



УДК 577.13:543.424.7

**Н.С. Ступень**

канд. техн. наук, доц., доц. каф. химии

Брестского государственного университета имени А.С. Пушкина

e-mail: chem@brsu.brest.by

## **КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАГНЕЗИАЛЬНЫЕ ВЯЖУЩИЕ НА ОСНОВЕ КРЕМНЕЗЕМСОДЕРЖАЩИХ ТВЕРДЫХ ОТХОДОВ**

*Представлены экспериментальные данные по утилизации стеклобоя и микрокремнезема в качестве комплексной активной мелкодисперсной добавки в магнезиальный цемент на каустическом доломите. Получены результаты по оптимальному содержанию высокодисперсной добавки стеклобоя (15 %) и микрокремнезема (10 %) для получения водостойкой композиции магнезиального цемента с коэффициентом размягчения 0,46.*

### **Введение**

Одной из актуальных проблем, связанных с ухудшением качества окружающей природной среды, является нерациональное, экологически опасное и неорганизованное размещение отходов. В настоящее время производство отходов во всем мире возрастает и опережает их переработку, обезвреживание и складирование на полигонах и свалках. Дальнейшее накопление отходов чревато серьезными негативными последствиями как для населения, так и для окружающей среды. Поэтому во всех развитых странах вопросам по сокращению, размещению, хранению, захоронению и переработке отходов производства и потребления уделяется повышенное внимание [1].

Проблема накопления твердых отходов производства и потребления является одной из главных экологических проблем Республики Беларусь. Ежегодно на территории страны образуется около 33–34 млн т производственных отходов, в том числе токсичных – около 240 млн т, а также свыше 3 млн т твердых коммунальных отходов. Всего в стране образуется свыше 800 видов отходов с широким спектром морфологических и химических свойств [2]. В связи с этим разрабатываются технологические схемы утилизации, переработки твердых отходов.

Среди регионов Республики Беларусь наибольший объем образования отходов отмечается в Минской области (в среднем по годам 72,2 % от общего объема), что связано с высокой концентрацией производства в данной области. Далее по величине образования отходов следует Могилевская (7,2 %), Гомельская (6,6 %), Гродненская (4,6 %) области и город Минск (4,2 %). Меньше всего образуется отходов в Брестской (3,6 %) и Витебской (1,6 %) областях [3]. Если рассматривать описываемый показатель на душу населения, то можно сделать вывод о том, что образование отходов на душу населения в Минской области в 23 раза выше среднего показателя по республике. Превышение данного показателя над средним республиканским уровнем отмечается также в Гомельской области (в 3,6 раза). В Гродненской области образование отходов на душу населения составляет 96 % от среднего по республике значения, Витебской области – 60 %, г. Минска – 54 %, Брестской – 24 %, Могилевской области – 13 %. По использованию отходов лидирующее место занимает Минская область (в среднем по годам 31,0 %), за ней следуют Могилевская (22,9 %), Гомельская (15,0 %), Гродненская (12,2 %), Брестская (10,5 %) области. Ниже данный показатель по городу Минску (5,1 %) и Витебской области (3,3 %) [3].



Твердые отходы можно разделить на две группы – отходы промышленных производств (техногенные) и бытовые.

Техногенные отходы образуются на предприятиях металлургической, химической, деревообрабатывающей, энергетической, горнодобывающей, строительных материалов и других отраслей промышленности [4].

Среди множества видов отходов предприятий промышленного значения можно выделить следующие.

1. Доменные шлаки (лидер по масштабам использования). Шлак используется для производства портландцемента, позволяя значительно увеличить его выпуск. Он не только улучшает строительно-технические свойства материала, но и помогает снизить потребление энергетических ресурсов. Относительно новым строительным материалом на основе доменных шлаков являются шлакоситаллиты. Такой материал обладает отличными показателями прочности, а получают его методом каталитической кристаллизации шлакового стекла [5; 6].

2. Отходы сжигания твердых видов топлива – золошлаковая смесь, зола сухого удаления. Это также важные сырьевые ресурсы для выпуска разнообразных строительных материалов. Их применяют в производстве ячеистых и вяжущих бетонов, дорожном строительстве, выпуске стеновых материалов.

3. Отходы химических производств: фосфогипс, фосфорные шлаки. Их сфера применения – выпуск стеновой керамики, изготовление кирпича.

