

**ОБРАЩЕНИЕ С ЗОЛОШЛАКАМИ****3.5. Направления применения золошлаков энергетических углей****3.5.1. Производство строительных материалов****3.5.1.1. Российские стандарты по использованию золошлаков теплоэнергетики****в производстве строительных материалов**

*Ф.Л. Капустин, В.М. Уфимцев, УГТУ–УПИ им. Б.Н.Ельцина, г. Екатеринбург, Россия*

**АННОТАЦИЯ**

Рассмотрены основные стандарты, регламентирующие требования к составу и свойствам золы-унос, шлака и золошлаковой смеси от сжигания твердого топлива на тепловых электростанциях и использованию в производстве строительных материалов и строительстве автомобильных дорог. Предлагается внести в стандарты некоторые уточнения по составу золошлаков, расширяющие направления и повышающие эффективность их применения в строительстве.

**ВВЕДЕНИЕ**

При сжигании каменных и бурых углей, антрацита, горючих сланцев и торфа образуются золы и шлаки, являющиеся продуктами высокотемпературной обработки их минеральной части. Практически на всех тепловых электростанциях России топливо сжигают в пылевидном состоянии при температуре в котле от 1300 до 1700 °С. В процессе сжигания твердого топлива и в зависимости от способа улавливания и удаления образуются следующие попутные продукты:

- зола-унос – тонкодисперсный материал (размер частиц от 3...5 до 100...150 мкм), образующийся из минеральной части пылевидного топлива, улавливаемый специальными аппаратами из дымовых газов ТЭС;
- шлак – агрегированные и сплавленные частицы золы размером от 0,15 до 40 мм;
- золошлаковая смесь – смесь золы-унос и шлака, образовавшаяся при совместном их удалении в отвал. При сжигании топлива в топках с твердым шлакоудалением образуется 10...20 % шлака, в топках с жидким шлакоудалением – 20...40 %, в топках с кипящим слоем – шлак не образуется, но частицы золы имеют размер до 10 мм.

Золошлаковые материалы (ЗШМ) ввиду большого разнообразия твердого топлива, различных условий его сжигания, а также разных способов их улавливания и удаления, различаются химическим и минералогическим составом, физическими свойствами, температурой плавления, радиоактивностью и другими характеристиками. При оценке возможности использования ЗШМ в строительстве и производстве строительных материалов основными характеристиками их состава и свойств являются химический состав, содержание горючих и свободного оксида кальция, удельная поверхность, температура плавления. К дополнительным характеристикам золы и шлака относятся влажность, зерновой состав, насыпная плотность, содержание стекловидных и оплавленных частиц золы, вязкость при высоких температурах. Кроме того, для оценки минералогического состава золошлаков

рекомендуется использовать рентгеноструктурный и дифференциально-термический анализы.

Химический состав ЗШМ во многом определяет направления их использования в производстве строительных материалов и в строительстве. Химический состав золы-унос от сжигания каменных и бурых углей изменяется в следующих пределах, мас. %: 21...64 SiO<sub>2</sub>, 4...39 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 2...28 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 1...46 CaO, 0,2...6 MgO, 0,1...9 SO<sub>3</sub>. Содержание остаточного топлива в золе-унос колеблется от 0,5 до 22 %, в шлаке – не превышает 1 %.

В соответствии с РД 34.09.603–88 ЗШМ по химическому составу подразделяются на кислые (мо-дуль кислотности  $M > 1$ ) и основные ( $M \leq 1$ ); по содержанию горючих – на золошлаки с низким, средним и высоким содержанием горючих, соответственно, потери массы при прокаливании не более 5 %, от 5 до 10 % и более 10 %; по дисперсности – на золы низкодисперсные, среднедисперсные и высокодисперсные, соответственно, удельная поверхность менее 150 м<sup>2</sup>/кг, от 150 до 300 м<sup>2</sup>/кг и более 300 м<sup>2</sup>/кг; по температуре плавкости – на золошлаки легкоплавкие, средней плавкости и тугоплавкие, соответственно, температура плавления менее 1250, от 1250 до 1450 и выше 1450 °С [1].

Физико-химические свойства зол-унос для углей разных марок и месторождений должны удовлетворять требованиям ОСТ 34-70-542-2001 [2]. По виду сжигаемого угля шлак ТЭС подразделяется на каменноугольный и бурогольный, по средней плотности – на плотный (плотность зерен более 2000 кг/м<sup>3</sup>), образующийся в топках котлов с жидким шлакоудалением, и пористый (плотность зерен до 2000 кг/м<sup>3</sup>), образующийся в топках с твердым шлакоудалением [3].

