонат кальция содержат отходы содовых, целлюлозно-бумажных, азотно-туковых предприятий. На предприятиях содовой промышленности накопились миллионы остатков дистиллерных шлаков. В их состав, %, входит карбонат кальция 50–65, гидроксид кальция – 4–10, гипс – 5–10, хлорид кальция – 5–10 и примеси глинистых минералов и кварца – 5–10. Они могут служить для получения известково-белитового вяжущего и бетонов на его основе, силикатного кирпича. Наличие в смеси сульфата и хлорида кальция позволяет уменьшить температуру обжига до 950–1000 °С.

Вяжущее получают следующим способом. Твердый остаток высушивают в сушильном барабане до влажности не свыше 10%-й обжигают во вращающейся печи, где происходит дегидратация гидроксидов кальция и магния и разложение карбонатов. Содержание активных $\text{CaO} + \text{MgO}$ составляет 40–55 %. Затем в шаровой мельнице его измельчают совместно с кварцевым песком до удельной поверхности 3000–5000 $\text{см}^2/\text{г}$.

Технология изготовления силикатного кирпича на известково-белитовом вяжущем не отличается от общепринятой на основе извести. Получают кирпич марок по прочности 125–200 и по морозостойкости – F25.

Из вяжущего без кварцевого песка получают строительные растворы.

Отходы содового производства можно применять в качестве наполнителя при изготовлении асфальтобетонных смесей, линолеума.

4.4 Материалы на основе

кремнеземистых и сульфаталюмосиликатных отходов

Кремнеземистые отходы образуются при производстве сульфата, хлорида, фторида алюминия, ферросплавов, переработке суперфосфатов.

Кремнеземистые отходы от производства сульфата и хлорида алюминия из каолинов и глин имеют высокую активность. Поглощение CaO из известкового раствора составляет не менее 200 мг на 1 г добавки (для сравнения: поглощения из диатомитов, опок – 150 мг на 1 г). Это объясняется наличием в их составе высокодисперсного аморфного кремнезема. Уже при комнатной температуре он вступает во взаимодействие с гидроксидом кальция. Их можно применять для изготовления вяжущих пуццоланового типа.

При производстве хлорида алюминия образуются каолиновые отходы в виде кусков диаметром 35 мм и длиной 50–60 мм. Они состоят в ос-

новном из кремнезема и заменяют шамот в огнеупорных бетонах, могут служить отошающей добавкой в керамических изделиях.

При производстве фторида алюминия отходом является кремнегель, состоящий из кремнезема с примесями CaF_2 . Он служит эффективной водоудерживающей добавкой в гидратных бетонах.

Из кремнегеля отработанных катализаторов получает декоративный материал сигран, имеющий стеклокристаллическое строение и фактуру гранита и мрамора. Содержащиеся в нем цветные металлы: цинк, медь, никель – окрашивают его в различные цвета.

Кремнеземистые отходы суперфосфата содержат 89–90 % SiO_2 и имеют удельную поверхность $10000 \text{ см}^2/\text{г}$. Их вводят в сырьевую смесь для изготовления декоративно-облицовочного материала. Смесь состоит, %, из мраморной муки – 60–65, белого портландцемента – 3–12, отходов суперфосфата – 5,5–10, стеората кальция – 0,5–3,0, жидкого стекла – 6–15. Путем прессования при давлении 10–15 МПа и последующей тепловой обработки при температуре 150–170 °С или методом горячего прессования изготавливают облицовочные плиты с прочностью при сжатии 50–60 МПа.

Отход ферросплавов состоит на 95 % из аморфного кремнезема дисперсностью 1500–2000 $\text{см}^2/\text{г}$. Его вводят в количестве 10–15 % от массы цемента в бетоны. Прочность бетона повышается на 30–60 %, экономия цемента составляет 100 $\text{кг}/\text{м}^3$. Эффективно его применение в ячеистых бетонах.

Отходом производства серноокислого алюминия из каолина является сульфоалюмосиликатный продукт (разновидность сиштофов). Он входит в состав расширяющегося цемента, состоящего из портландцементного клинкера – 67–74, сульфоалюмосиликатного продукта (САСП) – 17–23, гипса – 5–10 %. Этот цемент имеет начало схватывания 3–6 мин и конец – 8–10 мин, предел прочности при сжатии через 28 суток – 50–60 МПа. Обладает высокой сульфатостойкостью и водонепроницаемостью. Применяют его при торкретировании поверхностей сооружений.

4.5 Применение железистых и серосодержащих побочных продуктов

К этой группе побочных продуктов относят пиритные огарки, «хвосты» серных плавок, колошниковую пыль, железистый шлам. При изготовлении строительных материалов чаще всего применяются пиритные огарки Fe_2O_3 . Они являются побочными продуктами предприятий по производству серной кислоты, где в качестве исходного сырья используется серный колчедан. Реакции протекают по схеме



Пиритные огарки служат корректирующей добавкой в сырьевой смеси для портландцементного клинкера с содержанием Fe_2O_3 от 2 до 6 %.

Технология изготовления высокожелезистого цемента разработана Львовским политехническим институтом. Сырьем для него служат мел (60 %) и пиритные огарки (40 %). Обжиг ведут при температуре 1220–1250 °С. Прочность его при нормально-влажностном твердении в возрасте 28 суток составляет 10–20 МПа. Пропаривание при нормальном давлении и автоклавная обработка повышают прочность в 2–2,5 раза.

При изготовлении керамзитового гравия и песка в сырьевую смесь вводится 2–4 % пиритных огарков. При температуре 700–800 °С пирит распадается с образованием сернистого газа, который вспучивает глину. Кроме того, железистые соединения являются плавнями, которые разжижают расплав и уменьшают температурный интервал изменения вязкости.

Разработана технология тяжелых заполнителей на основе пиритных огарков. Смешивают 95–97 % пиритных огарков и 3–5 % пластичней глины. Смесь гранулируют и обжигают при температуре 1150–1200 °С. Получается заполнитель со средней плотностью зерен 3200–3300 кг/м³ с пределом прочности 150–170 МПа. Его применяют для особо тяжелых бетонов.

При изготовлении керамического кирпича и камней в сырьевую смесь вводят 5–10 % огарков, которые являются плавнями и снижают температуру обжига.

В сырьевую смесь для фасадных плиток огарки могут вводиться в количестве 5–50 %. Температура обжига плиток из огнеупорных и тугоплавких глин снижается на 50–100 °С.

Измельченные огарки с последующим прокаливанием при температуре 700–800 °С используются как красный пигмент, стойкий при действии щелочей и кислот. Применяется в масляных и красочных водных составах для окрашивания силикатного кирпича.

При получении серы образуются «хвосты» (шлак) серных плавок. Они содержат 10–30 % серы, остальное – карбонаты. Их применяют для изготовления серного цемента, пропитки бетона, в качестве наполнителя асфальтобетонных смесей. Бетон пропитывают в расплавленной и нагретой до 150 смеси. Сера проникает вглубь, в результате прочность бетона увеличивается в 3–5 раз, повышаются морозостойкость и химическая стойкость. Для более глубокого проникновения серы бетон предварительно высушивают.

В асфальтобетонные смеси вводят 15–20 % «хвостов» в качестве минерального наполнителя. Они заменяют активизированный минеральный порошок, сокращают на 10–15 % расход битума, повышают адгезию битума с заполнителями.

4.6 Строительные изделия из полимерфосфогипса

На основе фосфогипса и мочевиноформальгидных (карбамидных) смол получают конструкционные и теплоизоляционные полимерфосфогипсовые смеси, из которых изготавливают строительные изделия. Наполнение осуществляется песком, льнокустрой, стекловолокном, базальтовым волокном, древесными опилками, дробленой щепой. В качестве пластификатора и отвердителя может применяться гидролизный лигнин.

Из полимерфосфогипса, армированного волокнами, изготавливаются подоконные доски, решетки для полов животноводческих помещений, кормушки для скота, лотки высокой коррозионной стойкости.

В промышленном строительстве его применяют для изготовления химически стойких труб травильных электролизных ванн.

При изготовлении теплоизоляционных материалов в состав смесей вводятся перлит, аглопорит, опилки, стружки, дробленка. Средняя плотность материала составляет 400–500 кг/м³, прочность – от 1 до 10 МПа, коэффициент теплопроводности – 0,09–0,1 Вт/(м·°С). Можно изготавливать также стеновые блоки.

Состав полимергипсовой композиции приведен в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Физико-механические свойства полимергипсовых материалов

Состав	Масса, %					Средняя плотность, кг/м ³	Прочность при сжатии, МПа
	смола М19–М62	вода	фосфогипс	лигнин	опилки		
1	14,2	24,8	10,0	1,4	49,6	540–560	до 5,0
2	9,0	31,5	13,5	1,0	45,0	340–390	0,18–0,20
3	6,9	37,6	20,5	0,8	34,2	430–450	0,34–0,35

На Молодечненском заводе ЖБИ изготавливают плитки для полов, лотки для навозоудаления, подоконные доски. Сначала выполняют подготовку сырьевых материалов. Фосфогипс сушат в течение 1,5 часа при температуре 100–110 °С, а затем варят в котле при температуре 150–180 °С в течение 1 часа.

Лигнин сушат, искусственное волокно рубят, мочевиноформальдегидную смолу разбавляют водой.

Дозируют материалы объемным или весовым дозатором. Перемешивание составляющих выполняют в смесителе СБ-119. Вначале загружают сухие материалы, а затем подают водный раствор смолы. В процессе перемешивания могут вводиться красители. Смесь выгружают в форму и уплотняют на виброплощадке. Термообработка осуществляется в пропарочной камере в течение 2–4 часов, после чего изделия распалубливаются и выдерживаются до приобретения необходимой прочности.

Из жестких и полужестких полимерфосфогипсовых смесей методом вибропрессования при давлении 0,5 МПа получают облицовочные плиты

с гладкой поверхностью, бортовые камни, тротуарные плиты, напорные и малонапорные трубы. Отформованные изделия проходят термообработку в течение 3,5–4 часов, выдерживаются на складе и затем отправляются потребителю.

По резательной технологии вначале получают массивы из полимерфосфогипсов, затем подвергают их термообработке в течение 3–5 часов и потом резке на циркулярных пилах. По этой технологии можно изготавливать отделочные и акустические плиты, подоконные доски.

4.7 Применение галитовых отходов и глинисто-солевых шламов

Калийсодержащие руды состоят из сильвинита (KCl), карналлита ($KCl_2 \cdot 6H_2O$) и каменной соли-галлита ($NaCl$). В процессе переработки из них получают сильвинит-калийные удобрения (KCl) и большое количество галитовых отходов и глинисто-солевых шламов. Ежегодный прирост отходов, которые наносят большой ущерб окружающей среде, только в ПО «Белорускалий» составляет 18–19 млн т. Их утилизация имеет большое практическое значение. Отходы калийного производства могут применяться для получения пищевой и технической соли, глиняного порошка, используемого при бурении скважин, изготовления керамической плитки, в качестве добавки в цементные бетоны.

Глинисто-солевой шлам Солигорского калийного комбината состоит из глины, сильвинита, галита, сульфата и карбоната кальция. Из смеси, состоящей из 50 % шлама, 12 % бентонита, 8 % глины, 30 % стеклобоя и 2 % ортофосфорной кислоты, можно получить плитки для полов, которые дешевле на 44 % плиток из привозного сырья.

Галитовые отходы входят в состав химической добавки ЛМГ, применяемой для улучшения технологических свойств бетонной смеси.

4.8 Применение отходов производства капролактама

При производстве капролактама образуются побочные продукты – щелочные стоки. При их разложении получают плав соды с содержанием более 85 % Na_2CO_3 . На стеклозаводе «Неман» проведены испытания по применению плава соды при производстве стекла. Он может быть использован для изготовления стеклоизделий, к которым не предъявляются высокие требования по светопропусканию (стеклотары, марблита, шлакоситаллов) в качестве щелочного компонента при изготовлении щелочных вяжущих.

4.9 Применение отходов нефтехимической промышленности

К нефтехимической промышленности относят нефтепереработку, органический синтез, производство синтетического каучука, шин, резинотехнических изделий.

Отходами нефтеперерабатывающей отрасли являются кислые гудроны, фенольная смола, отработанная серная кислота, отработанные масла, различные стоки.

Кислые гудроны образуются при очистке масел, парафинов.