4. Зола – несгорающий остаток с зернами мельче 0,16 мм, образующийся из минеральных примесей топлива при полном его сгорании и осажденный из дымовых газов золоулавливающими устройствами. В зависимости от вида топлива зола подразделяется на антрацитовую, каменноугольную, бурогольную, сланцевую, торфяную и др. [6].

5. Осадки бытовых или промышленных сточных вод, которые содержат, как правило, много органических веществ и значительные количества тяжелых металлов.

6. Неорганические отходы. Наибольшее число исследований посвящено использованию пыли и шлаков.

7. Органические отходы: сельскохозяйственной, целлюлозно-бумажной и деревообрабатывающей промышленности. Используются главным образом в качестве поробразователей и для экономии энергии при обжиге.

Однако широкое применение техногенных отходов сдерживается определенной нестабильностью и неоднородностью многих побочных продуктов промышленности, что может привести к снижению качества строительной продукции. На изменчивость свойств таких отходов оказывают влияние не только условия их образования, но также химико-минералогический состав, условия и длительность хранения в отвалах [4].

Одним из наиболее эффективных направлений является использование промышленных отходов в качестве компонентов жаростойких материалов.

Промышленность строительных материалов является экологическим резервом за счет эффективности утилизации отходов производства и жизнедеятельности человека. Объем утилизируемых отходов в строительной промышленности составляет 10–15 % от их ежегодного образуемого количества [4].

Пыли и шламы с высоким содержанием диоксида кремния (ферросилиция и ферросиликохрома) находят применение в производстве жидкого стекла. Значительное количество пылей и шламов ферроплавильного производства может быть использовано также для получения вяжущих материалов с различными свойствами.



Алюмосиликатное огнеупорное техногенное сырье представлено большой группой каолин- и глиноземсодержащих материалов: вскрышные породы и отходы углеобогащения (каолинит + уголь), пылеунос ТЭС и вращающихся печей для обжига глинозема и шамота, шламовые отходы электрокорунда абразивного производства, высокоглиноземистые алюмотермические шлаки, травильные алюминийсодержащие растворы предприятий цветной металлургии и синтеза органических соединений (фосфаты, алкогляты алюминия и другие), суммарный годовой прирост которых составляет более 600 млн т [4].

Химический и минерально-фазовый состав, строение и свойства золошлаковых материалов (ЗШМ) зависят от состава минеральной части топлива, его теплотворной способности, режима сжигания, способа их улавливания и удаления, места отбора из отвалов. Химический состав ЗШМ от сжигания углей представляет в основном  $\text{SiO}_2$  и  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Кроме того, в состав оксидов входят также  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{SO}_3$  и др [5].

Шлаки по сравнению с золами содержат меньше органических остатков и аморфизированного глинистого вещества, но больше стеклофазы (до 95 %). Обусловлено это тем, что шлаки большее время находятся в высокотемпературной зоне топки. Кристаллическая фаза в них представлена кварцем, муллитом, магнетитом и т.д.

Перспективна технология получения легких теплоизоляционных изделий (кирпич, блоки, плиты) на основе легкой фракции зол (микросфер) ТЭС. Утилизация зол ТЭС и ГРЭС проводится в очень малых объемах (около 1 % от всех золошлаковых отвалов). Их, в основном, используют как строительный материал в качестве добавки к цементам при производстве бетонов и растворов различного назначения. В последние годы золу стали более интенсивно применять для производства строительного кирпича и кислотоупорного порошка [6].

Весьма перспективна технология производства строительного кирпича из зол ТЭС способом горячего прессования [5].

Многочисленные исследования позволили установить возможность использования отходов ферросплавного производства в качестве гидравлических добавок в вяжущие вещества. Микрокремнезем (микрокремний, микрокремнезем, кремниевая пыль) – побочный продукт производства кремниевых и феррокремниевых сплавов, представляющих собой высокодисперсную пыль кремнезема, улавливаемую фильтрами из отходящих газов. Он образуется при восстановлении высокочистого кварца с углем. Так как микрокремнезем является отходом производства, то его физико-химические свойства, в частности дисперсность и содержание активной формы  $\text{SiO}_2$ , во многом определяется конкретными условиями получения сплавов.

