

Е.В. Калинина

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, Россия

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ШЛАМА КАРБОНАТА КАЛЬЦИЯ В КАЧЕСТВЕ ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ В ПРОИЗВОДСТВЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

В статье представлены результаты анализа научно-технической информации по вопросу использования шлама карбоната кальция в качестве техногенного сырья в производстве строительных материалов. Приведены составы строительных смесей и свойства полученных материалов, соответствующие установленным техническим требованиям.

Ключевые слова: *строительные материалы, шлам карбоната кальция, отходы производства соды, ресурсосбережение*

В проекте долгосрочной стратегии развития производства строительных материалов и конструкций [1] предполагается к 2020 г. увеличить производство:

- цемента с 51 до 194 млн т;
- стеновых материалов с 13 до 62 млрд шт.;
- нерудных материалов с 0,16 до 1,38 млрд м³.

Учитывая программу развития дорожного строительства страны, можно предположить, что потребности строительной индустрии в сырьевых ресурсах возрастут в 5–7 раз [2]. Потенциально прогнозируется развитие и других отраслей народного хозяйства, что приведет к увеличению объемов изъятия природных сырьевых ресурсов и увеличению загрязнения окружающей среды при выбросах в атмосферу, сбросах сточных вод и накоплении отходов. Места размещения производственных отходов являются потенциальными источниками негативного воздействия на окружающую среду. С другой стороны, отходы могут стать техногенным сырьем.

По прогнозу группы экспертов ООН, уже в 1-й половине XXI в. до 55 % потребностей в природном сырье будут удовлетворяться за счет производственных отходов. Использование в производстве строи-

тельных материалов 1 % отходов позволяет экономить 2 % инвестиций в сырьевой комплекс. Использование отходов производства в строительной отрасли позволит удовлетворить потребности в сырье до 50 % и до 30 % сократить затраты на производство строительных материалов. Это становится особенно актуальным в современных условиях роста стоимости строительных материалов: в себестоимости строительной продукции их стоимость увеличилась с 45 до 63 %. Ресурсо- и энергопотребление на единицу валового национального продукта в нашей стране в 2–3 раза выше, чем в странах Западной Европы и США, и в 5–6 раз выше, чем в Японии. Это обуславливает потенциальные возможности нашей страны в ресурсо- и энергосбережении.

Одним из способов выхода из сложившейся ситуации является увеличение объемов вовлечения отходов производства в строительную отрасль. Сырье из отходов в 2–4 раза дешевле, чем природное; расход топлива при использовании некоторых отходов в производстве строительных материалов снижается на 10–40 %, а удельные капиталовложения на 30–50 % [2].

Наиболее изученными являются варианты использования в строительной индустрии следующих видов отходов: золы, шлаки и золошлаковые смеси ТЭС (дорожное строительство, производство вяжущих, тяжелых и ячеистых бетонов, легких заполнителей, стеновых материалов), металлургические шлаки (производство портландцемента, легких бетонов), отходы угледобычи и углеобогащения (пористый заполнитель, кирпич, в строительстве дорог) [3]. Сложной для разрешения является проблема применения в строительной отрасли отходов химической отрасли ввиду их широкого спектра и разнообразных физико-химических и физико-механических свойств.

На территории Пермского края расположены крупные предприятия химической, нефтехимической и металлургической отраслей, формирующие значительную нагрузку на окружающую среду [4]. Одними из крупнотоннажных и не утилизируемых видов отходов являются отходы предприятия по производству кальцинированной соды. Отходы предприятия в виде шламов карбоната кальция образуются в результате отстаивания дистиллерной жидкости в шламонакопителях, или так называемых «белых морях». После отстаивания жидкая фаза дистиллерной жидкости сбрасывается в водный объект, а твердая фаза в виде шлама карбоната кальция накапливается в «белом море». Действующее производство постоянно нуждается в новых площадях для

размещения образующихся шламов. Решение этой задачи возможно путем увеличения емкости существующих шламонакопителей (наращивание дамб или организация дополнительных секций), строительства новых шламонакопителей или утилизации образующихся шламов.