Кислые гудроны можно применять как сырье для получения олифы, битума, искусственного жира. Имеется опыт применения в виде добавки в глиномассу для изготовления керамзита, что позволяет уменьшить его плотность.

Фенольная смола образуется при кислотном разложении гидроперекиси изопропилбензола на фенол и ацетон. Примерный ее состав в процентах по массе: фенол – 6–17, ацетофенол – 6–16, сложный фенол – 22–39, диметилфаметилстирола – 20–30, диметилфенилкарбинол – 1–13, тяжелый остаток – 7–28, альфаметилстирол – 1–3 %. На 1 т фенола при его получении приходится 150 кг фенольной смолы. Она применяется для изготовления фенолоформальдегидной смолы и как топливо.

Для очистки масел используют бентонитовую глину. Отработанная глина пропитана нефтепродуктами и маслами в количестве 30–40 % по массе. Введение ее в шихту в количестве 2–3 % позволяет снизить насыпную плотность керамзита на 100 кг/м³.

На предприятиях, выпускающих синтетический каучук и латекс, образуются отходы, которые могут применяться при изготовлении кровельно-изоляционных, герметизирующих материалов и плит полов животноводческих зданий.

При изготовлении воздухозащитной ленты «герволент» бутидиенстирольный термоэластопласт ДСТ-30 может заменяться отходами полимерной крошки латекса. Качество ленты не хуже, чем с применением ДСТ-30, стоимость значительно ниже. Из отходов бутилового каучука изготавливается бутилкор, который используется для герметизации швов панельных зданий. Полимердегтебитумная пленка ПДБ-КГ изготавливается из полиэтилена низкого или высокого давления, полиизобутилена и отходов производства синтетических каучуков и латексов в виде крошки. Она применяется для гидроизоляции битумо-перлитового утеплителя при строительстве трубопроводов, устройстве мягких кровель, антикоррозионной защиты строительных конструкций, гидроизоляции подземных сооружений.

При производстве резинотехнических изделий образуются остатки резиновых смесей, резинотканевые, текстильные и резинометаллические отходы. Большой объем их образуется при изготовлении шин. Резиновые невулканизированные отходы применяют при изготовлении кровельных листов, плит для полов животноводческих помещений.

Из вулканизированных отходов получают резиновую крошку, добавляемую к первичному сырью. Резинотканевые вулканизированные отходы от

вырубок готовых и бракованных изделий применяют для изготовления кровельных листов, плит для полов животноводческих помещений.

Из изношенных покрышек получают крошку для регенератора, для изготовления строительных материалов: изола, фольгоизола, битумно-резиновых мастик, асфальтобетонов. За рубежом из них получают топливные масла, сажу, используют в качестве топлива при обжиге цементного клинкера.

При изготовлении резинобитумного вяжущего для изола используют изношенные автопокрышки. Изол состоит из битума – 43 %, резиновой крошки – 30 %, асбеста – 25 %, пластификатора – 2 %. При изготовлении фольгоизола рифленая фольга покрывается слоем резинобитумного вяжущего, в состав которого входит крошка. При восстановлении изношенных автопокрышек отходы от снятия верхнего слоя используются для изготовления плит полов животноводческих помещений.

4.10 Применение гидролизного лигнина и отходов целлюлозно-бумажного производства

На гидролизных заводах большие объемы занимает лигнин, являющийся отходом производства. В настоящее время его применяют в качестве выгорающей добавки в производстве строительной керамики, вместо опилок в строительных изделиях, для феноло-лигниновых полимеров, пластификатора и интенсификатора измельчения.

При изготовлении кирпича в формовочную шихту можно вводить в качестве выгорающей добавки до 20–25 % лигнина по объему. Благодаря высокой дисперсности он не требует измельчения, хорошо смешивается с другими компонентами шихты, не ухудшает ее формовочных свойств, не затрудняет резки бруса. Выгорает он при температуре 350–400 °С.

В качестве добавки лигнин вводится в шихту при изготовлении аглопорита. Улучшается гранулометрический состав шихты, она более равномерно и интенсивно спекается, увеличивается газопроницаемость, в результате чего снижается разрежение в вакуум-камере на 200–400 Па. Пористость аглопорита повышается, в результате чего средняя плотность щебня понижается на 150–180 кг/м³. Кроме того, уменьшается расход угля на 20–25 %.

При изготовлении асфальтобетонов лигнин может вводиться в качестве наполнителя. По качеству такой бетон не уступает бетону, наполненному известковым порошком.

На основе лигнина получают лигнино-гудронное и лигнино-смоляное вяжущее. Лигниновые вяжущие состоят из жидкой углеводородной фракции и продукта крекинга в ней гидролизного лигнина, распад которого происходит при температуре 300–310 °С. Соотношение между лигнином и углеводородной фракцией принимается от 1 : 2 до 1 : 7,5.

Лигнин применяют для изготовления феноло-лигниновых полимеров, близких по свойствам фенолформальдегидным смолам. Они служат для из-

готовления древесностружечных плит, слоистых пластиков. Из пресс-порошков изготавливают плиты для облицовки стен и устройства пола.

При изготовлении портландцемента в состав шлама вводят 0,2–0,3 % лигнина. Он снижает вязкость известково-глиняной суспензии. При помоле цемента интенсифицирует процесс измельчения, уменьшает слипание мелких фракций и налипание на мелющие тела.

К отходам целлюлозно-бумажной промышленности относят осадки сточных вод после первичной очистки (скоп). Он содержит в своем составе 50 % минеральной части в основном в виде каолина и 50 % целлюлозных волокон. Скоп применяют в качестве добавки при изготовлении аглопорита на основе золы ТЭС. Смешивая его с перлитовым песком, получают теплоизоляционный материал со средней плотностью 200–350 кг/м³, теплопроводностью 0,063–0,087 Вт/(м·°С) и прочностью при изгибе 0,15–1,4 МПа.

К многотоннажным отходам целлюлозно-бумажного производства относятся и избыточный активный ил. Образуется он при вторичной биологической очистке сточных вод и представляет собой белково-углеводородный комплекс. Применяется в качестве пластифицирующей добавки в вяжущих веществах, для изготовления теплоизоляционных материалов.

4.11 Поверхностно-активные вещества и электролиты из побочных химических продуктов

При изготовлении строительных материалов применяют пластифицирующие, гидрофобные поверхностно-активные вещества, электролиты.

К пластифицирующим веществам, являющимся отходами производства, относятся лигносульфонаты технические (ЛСТ), модифицированные ЛСТ, щелочные стоки производства капролактама (ЩСПК), упаренная последрожжевая мелассная барда (УПБ), суперпластификаторы. Пластифицирующие ПАВ применяют для разжижения сырьевых шламов, повышения удобоукладываемости бетонных и растворных смесей, уменьшения влажности, улучшения формовочных свойств керамической массы.

Лигносульфонаты технические являются отходами от производства целлюлозы по сульфитному способу. Состоят они в основном из аммониевых солей сульфоновых кислот.

При изготовлении цемента ЛСТ вводится в состав сырьевого шлама для снижения влажности. При помолу клинкера с гипсом и минеральными добавками вводится в количестве 0,15–0,25 %, для улучшения размалываемости и получения пластифицированного портландцемента ЛСТ добавляется в бетонные смеси для повышения удобоукладываемости и жизнеспособности, снижения расхода цемента, повышения водонепроницаемости и морозостойкости бетона.

При изготовлении керамических материалов добавка ЛСТ в составе керамической массы улучшает ее формовочные свойства, снижает пластическую прочность и напряжение сдвига, ускоряет сушку изделий. Модифицируя ЛСТ добавками формальдегида, каустической соды, отделением ЛСТ от сопутствующих компонентов получают пластификаторы повышенной эффективности. Для изготовления добавки сильно пластифицирующего действия НИЛ-20 раствор ЛСТ смешивают с цементом и золой-уносом. После отстоя, компоненты ЛСТ, замедляющие твердение, адсорбируются на зернах цемента и золы и удаляются вместе с осадком. Количество пластификатора в бетонных смесях можно увеличить до 1 % и повысить подвижность с 4 до 22 см. В равноподвижных смесях прочность бетона повышается на 20–25 % или снижается расход цемента на 10 %.

Сильнопластифицирующим действием обладает пластификатор ХДСК-1, получаемый гидродинамической, термической и химической обработкой ЛСТ со щелочью. Применение его позволяет повысить плотность бетонной смеси, уменьшить расход цемента на 12 %, сократить тепловую обработку на 4 часа.

На Камском целлюлозно-бумажном комбинате освоен выпуск пластификатора ЛСТМ-2, представляющего собой ЛСТ, модифицированного амминосодержащими веществами. Введение его в количестве 0,1–0,2 % при измельчении цементного клинкера позволяет улучшить гранулометрический состав и повысить активность цемента на 3–7 МПа. При введении в бетонную смесь водосодержание уменьшается на 18–25 %.

Щелочной сток производства капролактама (ЩСПК) представляет натриевую соль адипиновой кислоты. Он обладает воздухововлекающим и пластифицирующим свойствами. Введение ЩСПК в количестве 0,1–0,2 % от массы цемента в бетонные смеси экономит до 8 % цемента, повышает морозостойкость бетона. Совместно с противоморозными добавками в бетонах зимнего бетонирования уменьшает их расход в 3–5 раз.

Промышленным отходом спиртовых отходов от производства кормовых дрожжей является упаренная последрожжевая мелассная барда. Введение ее в бетонную смесь в количестве 0,15–0,5 % от массы цемента позволяет уменьшить расход цемента до 10 %.

На основе отходов производства нафталина получен суперпластификатор «Дофен». Добавка его в бетонную смесь в количестве 0,5–2 % позволяет получить из малоподвижных смесей литые.

К гидрофобным ПАВ относят мыла смоляных, нафтенowych, жирных кислот (и их отходы), жирных синтетических кислот и кубовых остатков от производства этих кислот. Применяют их в виде добавок для интенсификации измельчения портландцементов и в бетоны. Они образуют соединения,

не смачиваемые водой. Такими добавками являются мылонафт – щелочной отход очистки дистиллятов нефти, подмыленный щелок – отход мыловаренного производства, отходы соапстоков – продуктов переработки растительных масел и жиров, кубовые остатки адипиновой кислоты. Эти добавки вовлекают воздух, вследствие чего происходит пластификация бетонных и растворных смесей, предотвращаются расслаивание и водоотделение, повышается морозостойкость бетонов и растворов.

Кубовые остатки жирных синтетических кислот при изготовлении цемента интенсифицируют процесс измельчения, происходит также гидrofобизация цемента. Гигроскопичность его низкая, активность сохраняется 1–2 года и более.

Отходами, содержащими электролиты, являются дистиллерные отходы производства кальцинированной соды. Они содержат CaCl_2 и NaCl , которые можно использовать как противоморозную добавку. Щелочесодержащие отходы применяют при изготовлении шлакощелочных вяжущих.

5 МАТЕРИАЛЫ ИЗ ОТХОДОВ ПЕРЕРАБОТКИ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ

5.1 Сырьевые материалы

Сырьем для изготовления строительных материалов могут служить отходы растительного происхождения.

Анализ потребления древесины в народном хозяйстве показывает, что при заготовке и переработке до 50 % древесины составляют побочные продукты, большая часть которых сжигается или вывозится в отвалы. Их можно применять для изготовления строительных материалов, а также для гидролизной, целлюлозной и других отраслей промышленности. Можно получать строительные материалы, превосходящие по свойствам пиломатериалы, и существенно сократить объемы вырубки леса.

Отходы древесины образуются на всех стадиях ее заготовки и переработки. Это отходы лесозаготовок, образующиеся при валке деревьев, очистке стволов от сучьев, раскряжевке хлыстов (ветви, сучья, вершины, корни, пни, откомлевки, хворост, составляющие около 21 % всей массы древесины); отхода образующиеся при переработке древесины на пиломатериалы (горбыли – 14, опилки – 12, срезки и мелочь – 9 %); отхода при изготовлении строительных изделий, деталей, мебели (опилки, стружки, обрезки, которые составляют до 40 % перерабатываемых пиломатериалов).

Для производства строительных материалов рекомендуется применять отходы лесопиления и деревообработки. Кусковые отхода используются для изготовления клееных строительных изделий или перерабатывают в щепу, стружку, дробленку, волокнистую массу. Имеется опыт получения строительных материалов из коры и одубины.