Зола-унос и золошлаковые смеси отвалов ТЭС могут применяться при изготовлении различных строительных материалов: цементов, силикатного и глиняного кирпича, бетонных камней, пористых заполнителей для бетонов, асфальтобетона и др. Топливный шлак может быть использован при производстве тяжелого и легкого бетонов, шлакоситаллов. Применение ЗШМ в производстве строительных материалов и изделий включено в целый ряд действующих нормативных документов: ГОСТ 379–95, ГОСТ 530–2007, ГОСТ 6133–84, ГОСТ 9128–97, ГОСТ 9757–90, ГОСТ 10178–85, ГОСТ 16557–78, ГОСТ 17608–91, ГОСТ 20910–90, ГОСТ 22266–94, ГОСТ 23558–94, ГОСТ 25485–89, ГОСТ 26644–85, ГОСТ 28013–98, ГОСТ 30491–97, ГОСТ 31108–2003 и др.

В России действуют стандарты, определяющие требования к золе-унос, шлаку и золошлаковой смеси теплоэнергетики для использования в различных секторах

экономики [2–10]. Пригодность золы и шлака в качестве основного сырья при производстве строительных материалов и в бетонах различного назначения в качестве заполнителя или взамен части вяжущего материала определяется, прежде всего, отсутствием или ограниченным содержанием в них вредных компонентов, ухудшающих физико-механические характеристики строительных материалов и бетонов, снижающих их эксплуатационно-технические свойства или затрудняющих технологические процессы производства и ограничивающих область применения.

## 1. ПРОИЗВОДСТВО ЦЕМЕНТА

В России ЗШМ наиболее часто применяются на цементных заводах в качестве алюмосиликатного компонента сырьевой смеси портландцементного клинкера и активной минеральной добавки при его помоле, на предприятиях по производству ячеистого бетона и силикатного кирпича – при получении золоизвестковых вяжущих. В соответствии с ГОСТ 10178–85 зола-унос может вводиться в состав портландцемента в количестве до 20 %, шлакопортландцемента – не более 10 % [11], а в состав пуццоланового портландцемента – до 40 % от массы вяжущего. Портландцемент с добавкой золы ТЭС отличается от обычного портландцемента более длительным нарастанием прочности и меньшей скоростью твердения в начальные сроки, повышенной водопотребностью и сульфатостойкостью, пониженным тепловыделением, деформациями усадки и набухания, морозостойкостью.

Согласно ТУ 3470–10347–92 в качестве компонента сырьевой смеси клинкера и активной минеральной добавки в цементе могут использоваться зола-унос, шлак и золошлаковая смесь, удовлетворяющие следующим требованиям:

- влажность – не более 15 %;
- удельная поверхность – не менее 200 м<sup>2</sup>/кг;
- в основной золе содержание свободного СаО не должно превышать 10 %;
- содержание хлоридов – не более 0,10 %;
- при использовании в качестве сырьевого компонента потери массы при прокаливании в ЗШМ должны быть не более 16 %, содержание в них щелочей (Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O) – не более 4 %, сернистых соединений в пересчете на SO<sub>3</sub> – не более 4 %;
- при использовании в качестве минеральной добавки в цементе потери массы при прокаливании ЗШМ должны быть не более 5 %, содержание в них щелочей (Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O) – не более 2 %, в кислых и основных ЗШМ содержание сернистых соединений в пересчете на SO<sub>3</sub> – не более 2 и 6 %, соответственно;
- конец схватывания известково-золяного теста – не позднее 7 суток;
- образец известково-золяного камня после 3 суток твердения является водостойким;
- цементы с добавкой ЗШМ выдерживают испытание на равномерность изменения объема по ГОСТ 310.3–76 [12].

По новому стандарту на общестроительные цементы ГОСТ 31108–2003, гармонизированному со стандартом EN 197–1, в качестве минеральной добавки могут быть использованы топливные золы-унос кислого и основного состава в портландцементе с минеральными добавками типа ЦЕМ II в количестве 6...20 %, композиционного портландцемента – не более 14 %, пуццоланового це-

мента типа ЦЕМ IV – от 21 до 35 % от массы цемента [6]. Кроме того, зола-унос может использоваться в составе цементов, наряду с другими минеральными добавками, также в качестве вспомогательного компонента в количестве не более 5 % от массы цемента. Данный стандарт не предусматривает применение в качестве минеральной добавки отвальной золошлаковой смеси и топливного шлака.