Твердый остаток дистиллерной жидкости (шлам карбоната кальция) в сухом виде представляет собой светло-серую массу плотностью около 970 кг/м^3 , на 70–80 % состоящую из частиц размером 0,1–0,2 мм. Его состав зависит от качества используемых в содовом производстве сырьевых материалов, некоторых технологических и других факторов.

Для определения возможных направлений использования шлама карбоната кальция одного из предприятий по производству кальцинированной соды в строительной отрасли по результатам лабораторных исследований установлен его состав при влажности около 60 %: CaCO_3 50–65; MgCO_3 20–25; Ca(OH)_2 4–10; CaCl_2 5–10; $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$ 5–10; CaSO_4 3–9,5; SiO_2 0–4,9 [5]. Как видно из представленных данных, шлам представляет собой смесь карбонатов магния и кальция, а также сульфата кальция, что свидетельствует о высоком ресурсном потенциале отхода.

Анализ научно-технической и патентной информации позволил определить, что отходы содового производства (шлам карбоната кальция) могут быть использованы в строительной отрасли для производства и получения:

- вяжущего (в силикатном кирпиче, кладочном растворе, тощих бесцементных бетонах, ячеисто-бетонных изделиях, древесно-цементных материалах);
- минеральных заполнителей (в стеновых материалах, асфальто-бетонных смесях);
- комплексных добавок;
- материала для изоляции отходов на полигонах твердых бытовых отходов.

1. Получение известьсодержащего вяжущего

Шлам карбоната кальция включает ряд оксидов, представляющих собой части соединений силикатных систем, обладающих вяжущими свойствами, что указывает на принципиальную возможность получения вяжущих материалов на основе этих отходов содового производства. При этом недостаток в дистиллерном шламе кремнеземистого компонента требует его компенсации, например, кварцевым песком [6].

Вязущее для производства силикатного кирпича. В России были разработаны различные варианты технологии вяжущих материалов на основе дистиллерного шлама содовых производств. В соответствии с наиболее простым из них дистиллерный шлам влажность которого 25–30 %, экскаватором отбирают из шламонакопителя, подсушивают и затем измельчают с кварцевым песком (82,2–86,3 % SiO_2) в шаровой мельнице. Получаемый при этом продукт представляет собой бесклнкерный вяжущий материал автоклавного твердения с достаточно сложным химическим составом. Однако из-за низкой активности исходного дистиллерного шлама, содержание активных CaO и MgO в котором составляет 12–14 %, получаемые на основе такого вяжущего изделия обладают невысокой прочностью, примерно соответствующей маркам 200–230. Обеспечение стабильности прочностных характеристик, кроме того, осложнено непостоянством состава дистиллерного шлама, затрудняющим оптимизацию состава получаемого вяжущего материала. Наличие в составе отходов хлорида и сульфата кальция значительно повышает реакционную способность сырьевой смеси, позволяя вести обжиг вяжущего при 950–1000 °С, включение в технологию стадии обжига сырьевых материалов позволяет устранить перечисленные недостатки: при оптимальном режиме обжига получаемый продукт характеризуется содержанием активных CaO и $\text{MgO} \geq 40$ %, что обеспечивает возможность достижения прочности затвердевшего камня на его основе соответствующей марки вяжущего 500. Известково-белитовое вяжущее на основе отходов производства соды соответствующей марки позволяет использовать его для производства силикатного кирпича.

Стерлитамакским производственным объединением «Сода» было изготовлено вяжущее известково-белитового типа, на основе которого на опытном заводе ВНПО стеновых и вяжущих материалов был изготовлен силикатный кирпич. Технология производства силикатного кирпича с использованием вяжущего известково-белитового типа не отличается от общепринятой схемы получения кирпича на основе извести. Кирпич имел ровные грани и гладкую поверхность (размеры 120×250×65), масса кирпича в естественном состоянии составляет от 3,7 до 4,1 кг, плотность – в среднем 2000 кг/м³. Кладку опытных образцов производили на сложном растворе состава: цемент; известь; песок, цемент; известково-белитовое вяжущее; песок и известково-белитовое вяжущее; песок.