По мере увеличения содержания кремния в сплаве увеличивается содержание  $\text{SiO}_2$  в кремниевой пыли, но химический состав микрокремнезема для конкретного производства остается постоянным. Микрокремнезем, содержащий не менее 85 %  $\text{SiO}_2$ , относится к пуццолановым добавкам с высокой активностью. Микрокремнезем в странах СНГ доступен и использование его перспективно в больших количествах. При введении микрокремнезема значительно улучшаются свойства портландцемента. Использование микрокремнезема в сочетании с водоредуцирующей добавкой повышает прочность, водонепроницаемость, сульфатостойкость и другие свойства цементного клинкера. Повышение прочности цементного камня с добавкой микрокремнезема обусловлено увеличением степени гидратации цемента как за счет создания центров кристаллизации для  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , так и за счет взаимодействия активного кремнезема с гидроксид-



дом кальция с образованием труднорастворимого низкоосновного мелкокристаллического гидросиликата. Снижение водопроницаемости цементного камня при введении микрокремнезема является результатом уменьшения числа крупных пор. Благодаря этому проницаемость цементного камня уменьшается и устойчивость его к действию агрессивных сред возрастает [5; 7].

Шлаки ферросилиция и силикохрома после измельчения применяют как мелкий пористый наполнитель бетона, а также в качестве сырья для получения микронаполнителя и добавки в строительные растворы [5].

Феррохромовый шлак в значительном количестве можно применять для получения различных специальных покрытий (для разметок асфальтобетонных дорог, в качестве красителя при производстве коврово-мозаичных плиток) взамен дефицитных хромсодержащих пигментов [6].

Использование отходов промышленных предприятий для получения разнообразных строительных материалов имеет значительный экономический и экологический эффект. С экологической точки зрения наиболее трудно утилизируемым твердым отходом считается стекло. Оно не подвергается разрушениям под воздействием воды, атмосферы, солнечной радиации, мороза. Кроме того, стекло – это коррозионностойкий материал, который не разрушается под воздействием большинства сильных и слабых органических, минеральных кислот, солей, а также грибков и бактерий. Стекло способно сохраняться без особых разрушений десятки и даже сотни лет. Одним из способов утилизации твердых отходов является метод восстановления ресурсов, т.е. сбора, сортировки, подготовки отходов различных видов для последующей рециркуляции. Образующийся во время производства брак или бой стекла в большинстве случаев используется этими же заводами повторно. Такое стекло имеет стабильный (в рамках данной технологии) химический состав и находит применение в процессе плавки шихты. Несортированный бой различных видов стекол (оконного, тарного, оптического) имеет довольно широкий диапазон химического состава, поэтому такой стеклобой, в огромных количествах образующийся в отвалах и на свалках, до сих пор не находит должного применения.

В настоящее время разработаны составы и технологии для получения различных видов строительных материалов на основе природных и техногенных стекол. Создаваемые материалы с заданными регулируемыми свойствами можно использовать в разных областях: в промышленном и гражданском строительстве, в атомной промышленности (бетоны радиационной защиты, негорючие теплоизоляционные покрытия), в химической. Энергосберегающая технология изготовления материалов на основе стеклобоя проста, не требует специального оборудования, позволяет организовать производство на свободных площадях действующих предприятий стройиндустрии без существенных капиталовложений.

После сортировки, дробления, помола и отсеивания на фракции стекло можно считать полностью подготовленным для получения строительных материалов. Фракции стеклобоя более 5 мм используются в бетонах в качестве крупного заполнителя, мелкие фракции (менее 5 мм) – в качестве мелкого заполнителя (песка), а тонкомолотый порошок – как связующее. Так как стеклобой при затворении водой не проявляет вяжущих свойств, то чтобы началась реакция гидратации, используют активатор в виде соединения щелочного металла. В щелочной среде стеклобой гидратируется с образованием кремниевых кислот, которые при достижении определенных значений кислотности сре-



ды начинают превращаться в гель. В итоге получается плотный, прочный и долговечный силикатный конгломерат – стеклобетон [6].

Цель работы – исследовать влияние комплексной микродисперсной кремнеземсодержащей добавки, состоящей из микрокремнезема и стеклобоя, на водостойкость магнезиального вяжущего на основе каустического доломита.

#### Методика и объекты исследования

В экспериментальных исследованиях использованы физико-химические методы, определение показателей пористости образцов по кинетике водопоглощения.