ГОСТ 31108–2003 регламентирует требования к основным и вспомогательным компонентам цементов, в том числе к активным минеральным добавкам. Зола-унос ТЭС, применяемая в качестве минеральной добавки, должна удовлетворять следующим требованиям по составу и свойствам:

- в кислой золе содержание реакционноспособного SiO<sub>2</sub> должно быть не менее 25 %, реакционноспособного СаО – не менее 10 %, количество свободного оксида кальция – не более 1 %. В основной золе содержание реакционноспособного СаО должно быть не менее 10 %, а при количестве реакционно-способного СаО от 10 до 15 % содержание в ней реакционноспособного SiO<sub>2</sub> – не менее 25 %;
- потери массы при прокаливании в течение 1 ч – не более 5 %. Золо-унос, характеризуемые потерями массы при прокаливании от 5 до 7 %, применяют при условии выполнения цементными бетонами и растворами требований к долговечности, особенно по морозостойкости, с учетом климатических факторов района их использования;
- различие между пределом прочности при сжатии цемента с золой-унос и цемента с кварцевым песком (*t*-критерий Стьюдента) – не менее 2,07;
- конец схватывания золоизвесткового теста – не позднее 7 суток;
- водостойкость золоизвесткового камня – не менее 3 суток.

Показатели *t*-критерий Стьюдента, конец схватывания золоизвесткового теста и водостойкость золоизвесткового камня определяют по ГОСТ 25094–94 [13].

## 2. БЕТОНЫ И РАСТВОРЫ

При производстве бетонных смесей и строительных растворов в качестве минеральной добавки, частично заменяющей цемент, а также для частичной или полной замены мелкого заполнителя могут использоваться зола-унос и золошлаковая смесь, образующиеся на ТЭС при пылевидном сжигании твердого топлива. Наиболее эффективно применение золы-унос в бетонах низких классов (до В20), в частности в бетонах, применяемых для строительства плотин, фундаментов, оснований. Количество вводимой золы колеблется от 30 до 90 кг на 1 м<sup>3</sup> бетонной смеси.

Качество применяемой в бетонах и строительных растворах золы-унос ТЭС должно соответствовать требованиям ГОСТ 25818–91 [4], золошлаковой смеси – ГОСТ 25592–91 [5]. ГОСТ 25818–91 распространяется на золу-унос, которая применяется в качестве компонента для изготовления тяжелых, легких, ячеистых бетонов и строительных растворов, а также в качестве тонкомолотой добавки для жаростойких бетонов и минеральных вяжущих для приготовления смесей и грунтов в дорожном строительстве. Стандарт не распространяется на золу от сжигания горючих сланцев. ГОСТ 25592–91 устанавливает требования к золошлаковой смеси ТЭС, при-

меняемой в качестве заполнителя для тяжелых и легких бетонов сборных и монолитных бетонных и железобетонных конструкций зданий и сооружений. Данный стандарт не разрешает использовать золошлаковые смеси в качестве заполнителя в бетонах гидротехнических сооружений, дорожных покрытий, труб, шпал, опор линий электропередач и в конструкциях из специальных бетонов.

В соответствии с ГОСТ 25818–91 золы-унос по виду сжигаемого угля подразделяют на антрацитовые (А), образующиеся при сжигании антрацита, полуантрацита и тощего каменного угля; каменноугольные (КУ), образующиеся при сжигании каменного угля; бурогоугольные (Б) – от сжигания бурых углей. По химическому составу золы подразделяют на типы: кислые (К) – антрацитовые, каменноугольные и бурогоугольные, содержащие оксид кальция по массе до 10 %; основные (О) – бурогоугольные, содержащие СаО более 10 %. Однако, такая классификация не отражает имеющиеся особенности химического состава бурогоугольных зол с высоким содержанием СаО. Поэтому, для бурогоугольных зол необходимо ввести дополнительный тип – высокоосновные, содержащие СаО более 40 %.

Золы-унос в зависимости от качественных показателей делят на четыре вида: I – для железобетонных конструкций и изделий из тяжелого и легкого бетона; II – для бетонных конструкций и изделий из тяжелого и легкого бетона, строительных растворов; III – для изделий и конструкций из ячеистого бетона; IV – для бетонных и железобетонных изделий и конструкций, применяемых при строительстве гидротехнических сооружений, дорог, аэродромов и др.