Опилки являются наиболее массовым отходом деревопереработки. При распиловке бревен на лесопильных рамах образуются опилки крупностью до 7 мм, на круглопильных станках – 1–2 мм. Частицы менее 0,2 мм – древесная мука. Опилки применяются при производстве керамического кирпича как выгорающая добавка, как наполнитель при изготовлении гипсовых плит и панелей, опилкобетона.

Технологическая щепа получается при измельчении кусковых отходов и неделовой древесины на дисковых или барабанных рубильных машинах. Она предназначена для последующей переработки в волокнистую массу, стружку. Щепа для производства волокнистой массы для древесноволокни-

стых плит должна иметь длину волокон 20–25 мм, ширину поперек волокон – 15–30 мм и толщину – 3–5 мм, для древесностружечных плит плоского прессования – длину 40 мм и толщину 30 мм, при экструзионном – 20 и 30 мм соответственно. Объем коры для ДВП допускается 15 %, для ДСП – 12 %.

Древесная дробленка получается путем измельчения щепы или кусковых отходов на молотковых дробилках. Частицы имеют длину 5–40 мм, толщину до 5 мм и ширину – до 10 мм. Коэффициент формы – отношение наибольшего размера к наименьшему для фракции 20–40 мм – не менее 10, для более мелких фракций – не менее 5.

Стружка (древесная шерсть) может изготавливаться из отходов лесопиления без предварительной переработки в щепу. Ее размеры для арболита: толщина – 0,1–1,0 мм, длина – 2–20 мм; для наружных слоев древесностружечных плит – соответственно 0,1–0,2 мм и 10–20 мм; для средних слоев – 0,4 и 40–60 мм.

Древесину сортируют по породам, удаляют гниль, разделяют. Перед переработкой в стружку ее подвергают гидротермальной обработке паром при давлении 0,25–0,30 МПа или проваривают в воде при температуре 70–85 °С. На переработку должна поступать древесина с влажностью 30–40 % и температурой 10–50 °С. Это снижает шероховатость стружки и сокращает количество мелкой фракции.

Волокнистая масса состоит из волокон диаметром 30–50 мкм и длиной от сотых долей миллиметра до 3–4 мм. Ее получают механическим, термомеханическим или химико-механическими способами.

При механическом способе чураки истирают быстровращающимися рифлеными дисками. Для облегчения размола древесину могут прогревать, добавлять химические вещества. Этот способ не нашел широкого применения. Он энергоемок, затраты электроэнергии составляют 600 кВт на 1 т сухой волокнистой массы. Нельзя применять щепу.

При термомеханическом способе щепу вначале разогревают горячей водой с температурой не ниже 70 °С или паром высокого давления с температурой 170–190 °С, а затем истирают рифлеными дисками. При разогреве лигнин древесины размягчается, углеводы гидролизуются, что облегчает расщепление древесины. Расход электроэнергии составляет 200–260 кВт на 1 т сухого волокна. Этот способ чаще всего применяется при приготовлении древесноволокнистой массы.

Химико-механический способ заключается в проваривании древесной щепы в слабощелочном растворе с последующим механическим размолом. При варке происходит растворение лигнина и частично гемицеллюлозы и инструктирующих веществ, соединяющих волокна, что облегчает размол древесины. Образуются длинные волокна. Из волокнистой массы получают высококачественные древесноволокнистые плиты.

Однако этот способ применяется ограниченно из-за небольшого выхода волокна и сложности подготовки сырья.

Одним из источников органического сырья для строительных материалов являются сельскохозяйственные отходы растительного происхождения: костра, стебли хлопчатника. Только выход костры составляет ежегодно 1 млн т.

Костра является отходом первичной переработки стеблей льна и конопли. Представляет одеревеневшие части стеблей, отделяемые после обработки их в пенькомяльных машинах. Размеры костры, мм: длина – 70 (конопляной) и 55 (льняной), ширина – 3, толщина – 0,2–0,3. Она не содержит водорастворимых сахаров и не разрушает цементный камень.

Дробленые стебли хлопчатника применяют для изготовления арболита.

5.2 Материалы на основе минеральных вяжущих веществ

На основе минеральных вяжущих и древесных заполнителей получают арболит, фибролит и опилкобетоны.

Арболит – легкий бетон на органических заполнителях растительного происхождения и минеральных вяжущих веществах. Легкие заполнители снижают среднюю плотность, теплопроводность. Портландцемент придает прочность, биостойкость, огнестойкость, морозостойкость.

По назначению арболит подразделяется на теплоизоляционный и конструкционно-теплоизоляционный. Теплоизоляционный арболит с прочностью от 0,5 до 1,0 МПа, конструкционно-теплоизоляционный – от 1,5 до 3,5 МПа. Марки по морозостойкости – F25, F35. Средняя плотность – 400–800 кг/м³, теплопроводность – от 0,08 до 0,198 т/(м·°С). Биостойкость арболита высокая. Химические добавки для обработки заполнителей обладают антисептическими свойствами. По огнестойкости арболит – трудногораемый материал.

Арболитовые изделия изготавливают в основном на портландцементях без минеральных добавок классов по прочности на сжатие 32,5 и 42,5. Лучшими являются быстротвердеющие портландцементы. Имеется опыт применения высокопрочного гипса, на котором получают арболит В2.

Органический заполнитель для арболита получают из древесины и отходов сельскохозяйственного производства. Древесное сырье изготавливают из отходов лесозаготовок, лесопиления и предприятий деревообработки. Используют сучья, вершины, пни, низкокачественную и дровяную древесину, горбыли, срезки, станочную стружку, опилки, одубину. Наиболее качественны заполнители из отходов лесопиления и деревообработки сосны и ели, худшие – из древесины лиственницы. Древесное сырье превращают в дробленку с частицами длиной 5–40 мм, шириной – до 10 мм и толщиной не более 5 мм. Древесина измельчается вначале в щепу на рубильных машинах, а затем в дробленку на молотковых дробилках.

Для арболита на портландцементе щепу из свежесрубленной древесины выдерживают в штабелях на открытом воздухе не менее 2 месяцев для удаления экстрактивных веществ и сахаров, которые отрицательно влияют на схватывание и твердение портландцементов. На гипсовых вяжущих древесину не выдерживают.

В качестве химических добавок применяют хлорид кальция, жидкое стекло, сернокислый алюминий и известь, являющиеся минерализаторами. Ими обрабатывают дробленку для уменьшения отрицательного влияния экстрактивных веществ на цемент. Лучшими минерализаторами для мало-выдержанной древесины являются смесь сернокислого алюминия с известью, жидкое стекло или хлорид кальция.

Из отходов сельскохозяйственного производства используют костру льна и конопля, рисовую солому, стебли хлопчатника, которые измельчают на рубильных машинах на частицы размером до 40 мм.

Примерный расход материалов на 1 м³ арболита, кг: портландцемент класса по прочности на сжатие 32,5 – 320–380, заполнитель – 160–250, вода – 330–500, хлорид кальция – 5–9.

Качество арболита можно улучшить путем введения технической пены. Улучшается формование изделий, повышается однородность, уменьшается теплопроводность, увеличивается морозостойкость изделий.

Приготавливают арболитовую смесь в смесителях принудительного смешивания в течение 5–8 минут, формируют изделия в горизонтальных формах силовым вибропрокатом, вибропрессованием, вибрацией с пригрузом, послойной укаткой роликами, трамбованием, прессованием. Твердеют изделия 24 часа в воздушной среде с относительной влажностью воздуха 60–80 % и температурой 25–35 °С, затем распалубливаются и выдерживаются 5–7 суток при положительной температуре, зимой – в теплом помещении.

Применяют арболит для стен жилых малоэтажных домов. Он должен иметь среднюю плотность 650–700 кг/м³, класс по прочности – В2, марку по морозостойкости – F25.

Фибролит – плитный материал, состоящий из древесной стружки и затвердевшего минерального вяжущего. Вяжущим служат портландцемент, каоцитские магнезит или доломит, известь, гипсовые вяжущие. В настоящее время выпускается в основном цементный фибролит.

По назначению фибролит подразделяется на теплоизоляционный, теплоизоляционно-конструкционный и акустический.

Средняя плотность фибролита, кг/м³: теплоизоляционного – 300–400, теплоизоляционно-конструкционного – 300, акустического – 350–400, прочность при изгибе – 0,4–1,2 МПа. Средняя плотность и прочность фибролита зависит от расхода вяжущего и усилия прессования.

Водостойкость фибролита низкая. При его 50%-й влажности прочность снижается в 1,5–2 раза. Водопоглощение фибролита составляет 35–60 %. Его положительное свойство – низкая гигроскопичность и некоробление.

Коэффициент теплопроводности теплоизоляционного фибролита составляет 0,079–0,115 Вт/(м·°С). Увлажнение его на 1 % повышает теплопроводность на 5–14 %.

По огнестойкости фибролит – трудносгораемый материал. Он не горит, но тлеет. Время тления после удаления пламени для плит с $\rho_c = 350 \text{ кг/м}^3$ составляет 30 секунд.

В сухом состоянии фибролит – биостойкий материал, при увлажнении свыше 35 % он поражается домовым грибом.

Фибролит хорошо пилится, гвоздится, плиты хорошо штукатурятся.

Древесная шерсть для цементного фибролита представляет стружку длиной 200–500 мм, шириной 2–5 мм и толщиной 0,3–0,5 мм. Изготавливают ее из неделовой древесины и отходов лесопиления.

Наличие в древесине гемицеллюлозы, которая в щелочной среде переходит в водорастворимые сахара, замедляет твердение цемента и уменьшает в 5–10 раз прочность цементного камня. Для изготовления древесной шерсти лучше применять древесину хвойных пород ели, пихты, сосны, содержащих меньшее количество водорастворимых веществ.

Древесину целесообразно выдерживать на складах в течение 4–6 месяцев. Она нейтрализует воздействие на цементный камень вредных веществ и улучшает сцепление с древесной шерстью после ее обработки минерализаторами.

Древесную шерсть получают на станках с возвратно-поступательным движением ножевой плиты. Строительные ножи снимают стружку параллельно волокнам древесины. Минерализацию древесной шерсти осуществляют окунанием или обрызгиванием 3–4 % раствором хлористого кальция или жидкого стекла.

Для цементного фибролита применяют портландцемент, быстротвердеющий портландцемент или шлакопортландцемент класса по прочности на сжатие не ниже 32,5. При применении белитового цемента минерализацию можно и не делать.

Приготавливают формовочную массу в смесителях принудительного действия, можно приготавливать и в смесителях свободного падения. Среднее значение расхода материалов на 1 м^3 смеси для фибролита составляет: со средней плотностью $\rho_c = 300 \text{ кг/м}^3$ – 0,4 м^3 древесной стружки и 190 кг цемента, для $\rho_c = 400 \text{ кг/м}^3$ – 0,55 и 240, для $\rho_c = 500 \text{ кг/м}^3$ – 0,82 и 270.

Приготовленная смесь при помощи загрузочного конвейера, оборудованного валковым распределителем и разрыхляющим устройством, распределяется по формам. Формы в количестве 15–20 штук устанавливаются на пресс в виде пакета и прессуются с удельным давлением для теплоизоляционных плит 0,06–0,1 МПа, для теплоизоляционно-конструкционных при удельном давлении 0,25–0,4 МПа.

После необходимой степени уплотнения толщину уплотненной массы фиксируют струбцинами и в обжатом состоянии направляют на тепловую обработку, которую осуществляют в два этапа. Вначале в обжатом состоянии плиты на быстротвердеющем цементе выдерживают 8 часов в камере твердения при влажности среды 60–70 % и температуре 30–35 °С, на портландцементе выдерживают 24 часа для закрепления структуры. Затем их освобождают от форм, обрезают и выдерживают 5–7 суток при положительной температуре: летом – под навесом, зимой – в помещении, или 1–2 суток в сушилках при температуре 50–60 °С и относительной влажности 60–70 %. Влажность высушенных плит не должна превышать 20 %.

В настоящее время имеются полностью автоматизированные линии по производству фибролитовых плит размером 2400×550×75 мм. Фибролитовые плиты применяют как теплоизоляционный материал для утепления стен щитовых и каркасных домов, железобетонных стеновых панелей, утепления совмещенных крыш.

Цементно-стружечные плиты получают из стружек и портландцемента со средней плотностью 400–1200 кг/м³ прессованием при повышенном давлении. Их применяют для наружной обшивки домов, устройства полов, дверей, опалубки для бетона.