Для исследований использовали полуобжиговый доломит месторождения Руба (Витебская область, Республика Беларусь), раствор бишофита ( $MgCl_2 \cdot 6 H_2O$ ) с массовой долей  $MgCl_2$  15 %, стеклобой бытовых отходов различных фракций, микрокремнезем пылевидной фракции. Стеклобой также содержит аморфную форму  $SiO_2$ .

В экспериментальных исследованиях использовали измельченный стеклобой различных фракций: 4–5 мм, 2–3 мм,  $\approx 10^{-3}$  мм (тонкодисперсная фракция).

Для оценки влияния добавки измельченного стеклобоя в магнезиальное вяжущее на основе каустического доломита приготавливали композиционные смеси с содержанием стеклобоя от 0 до 30 % по массе. Исследование свойств композиционных вяжущих проводили на образцах-кубиках  $2 \times 2 \times 2$  см, изготовленных из теста нормальной густоты литьевым способом.

#### Результаты и их обсуждение

Магнезиальные цементы на каустическом магнезите и доломите имеют ряд отрицательных качеств при схватывании и структурообразовании, а также низкую водостойкость. Выявлена техническая возможность применения в качестве заполнителей на каустическом доломите промышленных отходов (древесная мука, золошлаковые смеси, бумажные и пластиковые отходы, отходы переработки автомобильных шин).

Экспериментально определено, что при твердении доломитового цемента с добавкой дисперсного  $SiO_2$  (силика – отход ферросплавного производства) образуются гидросиликаты магния типа серпентина ( $3MgO \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$ ) и сепиолита ( $8MgO \cdot 12SiO_2 \cdot nH_2O$ ). Затвердевший модифицированный цемент на основе доломита обладает повышенной прочностью и водостойкостью при содержании  $SiO_2$  10–20 % [8].

Зависимость коэффициента размягчения ( $K_p$ ) и водопоглощения ( $W$ ) от содержания стеклобоя разных фракций в образцах представлены в таблицах 1–3.

Таблица 1. – Зависимость коэффициента размягчения и водопоглощения от содержания стеклобоя (размер частиц 4–5 мм)

№ п/п	Содержание стеклобоя, %	Фракция стеклобоя, мм	Коэффициент размягчения ( $K_p$ )	Водопоглощение по массе ( $W$ ), %
1	0	–	0,85	15,5
2	5	4–5	0,84	15,5
3	10	4–5	0,84	15,6
4	15	4–5	0,82	15,3
5	20	4–5	0,79	14,5
6	25	4–5	0,78	13,6



Таблица 2. – Зависимость коэффициента размягчения и водопоглощения от содержания стеклобоя (размер частиц 2–3 мм)

№ п/п	Содержание стеклобоя, %	Фракция стеклобоя, мм	Коэффициент размягчения (Кр)	Водопоглощение по массе (W), %
1	0	–	0,85	15,5
2	5	2–3	0,81	15,2
3	10	2–3	0,81	15,0
4	15	2–3	0,79	14,3
5	20	2–3	0,76	14,2
6	25	2–3	0,73	13,5

Таблица 3. – Зависимость коэффициента размягчения и водопоглощения от содержания стеклобоя (размер частиц  $10^{-3}$  мм)

№ п/п	Содержание стеклобоя, %	Фракция стеклобоя, мм	Коэффициент размягчения (Кр)	Водопоглощение по массе (W), %
1	0	$\approx 10^{-3}$	0,85	15,5
2	5	$\approx 10^{-3}$	0,81	15,2
3	10	$\approx 10^{-3}$	0,76	13,8
4	15	$\approx 10^{-3}$	0,68	12,1
5	20	$\approx 10^{-3}$	0,63	10,5
6	25	$\approx 10^{-3}$	0,63	10,4
7	30	$\approx 10^{-3}$	0,71	11,3

Полученные данные показывают, что стеклобой, измельченный до размера частиц от 0,5 до 0,2 мм, существенного влияния на водостойкость образцов из магнезиального вяжущего не оказывает (таблицы 1 и 2). Стеклобой тонкодисперсной фракции с размером частиц  $\approx 10^{-3}$  мм оказывает существенное влияние на водостойкость исследуемых образцов. Уменьшение коэффициента размягчения и водопоглощения особенно заметно при содержании стеклобоя 20 % по массе.

Дальнейшее увеличение содержания стеклобоя до 25 % не изменяет значения исследуемых величин, а при содержании добавки 30 % наблюдается снижение водостойкости магнезиального композиционного вяжущего.