По результатам исследований, приведенных в табл. 1 [6], видно, что *кладочный раствор*, изготовленный с применением вяжущего известково-белитового типа набирает прочность к 14-дневному возрасту с закономерностью, как и цементно-известковый, а с добавлением цемента раствор к 14-дневному возрасту достигает почти 100 % прочности.

Таблица 1

**Прочность растворов на различных вяжущих
в различные сроки твердения**

Раствор	Относительная прочность раствора, процент в возрасте, сут.		
	7	14	28
Обычный цементно-известковый	65	80	100
Известково-белитовый	62	85	100
Цементно-известково-белитовый	78	95	100

Вяжущее на основе известково-белитового типа можно применять в строительных кладочных растворах с портландцементом и как самостоятельное вяжущее.

Прочность силикатного кирпича на основе известково-белитового вяжущего при испытаниях колебалась от 22,8 до 34,9 МПа, а в среднем равняется 27,8 МПа. Прочность кирпича при изгибе $R_{изг} = 6,92$ МПа. Установлено, что он удовлетворяет требованиям, предъявляемым к силикатному кирпичу выше марки 300. По морозостойкости кирпич, изготовленный на известково-белитовом вяжущем, соответствует марке 100.

При использовании вяжущего известково-белитового типа в качестве пластифицирующей добавки в кладке в растворах марок 25, 50, 100 достигается экономия цемента до 34 %, извести 100 %, в качестве вяжущего в растворах марок 10 и 25 – экономия цемента 100 % и экономия извести – 100 %.

Наиболее эффективно применение кирпича повышенной прочности (марок 200 и выше) для внутренних несущих стен, что позволяет возводить их шириной в один кирпич (25 см) и увеличить при этом материалоемкость до 50 % в сравнении с толщиной 51 см из кирпича марок 100. Целесообразно применение данного кирпича в стенах облегченной кладки, чем будет достигаться экономия кирпича в 1,5–2 раза в зависимости от толщины стены сплошной кладки [6].

Вяжущее для производства тощих бесцементных бетонов. Шлам дистиллерной жидкости производства соды в количестве 15–60 % ис-

пользуется в качестве вяжущего при производстве тощих бесцементных бетонов, состоящих из природных, техногенных грунтов и из промышленных отходов [7]. Компонентный состав строительных материалов позволяет повысить прочность полученных материалов.

Результаты определения механических свойств образцов показывают, что к 90 суткам прочность почти всех материалов при одноосном сжатии значительно превышает 4 МПа, т.е. соответствует первому классу (4–6 МПа) укрепленных грунтов. Предложение реакций гидратации вызывает дальнейший рост прочности, характерный для шлакогрунтовых материалов. Поэтому к годовичному сроку прочность почти всех материалов превышает максимальный уровень (6,0 МПа) требований российских стандартов к укрепленным грунтам. Поэтому они могут быть использованы в качестве оснований автомобильных и железных дорог, аэродромов, полигонов твердых бытовых отходов и промышленных отходов, ядер плотин, материалов тампонажа карстовых и других пустот, буронабивных свай различных фундаментов и т.п. сооружений вместо песка, щебня, песчано-гравийных смесей и др.

Вяжущее для производства ячеисто-бетонных изделий. На основе получаемого вяжущего в нашей стране в промышленных масштабах было организовано производство блоков ячеистого бетона по литевой технологии [8].

Технологический процесс предусматривает выпуск ячеистобетонных блоков размером 150×300×600 мм, массой не более 19 кг, плотностью 700 кг/см³. Морозостойкость изделий не ниже 35 Мрз, предел прочности при сжатии не ниже 3,5 МПа. Блоки предназначены для кладки наружных, внутренних стен и перегородок жилых, общественных, сельскохозяйственных и вспомогательных производственных зданий и сооружений.