Опилкобетон изготавливают из портландцемента, извести, песка и опилок. На 1 м³ опилкобетона классов по прочности В1, В2 со средней плотностью 1050–1250 кг/м³ расходуется примерно, портландцемента класса по прочности на сжатие 32,5–130 кг, гашеной извести – 105 кг, песка – 600 кг и опилок – 200 кг. Для повышения прочности к опилкам следует добавлять до 30 % древесной стружки.

Вначале минерализуют опилки насыщением в известковом молоке, затем их высушивают и погружают в раствор жидкого стекла с соотношением жидкого стекла к воде 1:7 и снова высушивают.

Бетонную смесь приготавливают в растворо-смесителях. Вначале смешивают цемент с песком, а затем – с минерализованными опилками.

Укладывают опилкобетон слоями толщиной 100–150 мм, уплотняя каждый слой. Применяют его для возведения наружных стен жилых одноэтажных зданий.

Ксилолит изготавливают из магниезиальных вяжущих, древесных опилок и затворяют водными растворами солей. Для большей прочности можно добавить тальк или асбест. Соотношение вяжущего к заполнителям принимается от 1:2 до 1:4. Материал имеет прочность 20–35 МПа. Применяют его для устройства полов, которые эластичны и малотеплопроводны.

Ксилолит, в состав которого входят доломитовая известь – 250–530 кг, хлористый магний – 400–700 кг и опилки – 116 кг, имеет среднюю плотность 650–1100 кг/м³ и класс по прочности В3,5.

Ксилолитовые плитки получают из 1 части вяжущего и 4 частей опилок прессованием при давлении 10–12 МПа. Применяют для отделки стен и устройства полов.

Из магнезиальных вяжущих и заполнителей из древесины можно изготавливать брус и камни для возведения стен.

5.3 Материалы на основе органических связующих

На основе органических связующих изготавливают древесностружечные и древесноволокнистые плиты, древесно-слоистые пластики, клееную древесину.

Древесностружечные плиты (ДСП) – листовой материал, состоящий из измельченной древесины (80–85 %), полимерного связующего (12 %) и воды (6–10 %). В качестве связующего применяют фенолоформальдегидные, мочевиномеламиновые и мочевиноформальдегидные (карбамидные) смолы. По конструкции они бывают однослойными сплошными и с внутренними каналами, трехслойными и многослойными; по плотности – легкими с $\rho_c = 500 \text{ кг/м}^3$, средними с $\rho_c = 500 \dots 650 \text{ кг/м}^3$ и тяжелыми с $\rho_c = 660 \dots 700 \text{ кг/м}^3$; по виду отделки – необлицованные и облицованные бумагой или шпоном; размеры: длина – 2440–5500, ширина – 1220–2440 и толщина – 10–22 мм.

Технологический процесс изготовления ДСП включает следующие периоды: приготовление древесного сырья и полимерного связующего; дозирование и смешивание всех компонентов, прессование плит.

Процесс приготовления древесного сырья состоит из сортировки древесины, ее гидротермальной обработки, окоривания, разделки древесины, измельчения и сортировки. Наибольшая прочность плит на изгиб получается, если в качестве древесного сырья применяются стружки с добавлением 12–15 % очень мелких фракций и древесной пыли.

На втором этапе изготавливают связующие. Чаще всего применяют мочевиноформальдегидные смолы. Они не токсичны и длительное время сохраняют устойчивую вязкость.

Дальше выполняется дозирование стружки по массе, дозирование связующего может выполняться по массе и объему.

Соединение связующего со стружкой осуществляется распылением его под давлением 0,2–0,3 МПа из пневматических форсунок, а затем в смесителях периодического или непрерывного действия.

Плиты получают горячим прессованием периодическим способом на гидравлических прессах, непрерывным – на плитах экструзионного типа. Наиболее распространен периодический способ прессования на горячих многоэтажных гидравлических прессах, со средней этажностью 8–15 этажей при давлении 20 МПа и температуре 150 °С.

Выдерживают плиты в отопляемых помещениях в плотных стопах 5–6 суток. В это время происходит их охлаждение и полное отверждение связующего.

Схема технологического процесса получения твердых и сверхтвердых ДВП при мокром способе производства приведена на рисунке 5.1.

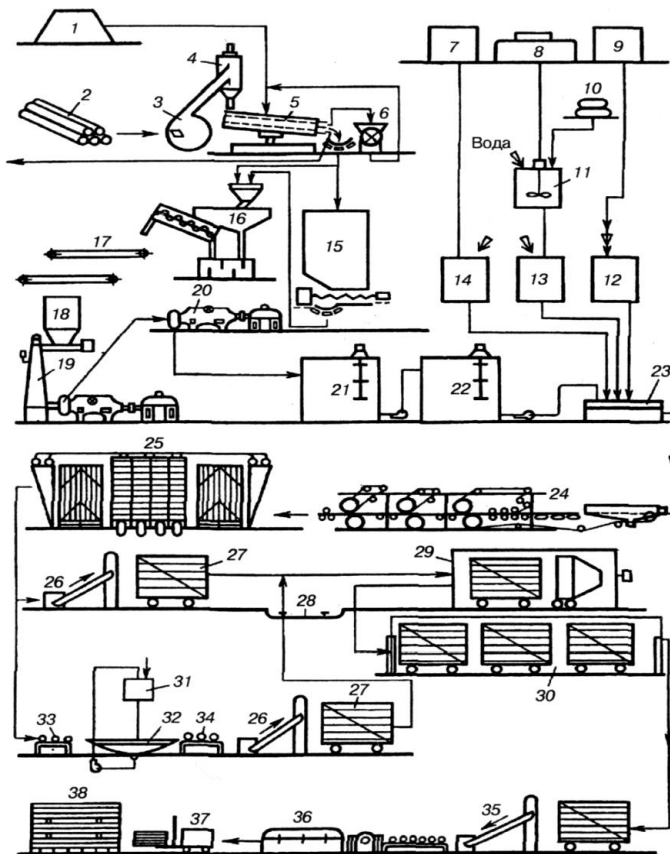


Рисунок 5.1 – Схема технологического процесса получения твердых и сверхтвердых ДВП при мокром способе производства:

- 1 – щепа; 2 – круглая древесина и кусковые отходы; 3 – рубительная машина; 4 – циклон; 5 – сортировка щепы; 6 – дезинтегратор; 7 – емкость для связующего; 8 – емкость для парафина; 9 – емкость для серной кислоты; 10 – мешки с эмульгатором; 11 – эмульсатор; 12, 13, 14 – расходные емкости соответственно для осадителя, парафиновой эмульсии и связующего; 15 – бункер щепы; 16 – установка для мойки щепы; 17 – ленточные конвейеры; 18 – расходный бункер для щепы дефибратора; 19 – дефибратор; 20 – рафинатор; 21 – рафинаторный бассейн; 22 – массный бассейн; 23 – ящик непрерывного проклеивания; 24 – отливная машина; 25 – пресс; 26, 35 – загрузочное и разгрузочное устройства; 27 – вагонетка; 28 – траверсный путь; 29 – камера термообработки; 30 – камера увлажнения; 31 – емкость для пропитывающего состава; 32 – пропиточная машина; 33, 34 – роликовые конвейеры; 36 – форматно-обрезная установка; 37 – электропогрузчик; 38 – склад готовой продукции

ДСП в строительстве применяются для устройства каркасных и щитовых стен и перегородок, полов, встроенной мебели. В строительстве широко используются различные изделия, изготавливаемые из отходов древесины, склеенные фенолокарбамидными и мочевиноформальдегидными клеями. Для склеивания коротких досок в торцах вырезают зубчатые шипы, пропитывают клеем и выдерживают под прессом 6–18 часов до его полного отверждения.

По толщине и ширине кусковые отходы склеивают на полуавтоматических установках, прогревая соединения токами высокой частоты в течение нескольких минут.

Из обрезков досок склеивают панели и применяют их для устройства перегородок, обшивки домов, настилки полов.

Из кусковых отходов длиной 375 мм и более изготавливают клееные щиты. Отходы разрезают на бруски, высушивают и склеивают при прессовании. Затем щиты строгают с двух сторон, обрезают до заданных размеров с вырезкой паза и гребня. Применяют их для настилки полов.

Из отходов лесопиления – досок и брусков – изготавливают щитовой паркет, состоящий из нижнего основания и верхнего покрытия.

Применение клееных изделий в строительстве экономит до 20 % деловой древесины с уменьшением стоимости конструкций в 3–4 раза.

Древесноволокнистые плиты (ДВП) изготавливают из волокнистой массы. Сырьем чаще всего служат неделовая древесина, отхода лесопиления и деревообработки. По назначению они подразделяются на сверхтвердые (СТ), твердые (Т) и мягкие (М) плотностью соответственно 950–1000; 800–1000; 100–400 кг/м³.

По прочности на изгиб ДВП подразделяются на марки М-4, М-12, М-20, Т-350, Т-400, СТ-500, где цифры обозначают предел прочности в кгс/см².

Процесс производства ДВП состоит из получения древесных волокон путем измельчения древесины по приведенной выше технологии и формования изделий.

ДВП изготавливают мокрым и сухим способами. При мокром способе волокна перемешиваются в бассейне с водой с концентрацией 2,5–3 %. При получении сверхтвердых плит для повышения прочности и водостойкости добавляется до 5 % терморезактивных полимеров. Затем гидромасса разбавляется водой до концентрации 1 % и поступает на отливочные машины, на которых вода фильтруется и получается слой войлокообразного ковра, который вакуумируется и подпрессовывается. Затем выполняют раскрой полотна на плиты и сушку. При сухом способе волокнистая масса высушивается до влажности 5–8 %, из которой затем

формируется волокнистый ковер. Достоинство этого способа – отсутствие очистных сооружений, недостаток – необходимость введения связующего в количестве 0,5–2 % от массы древесных частиц.

Прочность мягких плит достигается переплетением древесных волокон. Твердые и сверхтвердые плиты подвергаются горячему прессованию при температуре 180–190 °С и давлении 1,5 МПа, в результате чего образуются смолоподобные продукты, являющиеся связующим. Повышенная прочность сверхтвердых плит достигается за счет добавки в массу полимеров. После прессования плиты медленно охлаждают до нормальной температуры и увлажняют до 6–10 %.

6 ОТХОДЫ СТРОИТЕЛЬСТВА

До недавнего времени основной и почти единственной задачей строительства было формирование искусственной среды, обеспечивающей условия для жизни и деятельности человека. Причем окружающая внешняя природная среда рассматривалась лишь с точки зрения необходимости защиты от ее негативных воздействий на вновь создаваемую внутреннюю искусственную среду. Обратный процесс влияния строительной деятельности человека на окружающую среду и искусственной среды на природную в полной мере стал предметом рассмотрения сравнительно недавно. Между тем строительство является одним из мощных антропогенных факторов воздействия на окружающую среду. По объему твердых отходов в виде разрабатываемых грунтов, а также образующихся отходов и остатков стройматериалов строительство занимает приоритетное место среди загрязнителей окружающей среды.

Антропогенное воздействие строительства, так и его продукции велико, разнообразно по своему характеру и происходит на всех этапах строительной деятельности – начиная добычей строительных материалов и заканчивая утилизацией строительных отходов от сноса зданий и сооружений.

6.1 Источники образования отходов строительства

С увеличением объемов строительных работ растет и потребность в строительных материалах. Строительство как отрасль народного хозяйства нуждается в большом количестве различного сырья, строительных материалах, энергетических, водных и других ресурсов, получение которых оказывает сильное воздействие на окружающую природную среду. Строительное производство потребляет большое количество камня, щебня, песка, глины, извести и других ископаемых сырьевых ресурсов, извлекаемых из недр. При открытой добыче разрушаются и уничтожаются почвенный и растительный покровы, изменяется водный режим, загрязняются воздух, вода и почва, уходят с территории животные и птицы, исключаются из сельскохозяйственного производства большие площади земли, используемые непосредственно под карьеры, подъездные пути к ним и под отвалы вскрышной породы.

Наравне с ростом строительства жилья растут и объемы строительных отходов, которые образуются при сносе ветхих промышленных и жилых зданий, а также при непосредственном производстве строительных материалов.

Отходы строительства и сноса (ОСС) образуются при сносе и реконструкции зданий и сооружений, при производстве строительных материалов, деталей и конструкций, ремонте жилья, инженерных сетей и сооружений. Значительный объем строительных отходов образуют также в производственной деятельности предприятий стройиндустрии, при реорганизации производственных зон, реконструкции производственных помещений и при капитальном и текущем ремонте дорог.