Повышение водостойкости магнезиального цемента на каустическом доломите при модификации его стеклобоем объясняется двумя факторами: 1) уменьшением количества пор и изменением структуры поровой системы в образцах и 2) сложными физико-химическими взаимодействиями в ходе твердения.

Установлено, что образцы, содержащие тонкодисперсный стеклобой, имеют истинную плотность тем меньше, чем больше в них добавки. Это объясняется, по нашему мнению, меньшей истинной плотностью стеклобоя по сравнению с плотностью оксида магния с одной стороны и меньшей плотностью гидроксидов или оксохлоридов магния и кальция с другой. Достигается более плотная упаковка зерен оксида магния и кальция и стеклобоя высокой дисперсности. Установлено, что с увеличением содержания стеклобоя до 20–25 % общая пористость затвердевшего камня уменьшается с 44 % (контрольные образцы) до 28,35 % (в 1,55 раза) [9].

На основе полученных данных сделали вывод о возможности модифицирования каустического доломита комплексной добавкой, содержащей микрокремнезем (отход ферросплавного производства) и стеклобой. Полученные экспериментальные данные представлены в таблицах 4–6.



Таблица 4. – Зависимость коэффициента размягчения и водопоглощения от содержания стеклобоя и микрокремнезема (размер частиц 4–5 мм)

№ п/п	Содержание стеклобоя, %	Содержание микрокремнезема, %	Коэффициент размягчения (Кр)	Водопоглощение по массе (W), %
1	0	0	0,87	19,9
1	0	25	0,70	14,0
2	5	20	0,79	14,5
3	10	15	0,62	12,1
4	15	10	0,65	12,7
5	20	5	0,75	13,5
6	25	0	0,78	13,6

Таблица 5. – Зависимость коэффициента размягчения и водопоглощения от содержания стеклобоя и микрокремнезема (размер частиц 2–3 мм)

№ п/п	Содержание стеклобоя, %	Содержание микрокремнезема, %	Коэффициент размягчения (Кр)	Водопоглощение по массе (W), %
1	0	0	0,87	19,9
1	0	25	0,73	13,9
1	5	20	0,71	13,2
3	10	15	0,60	12,0
4	15	10	0,62	12,3
4	20	5	0,72	13,0
6	25	0	0,73	13,5

Таблица 6. – Зависимость коэффициента размягчения и водопоглощения от содержания стеклобоя (размер частиц  $10^{-3}$  мм)

№ п/п	Содержание стеклобоя, %	Содержание микрокремнезема, %	Коэффициент размягчения (Кр)	Водопоглощение по массе (W), %
1	0	0	0,87	19,9
1	0	25	0,58	8,8
1	5	20	0,59	8,8
3	10	15	0,46	7,4
4	15	10	0,56	8,3
5	20	5	0,63	10,5
6	25	0	0,63	10,4

Порошок стекла при смешивании с водой не обеспечивает вяжущих характеристик. В щелочной среде магнезиального вяжущего образуются кремниевые кислоты, которые постепенно трансформируются в гель, который заполняет открытые поры в структуре цементного клинкера. В результате химического взаимодействия гелеобразного  $\text{SiO}_2$  с оксидами кальция и магния образуются на ранних стадиях субмикроструктурные и гелевидные гидросиликаты магния и кальция (данные петрографического анализа). Гелевидные зерна  $\text{SiO}_2$  могут быть дополнительными центрами кристаллизации оксохлоридов и гидросиликатов магния и кальция, которые и обеспечивают прочность и водостойкость стекломagneзиальных композиций. Установлено, что изменение прочности и водостойкости образцов из стекломagneзиальных композиций растянуто во времени и завершается примерно после шести месяцев твердения [9].

Анализ экспериментальных данных показал, что использование комплексной добавки микрокремнезема и стеклобоя достаточно эффективно. Следует отметить сниже-



ние коэффициента размягчения и водопоглощения композиционного вяжущего в сравнении с микрокремнеземом и стеклобоем по отдельности. Особенно эффективна комплексная добавка с содержанием 15 % микрокремнезема и 10 % стеклобоя с размером частиц  $10^{-3}$  мм.