Твердые отходы содового производства использовали в качестве вяжущего при изготовлении ячеисто-бетонных изделий (стеновые панели, блоки гражданских и промышленных зданий) с целью повышение прочности и морозоустойчивости, снижение себестоимости [9]. Исследование прочности и морозоустойчивости легкого ячеистого бетона на основе шламов содового производства позволило установить улучшение указанных характеристик по сравнению с известными составами для изготовления ячеисто-бетонных изделий.

Вяжущее для древесно-цементных материалов. Дистиллерную жидкость предложено использовать в качестве вяжущего для древесно-

цементной композиции состава, мас. %: портландцемент 26,2–87,3; дистиллерная жидкость 0,4–7,3; водная суспензия твердых отходов содового производства 5,4–73,4; вода. Древесный наполнитель может быть введен в тот же смеситель [10]. Прочность цементно-стружечных плит, получаемых с использованием указанного вяжущего, при изгибе – до 18,2 МПа. Предложенное вяжущее использовали в сырьевой смеси, из которой изготавливали образцы арболита, фибrolита и цементно-стружечных плит. По результатам испытаний определено, что предложенное вяжущее обладает прочностью на 30,2–36,4 % выше, чем у используемых ранее составов. Это объясняется комплексным воздействием на экстрактивные вещества наполнителя совокупности ингредиентов, присутствующих в отходах содового производства.

2. Производство минеральных наполнителей

Производство минеральных наполнителей стеновых материалов. Отходы содового производства используются при производстве стеновых материалов в качестве минерального наполнителя с целью повышения прочности изделий [11]. Поставленная цель достигается тем, что сырьевую смесь готовят совместным помолом силикат-глыбы (10–20 мас. %) и шламов содового производства (80–90 %) при скорости соударения частиц 100–500 м/с. Затем смесь увлажняют, формуют изделия и выдерживают вначале при температуре 10–20 °С в течение 5–6 ч, затем при температуре 150–180 °С в течение 1–1,5 ч, что обеспечивает повышение прочности готовых изделий и утилизацию отходов производства.

Физико-химической основой процесса является интенсификация химического взаимодействия оксидов кальция и магния, находящихся в отходах содового производства, с гидросиликатом натрия силикат-глыбы с последующим образованием гидросиликатов кальция и магния, что приводит к образованию прочного и водостойкого камня. Механоактивирование высокоскоростным помолом приводит к возникновению новообразований, образующих плотный и прочный камень при низкой температуре термообработки.

Получение наполнителя для асфальтобетонных смесей. Для шлама карбоната кальция одного из предприятий по производству соды исследовали физико-механические свойства (табл. 2) и определили, что они соответствуют требованиям, предъявляемым ГОСТ Р 52129–2003 для

неактивированного порошка и шлам может быть использован в качестве замены минерального порошка в составе асфальтобетонных смесей [12]. Экспериментальные исследования показали возможность использования шлама содового производства в качестве замены минерального порошка в составе асфальтобетонной смеси. По результатам проведенных экспериментальных исследований определено, что прочностные характеристики смесей с различным содержанием компонентов техногенного происхождения (шлам карбоната кальция, щебень из металлургических шлаков и песок из отсева дробления Чусовского металлургического завода) соответствуют норме, что позволяет использовать их в качестве компонентов асфальтобетонной смеси.

Один из рациональных путей решения проблемы использования твердых отходов содовой отрасли при приготовлении асфальтобетонных смесей – это добавление к ним минеральных компонентов в количестве, которое позволило бы снизить содержание водорастворимых соединений в заполнителе до допустимых пределов. Такими компонентами могут быть кварцевый песок, известняк, золы ТЭЦ и другие, не содержащие водорастворимых соединений и щелочей.