При сроке службы строений в среднем 70 лет (в жилищном строительстве 80–100 лет, в дорожном строительстве 50–60 лет) ежегодно сносят и разбирают около 1,5 % от их построенного количества.

Ежегодный снос порождает ежегодное строительство новых зданий и сооружений с отсрочкой их очередного сноса по времени на 70 лет. Снос физически и морально устаревших зданий и образующие при этом не утилизируемые ОСС загрязняют воздух, почву и воду, загромождают территории санкционированными и не санкционированными свалками. Каждому виду строительной деятельности свойственны последствия, негативно влияющие на окружающую среду, особенно – в части образования отходов.

6.2 Классификация строительных отходов

К отходам строительства и сноса относят отходы, которые образуются в ходе строительства, сноса, разборки, реконструкции, ремонта зданий, сооружений, инженерных коммуникаций и промышленных объектов. В федеральном классификационном каталоге отходов (РФ) присутствует 54 вида отходов строительства и сноса, представленные остатками сырья, материалов, изделий и продуктов. Так, при сносе, реконструкции и новом строительстве зданий и сооружений образуются: отходы бетона и железобетона; сколы асфальта; отходы керамзитобетона; отходы древесины; лом черных металлов; отходы рубероида; отходы битума (мастики); отходы линолеума (обрезь); использованную минеральную вату; асбестовый шифер; макулатуру (в т. ч. оргалит); стеклобой; использованный санитарно-технический фаянс; бой кирпича; отработанный цементно-известковый раствор; лакокрасочные отходы; шлаки, золу, асбест; бой керамической плитки; загрязненную бумажную тару, металлическую тару; грунт и другие ОСС. Преобладающими видами строительных отходов в городе являются грунт, асфальт, бетон и железобетон, каменные материалы, кирпич, древесина, картон, бумага.

Состав строительных отходов из большого перечня источников и предложен усредненный состав, принятый по паспортам опасных отходов, %: минеральная составляющая (бетон, кирпич, гипс и т. п.) – 74,5; древесина – 18,8; металл – 0,2; бумага – 0,4; другое – 6,4.

В различных источниках, в том числе нормативных, по-разному оценивают ООС по типам и качественному составу.

Наиболее полно, при оценке, ООС по их основе можно разделить на отходы на химической основе, на основе древесины, на минеральной основе, содержащие лом металлов.

К отходам на химической основе относятся битумные, дегтевые, дегтебитумные, битумополимерные, резинодегтевые, битумные безосновные материалы (изол) и материалы на основе картона (рубероид, пергамин, толь), стеклооснове (стеклорубероид), асбестовой бумаге (гидроизол); отходы линолеумов, полимерных плиток; отходы полимерных кровельных материалов; отходы пенопластов и поропластов (полистирольных, полиуретановых); пластмассовые трубы водоснабжения, канализации и электропроводки; поручни перил и лестничных маршей; отходы погонажных изделий на основе полимеров. К отходам на основе древесины относятся древесные материалы и конструкции. Отходы на минеральной основе: шламовые отходы камнеобработки; бой бортовых камней, брусчатки, булыжных камней и прочие отходы на основе естественного камня; отходы железобетона; сухие отходы штукатурных смесей; отходы материалов на гипсовой основе; отходы силикатных материалов (кирпич, ячеистые изделия); отходы материалов на основе извести (известково-песчаные, известково-шлаковые, известково-золевые материалы); стеклобой; отходы минеральной ваты; отходы перлитовых, вермикулитовых изделий. К отходам, содержащим лом металлов, относятся лом и отходы черных металлов в виде изделий, кусков; лом и отходы, содержащие несортированные цветные металлы в виде изделий, кусков.

6.3 Утилизация строительных отходов

Очистка городов от ОСС – неотъемлемая часть общей программы очистки населенных мест от промышленных и бытовых отходов. Основными требованиями к программе по обращению с ОСС являются экологическая безопасность, минимально допустимые затраты на такое обращение и максимально возможная в рыночной экономике прибыль от реализации вторичных строительных материалов.

Проблема утилизации строительных отходов остро стоит во всех цивилизованных странах. По данным Европейской ассоциации по сносу зданий (EDA), созданной в 1976 г., ежегодно на планете образуется около 2,5 млрд т строительных отходов, в том числе в Европе – 200 млн т.

Существуют два пути утилизации ОСС:

- переработка ОСС (рециклинг) с применением специальных технологий и специализированных технических средств;
- захоронение оставшейся не утилизированной части ОСС на специально отведенных полигонах и свалках.

Рециклинг должен быть экономически выгодным, а захоронение – очень дорогим, подконтрольным и дотационным. При захоронении экологически опасные и патогенные отходы нужно сохранять в изолированном от окру-

жающей среды виде, они должны быть доступны для последующего рециклинга ОСС, а образуемые при природном рециклинге газы и жидкости должны быть доступно удаляемыми и используемыми.

Иначе мы никогда не обеспечим экологические аспекты обращения с ОСС.

До недавнего времени единственным путем утилизации ОСС был второй из названных выше вариантов (захоронение). По сути, это откладывание решения проблемы на будущее, некий «подарок будущим поколениям». Такой способ утилизации создает большие экологические проблемы. В отдельных странах (Япония, Германия, Дания, Нидерланды, Люксембург и др.) уже практически нет территорий для организации свалок или захоронения бетонного лома. В то же время есть страны, которые используют привозной щебень из бетонного лома.

За рубежом проблему утилизации отходов пытаются решать системно на государственном уровне. В некоторых странах свалки ОСС запрещены вообще, а в Америке и Канаде свалки в принципе существуют, но их размер значительно ограничен тем, что стоимость такого захоронения отходов существенно превосходит стоимость их переработки.

Решить экологические и экономические проблемы, возникающие с образованием такого количества отходов, возможно только путем организации масштабной отрасли их переработки.

В передовых зарубежных странах доля переработки ОСС составляет около 50 % их общего объема за счет совершенствования технологий рециклинга и совершенствования законодательства. А такие страны, как Дания, Нидерланды, Швеция и ряд других, смогли достигнуть очень высокого уровня переработки ОСС – более 90 % таких отходов.

В России ежегодно образуется 15–17 млн т строительного мусора, более 60 % которого составляют кирпичные и железобетонные отходы.

Считается, что за счет законодательного стимулирования развития переработки ОСС и увеличения мощностей перерабатывающих предприятий доля вывозимых на свалки отходов неуклонно падает. Важную роль при этом играет экономический фактор. Стоимость приема ОСС на полигоны колеблется в существенных пределах, а расходы на транспортировку зависят от расстояния до полигона и использования своего или наемного автотранспорта. Цены приема на переработку строительного лома сейчас в среднем в два раза меньше, чем на захоронение, а стоимость вторичного щебня на строительном рынке втрое ниже аналогичного природного сырья.

Таким образом, возвращение части ОСС в строительное производство (рециклинг) имеет существенное значение как для экономики так и для экологии. Созданию рециклинговых комбинатов по переработке ОСС может существенно способствовать политическая воля. Основная задача рециклинга – снизить стоимость вторичных стройматериалов и решить экологические проблемы захоронения отходов.

Для каждого типа ОСС должна быть технология его переработки. Для разделения отходов на разные материалы используют разные виды сепарации, например, для извлечения металла – магнитная.

Переработка отходов выгодна для экономики, особенно в условиях кризиса.

Среди преимуществ рециклинга ОСС:

- снижение объемов отходов, подлежащих захоронению;
- сбережение природных сырьевых ресурсов;
- уменьшение потребности в транспортировке материалов от отдаленных сырьевых источников, а также в транспортировке ОСС на полигоны захоронения;
- снижение нагрузки на природную среду в результате уменьшения добычи исходных материалов и захоронения ОСС.

Среди причин, мешающих осуществлению рециклинга:

- отсутствие непрерывности процесса накопления перерабатываемых ОСС, что частично затрудняет рациональное использование промышленных установок переработки отходов;
- неоднородность ОСС, которые возникают при сумбурном (без разборки здания и сортировки ОСС) сносе в РФ, делающая зачастую рециклинг невозможным;
- отсутствие согласованных технических условий на поступающие на рециклинг ОСС;
- получение в результате рециклинга вторичных строительных материалов более низкого качества, чем первичные строительные ресурсы;
- отсутствие исследований на совместимость вторичных строительных материалов, получаемых в результате рециклинга, с окружающей средой.

Анализ показывает, что заметно растут объемы переработки бетонных и железобетонных ОСС. Первоначально повторно использовали незначительную часть разрушаемого бетона в качестве подстилающего слоя при прокладке железных и автомобильных дорог, устройстве площадок.

Затем по мере увеличения стоимости строительных материалов и дефицита площадей под захоронение ОСС вторичные заполнители из строительных отходов стали использовать наряду с первичными строительными материалами, а переработку ОСС теперь предусматривают в проектах реконструкции городов в большинстве стран.

В США ежегодно перерабатывают более 20 млн т бетонных отходов. При получении щебня из бетона расход топлива в 8 раз меньше, чем при его добыче в природных условиях, а себестоимость бетона на вторичном щебне снижается до 25 %. Американская спецификация стандартов для заполнителей бетона включает щебень из дробленого бетона. Большой опыт по использованию строительных отходов накоплен в Германии, где образуется до 38 млн т/год строительных отходов, что составляет около 50 % общего количества образуемых отходов.

Одноступенчатое и многоступенчатое дробление ОСС, а также сухую и мокрую выбраковку некондиционных компонентов осуществляет технологическое оборудование по переработке ОСС, которое разделяют на мобильное, сборно-разборное и стационарное.

В мировой практике известны два принципа организации переработки ОСС и некондиционной продукции предприятий строительной индустрии:

- на месте возникновения ОСС (на стройплощадке);
- на специальных комплексах.

Первый вариант не позволяет применять высокопроизводительное оборудование, обеспечивающее получение чистого и фракционированного продукта. Он требует особых мер экологической защиты близлежащих жилых домов, исключает возможность непрерывной работы дробильной установки. На многих объектах невозможно набрать целесообразный для переработки объем исходного материала, иногда нельзя выделить площадь под переработку и складирование полученного материала, на ряде объектов, особенно в центральных частях городов, вступают в действие санитарные нормы по шумовым воздействиям, пылевым характеристикам и другие.

Второй вариант предусматривает дополнительные транспортные расходы на доставку ОСС к месту переработки, которые пытаются компенсировать эффективной работой дробильно-сортировочного комплекса большой мощности, возможностью более глубокой переработки, отбором всех посторонних включений, возможностью организации постоянной логистики и маркетинга, относительно простым решением экологических проблем.

Стационарные комплексы могут принимать на переработку большие объемы ОСС, организуют ритмичную работу всего перерабатывающего комплекса, используют усложненные, более прогрессивные и экономически выгодные технологии. Стационарные площадки могут обеспечить максимально полное и комплексное обслуживание потребителя за счет оказания большего вида услуг, применения расширенного спектра оборудования, а также работы с несколькими видами ОСС.

За рубежом вместо мобильных и сборно-разборных дробильно-сортировочных установок широко применяют стационарные комплексы. Например, в Германии в каждой земле существуют крупные перерабатывающие комплексы. Только в Берлине (где снос построенных во времена ГДР панельных пятиэтажек даже не планировали) их более 20.

6.3.1 Утилизация бетонных и железобетонных отходов

Переработку бетонных и железобетонных отходов, полученных в результате сноса жилых домов и промышленных сооружений, осуществляют на стационарных, сборно-разборных и мобильных (передвижных и самоходных) дробильно-сортировочных установках.

Стационарные установки состоят из двух или трех частей, в первой части которых осуществляют приемку и первичную переработку поступаю-

щих отходов. Стационарные установки имеют приемный бункер, пластинчатый транспортер, пост предварительной сортировки. Сначала вручную отделяют древесные материалы, пластмассу и прочие включения и отходы помещают в дробилку магнитного сепаратора для извлечения металлических включений. Очищенные отходы поступают на грохот, где их разделяют на фракции, количество которых зависит от числа ярусов грохота. Не прошедшие грохот крупные обломки возвращают обратно в дробилку или же подают транспортером во вторую часть установки, которая по составу оборудования аналогична первой. Существует и третья часть установки, в которой из полученных строительных отходов (щебня, песка, цемента, золы и др.) с добавлением природного песка приготавливают товарный бетон, используемый для подстилающего слоя дорожных покрытий или стеновых конструкций малоэтажных зданий.