Присутствие аморфного кремнезема способствует увеличению скорости гидратации оксида магния. Скорость образования гидросиликатов при комнатной температуре в значительной степени зависит от дисперсности  $\text{SiO}_2$ . Установлено, что если кварцевые частицы имеют размеры меньше 20–30 мк, то они довольно быстро взаимодействуют с гидроксидом магния, образуя гидросиликаты. Это, в частности, обусловлено тем, что скорость образования гидросиликатов при комнатной температуре увеличивается с повышением концентрации силановых групп ( $-\text{Si}-\text{OH}$ ), которая, в свою очередь, связана с дисперсностью кварцевого порошка. При помоле кварца происходит частичное разрушение связи  $-\text{Si}-\text{O}-\text{Si}-$  с образованием связи  $-\text{O}-\text{Si}-$ , которая с влагой воздуха легко образует на поверхности зерен кварца силановые связи  $-\text{Si}-\text{OH}$ .

Гидросиликаты магния образуются первоначально в виде гелевидных пленок, которые значительно устойчивее пленок  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ . Эти выводы были получены путем измерения электропроводности жидкой фазы.

### Заключение

1. Установлена возможность использования стеклобоя в виде тонкодисперсной добавки в комплексе с микрокремнеземом в магнезиальный цемент на каустическом доломите.
2. Введение в магнезиальный цемент комплексной добавки является эффективным способом повышения его водостойкости.
3. Разработаны составы водостойких магнезиальных композиций с содержанием 15–10 % микрокремнезема и 10–15 % стеклобоя.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гнедов, А. Н. Отходы производства. Обращение, учет, платежи в бюджет за размещение / А. Н. Гнедов. – Минск : Дикта, 2014. – 256 с.
2. Национальная стратегия по обращению с твердыми коммунальными отходами и вторичными материальными ресурсами в Республике Беларусь на период до 2035 года [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.government.by/upload/docs/filea1a9a20a06fc7fe5.PDF>. – Дата доступа: 25.09.2018.
3. Совместная система экологической информации. Образование отходов [Электронный ресурс] // Нац. стат. ком. Респ. Беларусь. – Режим доступа : <http://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/otrasli-statistiki/okruzhayuschaya-sreda/sovместnaya-sistema-ekologicheskoi-informatsii2/i-othody/i-1-obrazovanie-othodov/>. – Дата доступа: 13.12.2017.
4. Отходы производства и потребления. Классификация и виды [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://instr.deal.by/a31974-othody-proizvodstva-potrebleniya.html>. – Дата доступа: 25.09.2018.
5. Козубская, Т. Г. Использование техногенных отходов в производстве строительных материалов / Т. Г. Козубская // Строит. материалы. – 2002. – № 2. – С. 10.





6. Фахратов, М. Эффективная технология использования промышленных отходов в производстве бетона и железобетона / М. Фахратов // Строит. материалы. – 2003. – № 12. – С. 48–49.

7. Ступень, Н. С. Добавки в бетонные композиции: экологические и химические аспекты / Н. С. Ступень // Прыроднае асяроддзе Палесся: асаблівасці і перспектывы развіцця : зб. навук. прац / Палес. аграр.-экал. ін-т НАН Беларусі ; рэдкал.: М. В. Міхальчук (гал. рэд.) [і інш.]. – Брэст : Альтернатива, 2016. – Вып. 8. – С. 29–31.

8. Ступень, Н. С. Композиционные вяжущие на основе белорусских доломитов / Н. С. Ступень // Тез. докл. IV Междунар. науч. конф. «Прыроднае асяроддзе Палесся: асаблівасці і перспектывы развіцця». – Брэст : Альтернатива, 2008. – С. 205.

9. Ступень, Н. С. Стекломагнезиальные композиции: экологические аспекты / Н. С. Ступень // Прыроднае асяроддзе Палесся: асаблівасці і перспектывы развіцця : зб. навук. прац / Палес. аграр.-экал. ін-т НАН Беларусі ; рэдкал.: М. В. Міхальчук (гал. рэд.) [і інш.]. – Брэст : Альтернатива, 2018. – Вып. 11. – С. 98–100.

Рукапіс паступіў у рэдакцыю 20.09.2018

***Stupen N.S. Composite Magnesia Binders on the Basis of Silica Containing Solid Waste***

*The article presents experimental data on utilization of cullet and microsilica as a complex active fine additive in magnesium cement on caustic dolomite. The results on the optimal content of highly dispersed addition of cullet (15 %) and microsilica (10 %) to obtain a water-resistant composition of magnesium cement with a softening coefficient of 0,46.*