В лабораторных и в производственных условиях разработан ряд марок порошкообразного заполнителя: Пс-ОП, Пс-ОК и Пс-ОЗ, различающихся содержанием компонентов. Причем количество твердого остатка составляет не менее 50 %, а минерального компонента – от 25 до 50 %. Порошок каждой марки должен отвечать следующим требованиям: содержание водорастворимых солей до 6 %; оксидов щелочных металлов до 2 %; хлоридов до 5 %. Показатель битумоемкости 65 г/см^3 , влажность не более 1 %. По гранулометрическому составу зерна порошка не должны быть крупнее 1,25 мм [13]. Порошкообразный заполнитель для асфальтобетонных и битумно-минеральных смесей, полученный из твердого остатка шлама, образующегося в большом количестве при производстве кальцинированной соды, в смеси с минеральными компонентами – кварцевым песком, карбонатными породами, золами ТЭЦ обеспечивает получение асфальтобетонов, по основным свойствам соответствующих стандарту с лучшими показателями трещиностойкости, чем у асфальтобетонов на обычных заполнителях.

Комплексные добавки используются в производстве бетонов, растворов, керамических и других строительных материалов. Дистиллерную жидкость производства кальцинированной соды применяют как

добавку, содержащую CaCl_2 и NaCl , к бетонам при зимнем бетонировании, изготовлении местных вяжущих совместным мокрым помолом с гранулированным доменным шлаком и т. д. Высокие концентрации ионов Ca^{2+} и Na^+ в дистиллерной жидкости обеспечивают активизацию шлака [3].

Добавки позволяют интенсифицировать производственные процессы и целенаправленно изменять свойства строительных материалов. Они вводятся в небольшом количестве (доза некоторых ПАВ составляет всего лишь несколько сотых или тысячных долей процента массы основного материала). Все технологические проявления добавок ПАВ обусловлены адсорбционным механизмом их действия и в наибольшей степени характерны для коллоидно-дисперсных систем. Добавки электролитов изменяют растворимость материалов, химически с ними взаимодействуют, служат центрами кристаллизации и т. д.

Нитрит-нитрат хлорида кальция (ННХК) применяют как комплексную добавку в производстве бетонных и железобетонных изделий, которая, позволяя существенно ускорить твердение бетона, вместе с тем защищает стальную арматуру от коррозии. ННХК образуется после смешивания упаренной дистиллерной жидкости, содержащей более 30 % CaCl_2 , с нитратными щелоками производства азотной кислоты. Добавка ННХК является в том числе эффективной противоморозной добавкой. Испытания показали, что добавка ННХК может существенно ускорять твердение асбестоцементных изделий при нанесении растворов с концентрацией 27–40 % на асбестоцементный слой в количестве 2 % массы цемента. В этом случае «разборочная» прочность асбестоцементных листов возрастает в 1,8–3,5 раза, а стандартные показатели продукции достигаются уже через 3–5 сут. твердения. При этом можно сократить время пребывания листов в конвейере предварительного твердения [14].

Получение тампонажного раствора. Тампонажный раствор с содержанием в нем отхода производства кальцинированной соды характеризуется снижением плотности, повышением прочности цементного камня, снижением водоотделения [15]. Для приготовления тампонажного раствора использовали солевую композицию следующего состава, мас. %: CaCl_2 61,6; CaSO_4 0,1; $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 0,18; NaCl 3,4. Заявляемый тампонажный раствор с использованием в качестве солевого компонента отходов производства соды в стадии дистилляции, дополнительно со-

держашего микросферы нерасклассифицированные, имеет существенно низкую плотность и превосходит известный тампонажный раствор по прочности камня. При этом раствор имеет низкое водоотделение. Сроки схватывания раствора находятся в пределах требований ГОСТ 1581–96. Тампонажный раствор на основе цемента может быть использован при цементировании скважин.

3. Материал для изоляции отходов на полигонах твердых бытовых отходов

Основным условием возможности приема промышленных отходов на полигоны твердых бытовых отходов – соблюдение санитарно-гигиенических требований по охране атмосферного воздуха, почвы, грунтовых и поверхностных вод. Основным санитарным условием является требование непревышения токсичности смеси промышленных отходов с бытовыми по сравнению с токсичностью бытовых отходов по данным анализа водной вытяжки. Изоляционные материалы по своим свойствам должны соответствовать требованиям, предъявляемым грунтам: иметь влажность не более 85 %, не быть взрывоопасными, самовоспламеняющимися, самовозгорающимися.