Для изготовления тяжелых и легких бетонов, строительных растворов золы-унос применяют для снижения расхода цемента и заполнителей, улучшения технологических свойств бетонных и растворных смесей, повышения качества бетонов и растворов. При изготовлении ячеистых бетонов кислые золы следует использовать в качестве кремнеземистого компонента смеси, а также с целью экономии цемента в неавтоклавных бетонах. Основные золы с содержанием СаО не менее 30 % рекомендуются применять в качестве минеральной добавки в цементе или компонента другого вяжущего при изготовлении строительных бетонов и растворов, в качестве вяжущего для частичной замены извести или цемента в ячеистых бетонах автоклавного и неавтоклавного твердения. В конструкционно-теплоизоляционных бетонах кислую золу следует использовать для частичной или

полной замены пористых песков и снижения плотности бетона. Для конструкций подводных и внутренних зон гидротехнических сооружений следует применять кислую золу IV вида.

Оптимальное содержание золы в тяжелых, легких, ячеистых бетонах и строительных растворах устанавливается в результате подбора составов на конкретных материалах при условии обеспечения требуемых показателей качества бетона и раствора в изделиях, конструкциях и коррозионной стойкости арматуры. В целях обеспечения коррозионной стойкости ненапрягаемой арматуры в железобетонных конструкциях, эксплуатируемых в неагрессивных средах, содержание кислой золы в бетоне не должно превышать по массе расход портландцемента. Возможность увеличения содержания золы в бетонах устанавливается после проведения исследований по коррозионной стойкости арматуры, деформативным свойствам и долговечности бетонов, выполненных на конкретных материалах.

Качественные показатели зол-унос для строительных бетонов и растворов должны соответствовать требованиям, указанным в табл. 1. Влажность золы должна быть не более 1 %. Золы-унос в смеси с портландцементом должны обеспечивать равномерность изменения объема при кипячении в воде, основные золы III вида – в автоклаве.

При производстве ячеистого бетона золу-унос используют в качестве вяжущего вещества и кремнеземистого компонента бетонной смеси. По ГОСТ 25485–89 для производства ячеистого бетона в качестве вяжущего вещества может применяться основная зола, содержащая общего СаО не менее 40 %, в том числе свободного СаО – не менее 16 %, SO<sub>3</sub> – не более 6 %, сумму оксидов K<sub>2</sub>O и Na<sub>2</sub>O – не более 3,5 % [14]. При использовании золы-унос в качестве кремнеземистого компонента бетонной смеси она должна содержать не менее 45 % SiO<sub>2</sub>, не более 10 % СаО, не более 3 % K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O, не более 3 % SO<sub>3</sub>.

Ранее в инструкции по изготовлению изделий из ячеистого бетона СН 277-80 к золам ТЭС предъявляли следующие требования. Основные золы от сжигания горючих сланцев и бурых углей должны иметь химический состав: содержание общего СаО – не менее 30 %, в том числе свободного СаО – 15...25 %; содержание оксида SiO<sub>2</sub> – 20...30 %, оксида SO<sub>3</sub> – не более 6 %, сумма оксидов K<sub>2</sub>O и Na<sub>2</sub>O не более 3 % [15]. Удельная поверхность зол-унос должна быть в пределах от 300 до 350 м<sup>2</sup>/кг.

Таблица 1. Требования к золам-унос ТЭС для строительных бетонов и растворов (ГОСТ 25818-91)

№ п/п	Наименование показателя	Вид угля	Значение показателя для вида золы			
			I	II	III	IV
1	Содержание оксида кальция, мас. %: – кислая зола, не более – основная зола, более, в том числе свободного СаО, не более: – кислая зола – основная зола	Для всех	10	10	10	10
		Бурый	10	10	10	10
		Для всех	-	-	-	-
		Бурый	5	5	-	2
2	Содержание оксида магния, мас. %, не более	Для всех	5	5	-	5
3	Содержание сернистых и сернокислых соединений в пересчете на SO <sub>3</sub> , мас. %, не более: – кислая зола – основная зола	Для всех	3	5	3	3
		Бурый	5	5	6	3