На стационарных установках работают колесные погрузчики и гидравлические экскаваторы, оборудованные гидромолотом и гидравлическими клещами. Такие установки размещают на пересечении крупных автомобильных, водных или железнодорожных транспортных коммуникаций вблизи крупных городов. К размещению этих установок предъявляют такие же требования, как и к предприятиям стройиндустрии. На стационарные установки поступают предварительно отсортированные по видам строительные отходы: бетон, железобетон, кирпич, камень, асфальт и др.

Сборно-разборные дробильно-сортировочные установки состоят из компактных блоков, установленных на фундаменте. Размер площадки, на которой размещают блоки, составляет 200 м², потребляемая мощность установки – до 100 кВт. Монтаж и демонтаж блоков занимает ~ 2–3 дня. Сборно-разборные дробильно-сортировочные установки размещают преимущественно в местах сосредоточенной массовой переработки строительных отходов, как правило, в промышленных зонах или местах сноса микрорайонов крупнопанельных домов. К ним предъявляют повышенные (относительно стационарных) экологические требования: минимальный уровень шума, замкнутый цикл отсоса воздуха с его очисткой от мусора и пыли, обратное водообеспечение.

Строительные отходы сортируют: крупные и громоздкие отходы (ригель, плита, панель и др.) откладывают для дальнейшего дробления гидромолотами или бетоноломателями, остальной материал подают в загрузочный бункер, откуда скребковым транспортером – в сортировочный барабан, где происходит разделение материала по фракциям.

В процессе разделения система воздухозабора отсасывает легкие фракции: дерево, бумагу, пластмассу и др. При подаче материала к следующему посту производят отделение металлических включений магнитным сепаратором, а также ручную сортировку (извлечение деревянных элементов, картона и других неминеральных отходов). Затем материал поступает в дробилку, где из крупных отходов получают щебень.

Мобильные (передвижные самоходные) дробильно-сортировочные установки выпускают на гусеничном и колесном ходу; они состоят из смонтированного на шасси силового агрегата (обычно дизель-электрического), приемного бункера, дробилки, магнитного сепаратора, поста ручной сортировки, системы транспортеров, сортировочного барабана и раздаточного транспортера.

Установку из транспортного положения переводят в рабочее состояние за 2–3 часа.

Мобильные установки отличаются пониженной мощностью и уровнем шума не более, чем у грузового автомобиля. Эти качества позволяют применять мобильные установки в условиях жилых кварталов, при сносе рассредоточенных объектов, при реконструкции ветхого жилого фонда, при реновации и т. п. Полученный после переработки мобильными установками вторичный строительный материал используют в основном при обратной засыпке котлованов, устройстве дорог и проездов. Крупность кусков и состав подаваемого в установку материала обычно постоянны, их можно контролировать разными методами.

Конструктивные параметры дробильной установки для железобетона проектируют с учетом того, что:

- невозможно точно контролировать форму и крупность подаваемого на переработку материала;

- ОСС содержат стальную арматуру.

Узлы таких дробильных установок для железобетона приходится делать «сверхтяжелыми» и «сверхразмерными» по сравнению с узлами обычных дробильных установок такой же производительности. Это необходимо для пропуска через установку стальной арматуры. Такая «сверхразмерность» необходима для обеспечения надежности функционирования узлов и секций первичного дробления перерабатывающей установки.

Поскольку стальную арматуру или сетку удаляют перед грохочением и вторичным дроблением, эти последующие секции установки могут иметь размеры, аналогичные обычным камнедробильным установкам. В результате коэффициент полезного действия установок первичного дробления значительно ниже, чем у обычных камнедробильных агрегатов.

Увеличение габаритов подаваемого на дробление некондиционного бетона дополнительно снижает КПД установки.

Чем крупнее установка первичного дробления, тем меньше подготовки требует подаваемый материал. Выбор типа установки по переработке строительных отходов определяет объем предназначенных для переработки ОСС, их количество, вид и необходимость непрерывности их вывоза с места строительного переустройства.

В зависимости от состава перерабатываемых материалов и требований к получаемой продукции применяют разные технологии. Технологические линии переработки ОСС комплектуют необходимым оборудованием:

- для одностадийного дробления, без разделения на фракции и сортировки ОСС;
- двухстадийного дробления без сортировки;
- одностадийного или двухстадийного дробления с сортировкой для получения одной или нескольких фракций продукции.

При одностадийной технологии используют щековую или роторную ударно-отражающую дробилку. Двухстадийная технология при вторичном дроблении использует роторные или конусные дробилки.

Наиболее перспективным (по критериям наименьших трудовых и финансовых затрат на снос зданий, а также наименьших сроков выполнения работ по сносу) считают механическое разрушение сносимых зданий с предварительной подготовкой ОСС к вывозу и первичному дроблению, а также последующий вывоз подготовленных строительных отходов на стационарные центры для их переработки. Несмотря на предварительную подготовку ОСС на месте их образования, размеры железобетонных ОСС часто гораздо больше размеров входного отверстия дробилки. Поэтому на пунктах переработки ОСС часть их подлежит дополнительному разрушению. ОСС должны быть максимально очищены от посторонних включений, очистку производят вручную на ленточном конвейере с увеличенной шириной ленты при скорости движения ленты около 0,2 м/с, которую считают безопасной для персонала.

Это позволяет исключить засорение конечной продукции рециклинга посторонними включениями.

Дробление – самый дорогой по стоимости процесс, так как необходимо заменять быстро изнашивающиеся детали. Кроме того, очень велик расход энергии на обеспечение операций процесса дробления. Поэтому первый принцип переработки строительных отходов – не дробить ничего лишнего. При дроблении однородных по размерам кусков ОСС получают наименьшее количество пыли, всегда нежелательной и невыгодной во всех отношениях: техническом, гигиеническом и экологическом. Отсюда второй принцип – раньше разделить фрагменты ОСС по крупности, а потом дробить.

Поэтому последовательность процессов переработки рассматриваемых видов ОСС выглядит следующим образом:

- подготовка отходов к первичному дроблению;
- первичное дробление;
- отделение металла;
- отсев мелкой фракции, удаление дерева и пластмассы;
- вторичное дробление;
- сортировка по фракциям.

6.4 Применение отходов промышленности строительных материалов

На предприятиях промышленности строительных материалов образуется большой объем отходов. Это отходы производства нерудных строительных материалов, добычи и переработки облицовочного камня, производства цемента, асбестоцементных изделий, бетона и бетонный лом, керамики, стекла и др. Комплексное использование сырья позволяет создать безотходную технологию. Потенциал горнодобывающих отраслей увеличивается на 25–30 %.

6.4.1 Отходы производства нерудных строительных материалов

При переработке горной массы на щебень образуется 18 % отсевов. Отсевы от переработки изверженных горных пород применяются в дорожном строительстве и после промывки в качестве мелкого заполнителя для бетона. Песок из отсевов относят к классу крупных и очень крупных, пустотность его составляет 40–50 %, имеет повышенную водопотребность. Это приводит к перерасходу цемента. Для снижения расхода цемента в бетонах песок из отсевов следует обогащать мелким природным песком, вводить химические добавки.

Непромытые отсевы дробления изверженных горных пород, содержащих тонкодисперсные частицы, применяют для приготовления асфальтобетонов, что позволяет уменьшить расход минерального порошка.

При переработке отходов карбонатных горных пород их отмывают от глинистых примесей и получают щебень и песок. Песок применяется в качестве укрупняющей добавки к мелким природным пескам. Пески, содержащие тонкодисперсные частицы фракции менее 0,071 мм, – для асфальтобетонов, что позволяет отказаться от минерального порошка.

Отходы дробления известняка и доломита перерабатывают в муку, которую используют в качестве минерального порошка при приготовлении асфальтобетонов, а также в сельском хозяйстве для раскисления почв.

Из цветных горных пород получают декоративные щебень и песок.

Отходы для материалов из легких горных пород известняков-ракушечников, туфов, пемз после переработки используют в качестве пористых заполнителей в легких бетонах. Щебень и песок имеют шероховатую и развитую поверхность, что повышает их сцепление с природным камнем. Заполнители из отходов камнепечения карбонатных горных пород вступают в химическое взаимодействие с цементом и повышают прочность бетона.

Отсевы дробления базальта могут служить алюмосиликатным железосодержащим компонентом цементной шихты. Введение 1–3 % базальта уменьшает температуру обжига клинкера на 25–50 °С. Получают цементы классов по прочности на сжатие 32,5 и 52,5, которые имеют повышенную сульфатостойкость и небольшое тепловыделение.

Отходы дробления малопрочных горных пород известняков прочностью до 20 МПа и гранитов до 60 МПа можно применять в дорожном строитель-

стве. Их обрабатывают портландцементом. Каменные материалы, содержащие аморфный кремнезем, можно обрабатывать известью. Такие дороги на 40–50 % дешевле щебеночных на щебне из изверженных горных пород.

При производстве облицовочного и пильного камня образуется большое количество отходов. Из них изготавливают мозаичные плиты для полов. Изготавливают блоки из отходов и портландцемента, которые затем распиливают на плиты. Отходы, образующиеся при добыче и переработке мрамора, используют для производства неокантованной плитки, мраморной муки, мраморной крошки. Из мелких обрезков после изготовления облицовочных плит получают клееные плиты, декоративную крошку. В качестве клея применяют эпоксидную смолу. Находят применение отходы камнепиления – шлам из шламоотстойников. Он служит пластификатором в строительных растворах, его можно применять для изготовления прессованных облицовочных плит. Он может заменять до 50 % цемента, причем прочность изделий повышается на 30–70 %. Из отходов камнепиления известняково-ракушечников получают известняковую муку, цементное сырье, флюсы для черной металлургии, заполнители для бетонов, стеновые блоки полной заводской готовности, перегородочные панели.

6.4.2 Пыль цементного производства

При производстве портландцемента образуется 8–10 % пыли. Частично она улавливается в пылеосаждочных камерах, основная же масса – электрофильтрами. Эта пыль содержит в своем составе повышенное количество свободного оксида кальция, щелочей и серного ангидрида. Часть пыли возвращается в печь вместе со шламом. На некоторых заводах вся уловленная пыль обжигается в отдельной вращающейся печи.

Пыль, уловленная электрофильтрами, может применяться для изготовления смешанных вяжущих. Ее активизируют добавками портландцементного клинкера, гипса, шлака.

Добавка пыли в сырьевую смесь при изготовлении силикатных изделий повышает их прочность и полностью или частично заменяет известь. Пыль для производства вяжущих типа известково-шлакового и известково-пуццоланового должна содержать в своем составе щелочных оксидов не более 2–4 %. Наиболее рационально ее применение в шлакощелочных вяжущих. Соотношение молотого гранулированного шлака и пыли применяется 3:1. Можно получить бетоны высокой прочности, водонепроницаемости и морозостойкости.

При изготовлении асфальтовых бетонов пыль можно использовать в качестве минерального наполнителя. Повышаются прочность, плотность и теплоустойчивость асфальтобетонов.

6.4.3 Асбестоцементные отходы

Отходы асбестоцементного производства: обрезки листов, стружки от обработки труб и муфт, брак асбестоцементных изделий – составляет до 3 % объема выпускаемой продукции. Их можно перерабатывать и использовать для изготовления строительных материалов.

Асбестоцементные отходы содержат в своем составе асбест и гидратированные цементные минералы. При обжиге их при температуре 600–700 °С асбест и гидратные соединения обезвоживаются и образуется ряд минералов, способных к гидравлическому твердению.

На основе можно получить вяжущее активностью 20–25 МПа. Вяжущее состоит из 40–50 % отходов, 50–60 % шлака и 5 % гипса.

Асбестоцементные отходы применяют для изготовления облицовочных плиток и плиток для полов.

Сухие отходы измельчают, смешивают с 15–20 % портландцемента и 10–12 % воды от всей массы, прессуют при давлении 1,5–2,5 МПа. При необходимости на основе белого или цветного портландцемента и асбестоцемента делают фактурный слой. Плитки имеют прочность при изгибе не менее 10 МПа.

Из смеси, состоящей из асбестоцементных отходов и фенолоформальдегидных или мочевиноформальдегидных смол, методом прессования получают плитки с прочностью на изгиб 5 МПа. Плитки прочностью при сжатии 12–16 МПа и на изгиб 6,5–7,0 МПа получают прессованием композиций из асбестоцементных отходов и жидкого растворимого стекла плотностью 1,10–1,15 г/см³ в количестве 26–30 %.