Проведенные исследования класса опасности отхода содового производства показали возможность его применения в качестве изолирующего материала на полигонах ТБО. С целью снижения его класса опасности с 4-го до 5-го и для более технологически приемлемой укладки изолирующего материала может быть рекомендовано его предварительное механическое обезвоживание [16].

Анализ научно-технической и патентной информации позволил определить, что шламы карбоната кальция и дистиллерную жидкость производства соды можно применять в различных отраслях строительства, учитывая соответствующие физико-химические, физико-механические и токсикологические свойства отхода содового производства. Отходы содового производства преимущественно используются в качестве вяжущего, минерального заполнителя и комплексных добавок, при этом в одном изделии могут быть использованы разные свойства отходов.

Анализ требований технической документации к характеристикам строительных материалов и результатов экспериментальных исследований материалов, полученных с использованием отходов произ-

водства кальцинированной соды, показал, что определяемые характеристики соответствуют установленным требованиям (табл. 2). Это означает, что применение в составе строительных материалов отходов производства соды не ухудшает, а в некоторых случаях даже улучшает технические характеристики строительных материалов.

Таблица 2

**Физико-механические свойства строительных материалов
с применением отходов производства кальцинированной соды**

Строительный материал (Нормативный документ)	Показатель	Требования	Результаты исследований
Силикатный кирпич на основе известково-белитового вяжущего (ГОСТ 379–95)	Масса (кг)	Не более 4,3	3,7–4,1
	Плотность (кг/м ³)	Не менее 1500	2000
	Прочность (МПа)	25–30	27,8
	Морозостойкость(Мрз)	Не менее 25	100
Ячеистый бетон на основе вяжущего (ГОСТ 21520–89)	Плотность (кг/м ³)	700	700
	Прочность при сжатии (МПа)	Не менее 2,5	Не ниже 3,5
	Морозостойкость (Мрз)	Не менее 25 (для блоков наружных стен)	Не ниже 35
Асфальтобетон – минеральный порошок (ГОСТ 9128–84)	Прочность (МПа) (при 50 °С)	Не менее 1,1	1,4
	Водонасыщение (%)	От 1,5 до 4	4,32
	Набухание образцов из смеси порошка с битумом (%)	2,5	1,05
	Пористость (%)	Не более 45	40
	Водостойкость	Не менее 0,85	0,92
Тампонажный раствор (ГОСТ 1581–96)	Плотность, кг/м ³	1350до 1650	1400
	Водоотделение, %	Не более 8,7	2,2
	Сроки схватывания раствора: начало (ч) конец (ч)	Не ранее 2 Не позднее 10	5 8
	Предел прочности при изгибе, МПа (через 2 суток)	Не менее 2,7	8,9
Тощие бесцементные бетоны на основе вяжущего (ГОСТ 30491–97)	Прочность при одноосном сжатии, МПа (к 1 году)	4–6	Более 6

Окончание табл. 2

Строительный материал (Нормативный документ)	Показатель	Требования	Результаты исследований
Комплексная добавка (ННХК) в производстве бетонных и железобетонных изделий (ГОСТ 30340–95)	«Разборочная» прочность, МПа	19	57
Древесно-цементные материалы на основе вяжущего: Цементно-стружечные плиты (ГОСТ 26816–86), Фибролит (ГОСТ 8928–81)	Прочность при изгибе, МПа	Не менее 9 Не менее 0,6	до 18,2 до 1

Использование шлама карбоната кальция в качестве техногенного сырья в производстве строительных материалов соответствует современным принципам ресурсосбережения и устойчивого развития, при этом одновременно решаются несколько задач: экономия природных ресурсов, снижение стоимости строительных изделий за счет снижения себестоимость компонентов, утилизация техногенных отходов и улучшение качества окружающей среды на урбанизированных территориях.

Учитывая инновационный путь развития страны, повышение объемов использования отходов в производстве строительных материалов необходимо основывать на научных исследованиях. Замена исходного природного сырья техногенными отходами не должна приводить к ухудшению эксплуатационных и экологических характеристик строительных изделий.