4	Содержание щелочных оксидов в пересчете на Na <sub>2</sub> O, мас. %, не более: – кислая зола – основная зола	Для всех	3	3	3	3
		Бурый	1,5	1,5	3,5	1,5
5	Потери массы при прокаливании, мас. %, не более: – кислая зола  – основная зола	Антрацит	20	25	10	10
		Каменный	10	15	7	5
		Бурый	3	5	5	2
		Бурый	3	5	3	3
6	Удельная поверхность, м <sup>2</sup> /кг, не менее: – кислая зола – основная зола	Для всех	250	150	250	300
		Бурый	250	200	150	300
7	Остаток на сите № 008, мас. %, не более: – кислая зола – основная зола	Для всех	20	30	20	15
		Бурый	20	20	30	15

Кислая зола-унос должна иметь стекловидных и оплавленных частиц не менее 50 %, потери массы при прокаливании для буроугольной и каменноугольной соответственно не более 3 и 5 %, удельную поверхность для буроугольной и каменноугольной соответственно не менее 400 и не более 500 м<sup>2</sup>/кг. Зола-унос должна выдерживать испытания на равномерность изменения объема.

По ГОСТ 26644–85 из шлаков от сжигания твердого топлива могут быть получены фракционированный щебень с размером зерен 5–10, 10–20 и 5–20 мм, шлаковый песок с размером зерен до 5 мм, рядовой несортированный шлак с размером зерен до 20 мм. Требования к зерновому составу фракционированного щебня, шлакового песка и рядового шлака приведены в табл. 2.

Насыпная плотность щебня из плотного шлака, применяемого для тяжелого бетона, должна быть не менее 1000 кг/м<sup>3</sup>, шлакового песка из плотного шлака – не менее 1100 кг/м<sup>3</sup>. В зависимости от насыпной плотности щебень из пористого шлака, применяемый для легкого бетона, подразделяют на марки 500, 600, 700, 800, 900 и 1000, песок – на марки 600, 700, 800, 900, 1000 и 1100.

Потери массы при прокаливании в плотных шлаковых щебне и песке не нормируют, а в пористых каменноугольных и буроугольных шлаках они не должны превышать значений, соответственно, при использовании заполнителей в бетоне 7 и 3 %, в железобетонных изделиях – 5 и 3 %. Содержание сернистых и сернокислых

соединений в пересчете на SO<sub>3</sub> в шлаковом щебне и песке не должно превышать 3 %, свободного CaO – 1 %.

Щебень должен обладать устойчивой структурой: потери массы шлака при определении стойкости против силикатного и железистого распада соответственно не должны превышать 8 и 5 %.

Морозостойкость шлакового щебня должна характеризоваться потерей массы не более 8 % при 15 циклах попеременного замораживания и оттаивания для пористого щебня и 100 циклов – для плотного щебня. В щебне и песке не должно быть посторонних засоряющих примесей (растительные остатки, грунт, кирпич и т.п.).

К вредным компонентам в составе золы и шлака относятся соединения серы, несгоревшие частицы твердого топлива (кокс и полукокс), свободные оксиды кальция и магния, особенно в крупнокристаллическом или пережженном состоянии, оксиды щелочных материалов. Кроме того, отрицательное действие на их свойства оказывает наличие в золе и шлаке неустойчивых фаз, приводящих к разрушению частиц золы или гранул шлака в результате объемных изменений необоженного глинистого вещества, присутствующего в шлаках низкотемпературного сжигания. Глинозем другой разновидности (дегидратированный) способен к регидратации и вызывает объемные изменения шлака. Вредное влияние на деформационные свойства строительных материалов и изделий на основе золошлаков оказывают сульфиды железа, окисляющиеся при совместном воздействии воздуха и воды.

Таблица 2. Требования к зерновому составу щебня и песка из шлаков ТЭС

Наименование показателя	Величина показателя для различных материалов		
	Фракционированный щебень	Шлаковый песок	Рядовой несортированный шлак
Полные остатки на ситах с диаметром отверстий, соответствующего наименьшему номинальному размеру зерен фракций, мас. %	90–100	–	–
Полные остатки на ситах с диаметром отверстий, соответствующего наибольшему номинальному размеру зерен фракций, мас. %	до 10	до 10	до 10
Содержание зерен, проходящих через сито № 0315, мас. %, не более	5	20	10

В соответствии с ГОСТ 25592–91 к угольной золошлаковой смеси ТЭС, применяемой в качестве заполните-

ля для тяжелых и легких бетонов сборных и монолитных бетонных и железобетонных конструкций, предъявля-