Из асбестоцементных отходов и вяжущих цемента, жидкого стекла, газообразователей или пенообразователей получают ячеистый бетон со средней плотностью 370–420 кг/м³ с пределом прочности при сжатии 1,9–2,4 МПа.

Легкие бетоны со средней плотностью от 600 до 1500 кг/м³ получают из мокрых измельченных асбестоцементных отходов, портландцемента и песка. Они имеют теплопроводность от 0,11 до 0,5 Вт/(м·°С) и прочность при сжатии от 1 до 11 МПа.

Из асбестоцементных отходов, извести и кремнеземистых компонентов получают теплоизоляционные автоклавные материалы.

Молотые отходы затвердевшего асбестоцемента можно применять в качестве кристаллизационных добавок для бетонов автоклавного твердения. При введении их в количестве 6–8 % прочность автоклавных материалов повышается на 22–40 %.

6.4.4 Стекольные отходы

Стекольные отходы экономически выгодно применять для изготовления строительных материалов. Себестоимость стекломассы из стекольного боя в 6 раз ниже, чем из кварцевого песка. Поэтому его выгодно утилизировать и возвращать для переработки.

Из отходов листового оконного и витринного стекла получают стеклянную эмалированную плитку. Его режут, покрывают эмалью из титановых руд с добавкой керамической краски и обжигают при температуре 750–800 °С, при которой краска плавится и спекается с поверхностью стекла.

Измельченный стеклобой смешивают с газообразователями, нагревают до температуры 800–900 °С и получают пеностекло – теплоизоляционный материал со средней плотностью 100–300 кг/м³, теплопроводностью 0,09–0,10 Вт/(м·°С) и пределом прочности 0,5–3,0 МПа. Его применяют для изоляции холодильников, тепловых сетей.

Из боя стекла получают гранулированное пеностекло. Стеклобой дробят до частиц размером 25 мм, затем мелют совместно с газообразователем и карбаксиметилцеллюлозой до удельной поверхности 5000 см²/г. Полученную смесь увлажняют до 10–12 % в смесителе и гранулируют в тарельчатом грануляторе. Затем на вибросите отделяют гранулы размером от 5 до 15 мм, а нестандартные возвращаются в мешалку.

Полученные гранулы подают для опудривания огнеупорным порошком в короткий вращающийся барабан, дальше – на сушку в конвейерную ленточную сушилку и затем для вспенивания и обжига во вращающуюся печь. Обжиг ведется в течение 7–9 минут при температуре 750–800 °С.

Гранулированное пеностекло имеет насыпную плотность 150–220 кг/м³, предел прочности при сдавливании в цилиндре 0,6–1,1 МПа, водопоглощение 5 %, теплопроводность 0,067–0,072 Вт/(м·°С).

Пеностекло применяют для изготовления теплоизоляционных плит на минеральных и органических вяжущих.

Стекольный бой можно смешивать с глинами. Выпускаются стеклокерамические плитки из шихты, состоящей из 10–70 % стекла, измельченного в шаровой мельнице, и глины. Плитки прессуют, сушат и обжигают при температуре 750–1000 °С. Морозостойкость плиток составляет более 50 циклов.

Молотое стекло можно использовать как присыпку по масляной краске, как компонент глазурей; битое стекло – в штукатурные растворы для декоративных штукатурок.

6.4.5 Отходы производства керамических изделий

В керамическом производстве образуются отходы в виде сушильного брака, боя кирпича и других керамических изделий.

Сушильный брак после измельчения добавляется в шихту для снижения влажности.

Бой глиняного кирпича дробят и получают щебень со средней плотностью 800–900 кг/м³. Он применяется для изготовления крупнопористых бетонов со средней плотностью до 1400 кг/м³.

При изготовлении керамических плиток и санитарно-строительных изделий молотый бой керамических изделий применяют в качестве отошающей добавки.

Отходы в виде недожога при изготовлении аглопорита возвращают на спекательные машины и повышают газопроницаемость шихты.

6.4.6 Отходы производства бетона, железобетона и бетонного лома

На заводах сборного железобетона образуются отходы в виде некондиционных, бракованных бетонных и железобетонных изделий.

Принцип действия установки основан на раздавливании бетона. Изделие, подлежащее дроблению, укладывается на приемное устройство, передвигается с шагом 400 мм и раздавливается рабочим органом, затем дробится в щековой дробилке до фракции 5–20 мм и при помощи конвейеров подается в бункер и затем потребителю или на склад. Обнаженная арматура транспортируется в зону складирования.

6.5 Применение отходов строительства и сноса

Если предусматривается использование ОСС в строительстве, то к ним предъявляются те же санитарные требования, что и для стройматериалов. Исследование ОСС, перемещаемых в ходе строительства, выполняется, чтобы исключить при последующем их свободном использовании в хозяйственной деятельности распространение материалов и изделий со сверхнормативным содержанием радионуклидов или токсических загрязнений. К загрязненным ОСС относят ОСС, в которых количество загрязняющих веществ находится на уровне или выше предельно допустимых количеств.

Комплекс мероприятий по оценке ОСС включает в себя на стадии проектной подготовки строительства:

- разработку Технологических регламентов процесса обращения с ОСС, в декларативной форме включающих в себя определение классов опасности ОСС для окружающей природной среды и здоровья человека;

- определение класса опасности расчетным и экспериментальным путями на основании данных, представленных отходопроизводителем в технологическом регламенте процесса обращения с отходами строительства и сноса.

- идентификацию и техническую паспортизацию (составление технических паспортов отходов) ОСС в соответствии с требованиями ГОСТ серии «Ресурсосбережение. Обращение с отходами» и их номенклатурой;

На стадии подготовки и/или проведения строительных работ выполняется санитарно-гигиеническое обследование конструкций и материалов, подлежащих переработке и дальнейшему использованию, включая:

- визуальное обследование объекта;
- составление программы обследования;
- радиационное и санитарно-химическое обследование сооружений и отходов строительства и реконструкции зданий;

- определение на основе результатов комплексного обследования категории ОСС по радиационным характеристикам и класса опасности по санитарно-химическим показателям;

- подготовку отчета по результатам исследований и представление его для получения санитарно-эпидемиологического заключения;

- рекомендации по внесению изменений и дополнений в технические паспорта ОСС (при необходимости);

- выдачу рекомендаций по дальнейшему использованию ОСС исходя из класса опасности.

Обобщение отечественного и зарубежного опыта повторного использования ОСС позволяет допустить возможные области их применения:

- крупной фракции из дробленного бетона для устройства щебеночных оснований под полы и фундаменты зданий, а также под асфальтобетонные покрытия дорог всех классов и в качестве крупного заполнителя для бетонов класса по прочности на сжатие до $C^{12}/_{15}$;

- мелкой фракции (до 5 мм) в качестве наполнителя при приготовлении асфальтобетона и мелкоштучных бетонных изделий (стеновые блоки, тротуарная плитка);

- древесины для изготовления перегородок, а также в ландшафтном дизайне;

- боя строительного кирпича после дробления и сортировки в качестве щебня фракции 5–40 мм для изготовления монолитного бетона; фракции 0–5 мм – в садово-парковом хозяйстве;

- дробленных гипсосодержащих материалов фракции 0–5 мм для изготовления мелкоштучных блоков (в т. ч. гипсоотделочных), гипсолитовых перегородок, для изготовления бетонов;

- отходов асбестоцемента после дробления в качестве наполнителя для тяжелых бетонов;

- отходов керамзитобетона после дробления в качестве заполнителя для легких бетонов;

- отходов линолеума после сортировки и измельчения в производстве строительных материалов и обуви из ПВХ;

- отходов санитарного фаянса и керамики после измельчения для изготовления разных видов облицовочных плиток.

Полученный после переработки ОСС вторичный щебень используют:

- при устройстве подстилающего слоя подъездных и малонапряженных дорог, фундаментов под складские, производственные помещения и небольшие механизмы, оснований или покрытий пешеходных дорожек, автостоянок, прогулочных аллей, откосов вдоль рек и каналов;

- приготовлении бетона для устройства покрытий пешеходных дорожек, внутренних площадок гаражей и сельских дорог;

- заводском производстве бетонных и железобетонных изделий прочностью до 30 МПа.

6.5.1 Отходы бетона и железобетона

Внимание к проблеме повторного использования бетона в строительном производстве усилилось в конце прошлого столетия ввиду:

- повышения дефицитности природных заполнителей;
- необходимости охраны окружающей среды;
- увеличения количества подвергаемых сносу старых, морально и физически изношенных зданий из железобетона.

В странах ЕЭС ежегодно подвергают разрушению ~ 50 млн т бетонных и железобетонных конструкций и сооружений, в США ~ 60 млн т, в Японии ~ 12 млн т. В Японии, Германии, Дании, Люксембурге и других странах практически нет территорий для свалок или захоронения бетонного лома. В то же время ряд стран работает на привозном щебне.

Выполненные в США исследования показали, что при получении щебня из бетона ОСС расход топлива в 8 раз меньше, чем при его добыче в природных условиях, а себестоимость бетона на вторичном щебне ниже на 25 %. Американские ученые подчеркивают высокую экономичность переработки бетона: стоимость тонны природного заполнителя – 3,3 дол. США, а тонны вторичного заполнителя – 1,67 дол. США.

Американская спецификация стандартов на заполнители бетона включает щебень из дробленого бетона на гидравлическом вяжущем. Япония и Нидерланды также ввели в действие стандарты на заполнители из дробленого бетона.

В ближайшее время применение рациональных технологических схем переработки отходов бетона и железобетона, использования более современного оборудования и улучшение качества заполнителя из дробленого бетона могут обеспечить его конкурентоспособность с природным щебнем.

Эксплуатационные свойства бетонов, полученных с применением дробленого бетона в качестве мелкого заполнителя (фракций менее 5 мм до 30 %), существенно ухудшаются. Эффективность применения дробленого бетона в качестве крупного заполнителя не вызывает сомнения.

Щебень из дробленого бетона содержит значительное количество растворной составляющей. Контактная зона между исходным зерном щебня и раствором (наименее прочное и наиболее пористое звено в бетоне) значительно снижает физико-механические показатели дробленого щебня (морозостойкость – с 200 до 15 циклов, дробимость – с 12 до 24 %). В то же время на вторичном щебне получают бетоны с прочностью до 200 кгс/см² и морозостойкостью выше 100 циклов.

Улучшить характеристики щебня из дробленого бетона позволяет его механическая или химическая активация (разрушение слабых зерен щебня или удаление остатков цементного камня). Механическая активация – измельчение при перемешивании бетонного щебня в смесительных установках или его обработка в шаровых мельницах с металлическими шарами.

Наиболее высоких показателей достигают в случае помола дробленого бетона со стальными шарами после предварительного низкотемпературного (600–800 °С) обжига. Существенно улучшить качества щебня можно избавлением от растворной составляющей, что позволяет добиться показателей (дробимость, водопоглощение, насыпная масса), близких к показателям исходного крупного заполнителя. Качество щебня (крупного заполнителя для тяжелого бетона) характеризуют следующие показатели: зерновой состав, форма зерен, прочность (дробимости), содержание посторонних примесей, плотность (истинная, средняя, насыпная), пористость, пустотность и водопоглощение. Специальных требований по морозостойкости к щебню, как правило, не предъявляют. Содержание в щебне посторонних примесей (известковой штукатурки, гипса, органических включений и т. п.) не должно превышать 1 % по массе.

6.5.2 Отходы асфальтобетона

Проблема утилизации отходов старого асфальтобетона актуальна в связи с увеличением дорожного строительства и темпов роста объемов транспортного движения. Получение заполнителей из старого асфальтобетона – один из наиболее эффективных известных путей рециклинга строительных материалов – используют для приготовления асфальтобетона или в качестве несущих слоев дорожных конструкций. Использование старого асфальтобетона в бетонных дорожных конструкциях позволяет улучшить эксплуатационную надежность бетонных конструкций без увеличения их стоимости. Например, в Германии в начале XXI века применили ~15 млн т асфальтогранулята, из них 12 млн т (т. е. 80 %) – для изготовления нового асфальтобетона. При том, что во всей Германии производство асфальтобетона несколько снизилось и составило менее 63 млн т, применение асфальтогранулята выросло на 19 %.