Список литературы

1. Коляда С.В. Перспектива развития производства строительных материалов в России до 2020 г. // Повышение эффективности производства и применения гипсовых материалов и изделий: материалы IV Всерос. семинара с междунар. участием. – М.: Алвиан, 2008. – С. 7–15.
2. Рахимов Р.З., Магдеев У.Х., Ярмаковский В.Н. Экология, научные достижения и инновации в производстве строительных материалов на основе и с применением техногенного сырья // Строительные материалы. – 2009. – № 11. – С. 8–11.
3. Дворкин Л.И., Дворкин О.Л. Строительные минеральные вяжущие материалы: учеб.-практ. пособие. – М.: Инфра-Инженерия, 2011. – 541 с.

4. Состояние и охрана окружающей среды в Пермском крае в 2010 г. [Электронный ресурс]. – URL: <http://permecology.ru/reports/2010.php> (дата обращения 29.10.2011).

5. Экологический аудит процессов образования и размещения шлама содового производства ОАО «Березниковский содовый завод». Определение класса опасности шлама содового производства: отчет о НИР / Перм. гос. техн. ун-т. – Пермь, 2010. – 80 с.

6. Ломова Л.М. Силикатный кирпич на основе вяжущего известково-белитового типа // Строительные материалы. – 1989. – №1. – С. 12–14.

7. Пат. 2114239 Российская Федерация. Композиция для устройства оснований автомобильных дорог и наземных сооружений / В.А. Мымрин; Ф.Е. Волков; В.И. Осипов. – № 96120892/03; заявл. 22.10.1996; опубл. 27.06.1998. – 8 с.

8. Шатов А.А. Газобетонные изделия на известьсодержащем вяжущем на основе твердых отходов содовой промышленности // Строительные материалы. – 1991. – № 5. – С. 9–10.

9. Пат. 2114088 Российская Федерация. Сырьевая смесь для изготовления легкого ячеистого бетона / Шатов А.А.; Титов В.М.; Воронин А.В.; Сергеев В.Н.; Фисенко Л.К.; Гареев А.Т.; Бадертдинов Р.Н. – № 95121564/03; заявл. 19.12.1995; опубл. 27.06.1998. – 3 с.

10. Пат. 2035422 Российская Федерация. Вяжущее для древесно-цементных материалов / А.С. Щербаков, В.С. Подчуфаров, В.И. Кучерявый, Л.В. Гольцева, С.В. Подчуфаров. – № 93005457/33; заявл. 01.02.1993; опубл. 20.05.1995. – 3 с.

11. Пат. 2012548 Российская Федерация. Способ получения строительных изделий / С.И. Федоркин, Н.Н. Фальковский. – № 5009022/33; заявл. 17.09.1991; опубл. 15.05.1994. – 6 с

12. Пугин К.Г., Калинина Е.В., Халитов А.Р. Ресурсосберегающие технологии строительства асфальтобетонных дорожных покрытий с использованием отходов производства // Урбанистика. – 2011. – №2. – С. 60–69.

13. Шатов А.А. Применение отходов содовой промышленности в изготовлении асфальтобетонных и битумно-минеральных смесей // Строительные материалы. – 1991. – № 7. – С. 23–25.

14. Строительные материалы из отходов. Утилизация растворов и шламов [Электронный ресурс]. – URL: <http://bibliotekar.ru/spravochnik-110-stroitelnye> (дата обращения 29.10.2011).

15. Пат. 2136845 Российская Федерация. Тампонажный раствор / Н.Х. Каримов; Ф.А. Агзамов; Х.И. Акчурин; Ф.А. Долгих; В.И. Шкаретный; Х.В. Газизов; И.Н. Каримов. – № 97122217/03; заявл. 23.12.1997; опубл. 10.09.1999. – 6 с.

16. Вайсман Я.И., Калинина Е.В., Петров В.Ю. Использование шлама содового производства в качестве изолирующего материала на полигонах ТБО // Экология и промышленность России. – 2011. – № 5. – С. 4–7.

Получено 28.02.2012