Проведенные исследования физико-механических свойств и долговечности вторичных продуктов переработки асфальтобетонов позволили определить область их использования в разных дорожных конструкциях для повышения качества и долговечности дорог при одновременном снижении их стоимости. Результаты испытаний щебня, полученного при дроблении дорожных и транспортных конструкций, свидетельствуют о возможности использования его частично вместо природного заполнителя для бетонов классов по прочности на сжатие до В15.

Совместное дробление асфальтобетона и цементбетона улучшает физико-механические показатели заполнителей, которые можно использовать частично вместо природных заполнителей в бетонах классов по прочности на сжатие до В22,5. Дробленный асфальтобетон в качестве крупного и мелкого заполнителей (частично – взамен природных заполнителей) пригоден для устройства оснований и подстилающих слоев дорожных конструкций.

Экономическую и техническую целесообразность переработки (регенерации) асфальтобетона обеспечивают широким применением добавок каменных материалов, битума и пластификаторов, улучшающих физико-механические свойства асфальтобетона.

Использование старого асфальтобетона вызвано высокой стоимостью минеральных материалов, битума и электроэнергии.

При ремонте дорог изношенный слой дорожной одежды удаляют фрезерованием. Продукты этого процесса могут вывозить на свалку, использовать на месте для получения нового основания и ремонта обочин дороги или регенерировать на асфальтобетонных заводах. Первый вариант не относится к числу экологически и экономически обоснованных. Второй вариант (использование материала старой одежды непосредственно на полотне дороги) предполагает:

- фрезерование изношенного покрытия на полную глубину;
- измельчение;
- добавку в полученную крошку (по необходимости) каменных материалов и вяжущих;
- повторное измельчение и перемешивание;
- укладку полученной смеси;
- уплотнение смеси катками.

Фрезерование проводят специальными машинами большой мощности и производительности, способными фрезеровать на глубину 300–600 мм, с ротором диаметром более метра. Такие машины выпускают ведущие зарубежные изготовители строительно-дорожной техники: Caterpillar (США), Sakai, Niigata и Komatsu (Япония), Wirtgen и Bomag (Германия), Bitelli (Италия). Машины Caterpillar, Bomag и Bitelli построены по одной схеме.

Приведенная технология получила название «холодный ресайклинг», а предназначенные для этой работы машины называют «ресайклерами». Основной рабочий орган ресайклеров – фреза с цилиндрическими резцами. Дополнительно ресайклеры оборудованы роторным смесителем, емкостью и системой для подачи и распределения эмульсии, укладчиком приготовленной смеси с трамбующим брусом и виброплитой.

Опыт применения данной технологии при устройстве новых покрытий обеспечивает удешевление ремонта дорог на 30 %. Тем не менее имеют место и отрицательные факты ее применения: дорожное полотно в некоторых случаях получается непрочным, срок его службы существенно сокращен. Способ оправдывает себя при строительстве дорог с малой интенсивностью движения, при ремонте тротуаров и обочин.

Для улучшения физико-механических свойств асфальтогранулята, получаемого в процессе дробления асфальтобетонного лома от разборки старых покрытий при реконструкции и всех видах ремонта дорог и улиц, сотрудниками были проведены исследования, в ходе которых получены следующие

результаты. Полученный при разборке покрытий дорог и тротуаров лом асфальтобетона в специальных дробильных установках доводят до нормированного размера зерна, позволяющего плотно заполнять пустоты между щебенкой. Это обеспечивает снижение энергоемкости уплотнения щебеночных оснований, повышение плотности и прочности устроенного слоя нового дорожного полотна.

По подготовленному подстилающему слою распределяют и предварительно уплотняют щебень, затем распределяют по щебню асфальтогранулят и планируют его автогрейдером. Вслед за этим кирковщиком производят рыхление асфальтогранулята и верхней части слоя щебня, что необходимо для перемешивания щебня и асфальтогранулята и заполнения асфальтогранулятом пустот в слое щебня. Затем снова производят планировку слоя и его окончательное уплотнение катками.

Применение асфальтогранулята позволяет максимально заполнить пустоты в щебне, а содержание некоторого количества битума приводит к тому, что при температуре укладки и уплотнения асфальтобетонного покрытия битум в асфальтогрануляте размягчается, «склеивая» зерна асфальтогранулята и щебня в единый конгломерат и обеспечивая их неподвижность.

Заполнение пустот в щебеночном слое асфальтогранулятом повышает плотность основания дорожных одежд, увеличивает прочность покрытия, а модуль упругости основания повышает с исходных 280–300 МПа до 320–340 МПа, т. е. в 1,1–1,2 раза, что увеличивает коэффициент надежности и долговечность дорожных одежд.

Третий вариант (регенерация материала старого покрытия на асфальтобетонных заводах, АБЗ). По сравнению со вторым, третий вариант имеет ряд преимуществ и позволяет:

- использовать весь снятый с дороги асфальтобетон;
- широко применять добавки каменных материалов, битума и пластификаторов при регенерации;
- получать готовую смесь заданного качества и укладывать ее на участках дорог с соответствующей интенсивностью движения;
- экономить энергию и материальные ресурсы (по опыту строительства в США стоимость ремонта уменьшается на 20–30 %).

Экономия энергии зависит:

- от количества добавляемого нового каменного материала и битума, а также дальности их транспортировки;
- способа удаления старого покрытия и дальности его транспортировки;
- методов дробления снятого асфальтобетонного покрытия;
- технологии регенерации;
- влажности регенерируемого асфальтобетона и каменных материалов.

Технология использования старого асфальтобетона для приготовления на заводах новых асфальтобетонных смесей включает:

- снятие с полотна дороги изношенного асфальтобетона;
- транспортировку материала на АБЗ;
- дробление асфальтобетона (снятого не фрезой);
- разогрев и перемешивание старого асфальтобетона в специальных установках с добавлением (или без добавления) новых минеральных материалов, битума и пластификатора.

Применение дробленого старого асфальтобетона значительно повышает производительность регенерационных установок и позволяет точнее выдерживать требуемую рецептуру смеси. Для регенерации асфальтобетона наряду со специальными используют также обычные асфальтосмесительные установки, дополненные оборудованием для хранения, транспортирования и дозирования старого асфальтобетона. Увеличение влажности асфальтобетона требует значительного увеличения температуры нагрева каменных материалов.

В специальных установках для регенерации асфальтобетона (производительность которых составляет от 100 до 500 т/ч) часто применяют сушильный барабан, обеспечивающий перемешивание загружаемых материалов.

За рубежом прослеживается устойчивая тенденция к расширению использования регенерации старого асфальтобетона в заводских условиях.

Использование старого асфальтобетона для приготовления асфальтобетонных смесей снижает расход минеральных материалов и битума, уменьшает потребление энергии, уменьшает общие расходы при строительстве и ремонте дорог на 20–30 %. Для регенерации асфальтобетона большое распространение за рубежом получили специальные асфальтосмесительные установки, в которых нагрев и перемешивание компонентов смеси производятся в сушильных барабанах с поточным движением материалов и газов и в сушильно-смесительных барабанах с принудительным перемешиванием смеси. Для переработки в регенерационных установках используют дробленый асфальтобетон с наибольшим размером кусков 20–40 мм. В качестве добавок к нему применяют песок и щебень в количестве 20–50 %, битум – 2–3,5 % и пластификатор (жидкий битум, ароматические масла) – 0,3–1 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Условные обозначения (маркировка) строительных материалов и конструкций для информационного использования на всех этапах жизненного цикла / Н. Г. Келасьев, Э. Н. Кодыш, Н. Н. Трекин [и др.] // Academia. Архитектура и строительство. – 2020. – № 3. – С. 124–130.

2 Перспективы применения тонкодисперсных, рециклированных продуктов переработки бетонов в качестве минеральных добавок для изготовления строительных растворов / З. У. Беппаев, Л. Х. Аствацатурова, С. А. Колодяжный [и др.] // Бетон и железобетон. – 2023. – № 1 (615). – С. 43–45.

3 Комплексные технологии утилизации отходов железнодорожного транспорта : учеб. пособие / Л. Б. Сватовская, Л. Л. Масленникова, Е. И. Макарова [и др.] ; под ред. Л. Б. Сватовской. – М. : Маршрут, 2007. – 190 с.

4 **Сватовская, Л. Б.** Фундаментальные основы свойств материалов на цементной матрице / Л. Б. Сватовская. – СПб. : ПГУПС, 2006. – 84 с.

5 **Боженев, П. И.** Комплексное использование минерального сырья и экология / П. И. Боженев. – М. : АСВ, 1994. – 264 с.

6 **Дворкин, Л. И.** Строительные материалы из отходов промышленности / Л. И. Дворкин, И. А. Пашков. – Киев : Вища шк., 1989. – 208 с.

7 Рекомендации по применению в бетонах золы, шлака и золошлаковой смеси тепловых электростанций: НИИЖБ. – М. : Стройиздат, 1986. – 80 с.

8 **Баженов, Ю. М.** Технология бетона / Ю. М. Баженов. – М. : АСВ, 2002. – 500 с.

9 **Тараканов, О. В.** Бетоны с модифицирующими добавками на основе вторичного сырья / О. В. Тараканов. – Пенза : Изд-во ПГУАС, 2005. – 564 с.

10 Эффективные сухие строительные смеси на основе местных материалов / В. С. Демьянова, В. И. Калашников, Н. М. Дубошина [и др.]. – М. : АСВ, 2001. – 209 с.

11 **Алехин, Ю. А.** Экономическая эффективность использования вторичных ресурсов в производстве строительных материалов / Ю. А. Алехин, А. Н. Люсов. – М. : Стройиздат, 1988. – 344 с.

12 **Колосков, В. Н.** Разборка жилых зданий и переработка их конструкций и материалов для повторного использования / В. Н. Колосков, П. П. Олейник, А. Ф. Тихонов. – М. : АСВ, 2004. – 200 с.

13 **Олейник, П. П.** Источники образования строительных отходов и концепция их переработки / П. П. Олейник, С. П. Олейник // Промышленное и гражданское строительство. – № 2. – 2005. – С. 36–38.

14 **Олейник, П. П.** Основные проблемы переработки строительных отходов / П. П. Олейник, С. П. Олейник // Жилищное строительство. – № 5. – 2005. – С. 24–26.

15 **Банникова, А. С.** Анализ развития индустрии рециклинга строительных материалов в Российской Федерации / А. С. Банникова // Эпоха науки. – 2018. – № 14. – С. 159–165.

16 **Смикалин, Н. С.** Утилизация и переработка строительного мусора / Н. С. Смикалин // Наука и образование сегодня. – 2019. – № 3. – С. 15–16.

17 **Башева, Т. С.** Анализ и оценка существующих методов обращения с отходами строительства и демонтажа зданий / Т. С. Башева, А. А. Шейх, М. П. Гаркушина // Инновация в строительстве. – 2017. – С. 37–43.

18 **Коробко, В. И.** Зарубежный опыт переработки отходов строительства и сноса / В. И. Коробко // Строительство. Экономика и управление. – 2019. – № 3. – С. 37–40.

19 **Широкий, Г. Т.** Строительное материаловедение : учеб. пособие для вузов / Г. Т. Широкий, П. И. Юхневский, М. Г. Бортницкая. – 2-е изд., испр. – Минск : Выш. шк., 2016. – 460 с.

20 **Киреева, Ю. И.** Строительное материаловедение для заочного обучения : учеб. пособие / Ю. И. Киреева, О. В. Лазаренко. – Минск : Новое знание, 2008. – 365 с.

Учебное издание

ВАСИЛЬЕВ Александр Анатольевич
ПАХОМОВА Лилия Ивановна
ЧУГУНОВА Анастасия Сергеевна

**ВТОРИЧНЫЕ РЕСУРСЫ
В СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛАХ**

Учебно-методическое пособие

Редактор *А. А. Павлюченкова*
Технический редактор *В. Н. Кучерова*

Подписано в печать 08.04.2026. Формат 60×84^{1/16}.
Бумага офсетная. Гарнитура Times. Печать на ризографе.
Усл. печ. л. 5,68. Уч.-изд. л. 6,15. Тираж 100 экз.
Зак. № 515. Изд. № 4.

Издатель и полиграфическое исполнение:
Белорусский государственный университет транспорта.
Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий

№ 1/361 от 13.06.2014.

№ 2/104 от 01.04.2014.

№ 3/1583 от 14.11.2017.

Ул. Кирова, 34, 246653, г. Гомель