ются следующие технические требования (табл. 3) [5]. Кроме того, потери массы при прокаливании для различных классов и видов золошлаковых смесей не должны превышать значений, приведенных в табл. 4. Дополнительные требования к золошлаковой смеси ТЭС следующие. Суммарное содержание в зольной части (менее 0,16 мм) золошлаковой смеси свободных оксида кальция и оксида магния не должно превышать 10 %, в шлаке – не более 1 %. Зола, содержащаяся в золошлаковой смеси, должна выдерживать испытания на равномерность изменения объема. Шлак с размером зерен крупнее 5 мм, содержащийся в золошлаковой смеси класса А (вида I и II) и класса Б (вида I) должен обладать устойчивой структурой. Потери массы шлака при определении стойкости его к силикатному и железистому распаду не должна превышать 5 %. В золошлаковой смеси не должно быть посторонних засоряющих примесей. Золошлаковую смесь с содержанием шлака от 20 до 50 % допускается применять для тяжелого бетона в сочетании с природными заполнителями.

Золошлаковая смесь ТЭС, применяемая в составе жаростойких бетонов (с температурой эксплуатации до 1800 °С) для экономии цемента и улучшения эксплуатационных свойств, по химическому составу и дисперсности должна соответствовать требованиям ГОСТ 20910–90 [7]. К золошлаковой смеси, используемой в качестве тонкомолотой добавки в бетонах на портландцементе и жидком стекле, предъявляются следующие требования: тонкость помола должна быть не менее 50 % при просеивании через сито № 008; содержание свободных СаО и MgO в сумме не должно превышать 3 %, а карбонатов – 2 %.

При применении золошлаковой смеси в качестве заполнителя жаростойкого бетона ее химический состав должен удовлетворять следующим требованиям: общее содержание оксидов SiO<sub>2</sub> и Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> должно быть не менее 75 %, в том числе оксида SiO<sub>2</sub> – не менее 40 %; количество сульфатов в пересчете на SO<sub>3</sub> – не более 3 %, сумма свободных СаО и MgO – не более 4 %, потери массы при прокаливании – не более 5 %. Золошлаковые смеси не должны быть загрязнены другими материалами, способными снизить эксплуатационные свойства или привести

к разрушению бетона после нагрева (известняк, гранит, доломит, магнезит и др.).

### 3. СТРОИТЕЛЬНАЯ КЕРАМИКА

Зола-унос и золошлаковая смесь ТЭС могут применяться в качестве сырья для производства искусственных пористых заполнителей для легких бетонов, керамических кирпича и камней. В соответствии с ТУ 21–31–2–82 зола-унос для производства аглопоритового гравия должна отвечать следующим требованиям:

- химический состав должен находиться в следующих пределах, мас. %: 55±10 SiO<sub>2</sub>, 25±10 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 10±8 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, до 12 СаО+MgO, до 3 SO<sub>3</sub>;
- потери массы при прокаливании должны быть не более: 10 % для легкоплавких зол, 12 % для среднеплавких зол, 15 % для тугоплавких зол. Колебание значений потери массы при прокаливании в золе не должно превышать 2 %;
- удельная поверхность – не менее 200 м<sup>2</sup>/кг [9].

Зола-унос, применяемая для производства керамических кирпича и камней, должна удовлетворять следующим требованиям:

- содержание карбонатных камневидных включений крупнее 1 мм – не допускается;
- содержание шлаковых включений крупнее 3 мм – не более 5 %;
- содержание серы в пересчете на SO<sub>3</sub> – не более 3 %.

В производстве глинозольного керамзита рекомендуется использовать золу гидроудаления из отвалов ТЭС, которая должна удовлетворять следующим требованиям:

- для керамзита с низкой плотностью: потери массы при прокаливании – 13...17 %, содержание Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+FeO – 12...20 %, общего СаО – 7...12 %, предельный размер шлаковых и растительных включений – 5 мм, содержание частиц более 1 мм – не более 10 %, удельная поверхность – 100...300 м<sup>2</sup>/кг;
- для керамзита повышенной плотности: потери массы при прокаливании – не более 5 %, содержание Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 20...35 %, общего СаО – 7...12 %, удельная поверхность – более 300 м<sup>2</sup>/кг, температура плавления золы – более 1370 °С [16].

Таблица 3. Требования к золошлаковым смесям, применяемым в качестве заполнителя бетонов

Показатель	Значение показателей для классов	
	А (тяжелые бетоны)	Б (легкие бетоны)
Содержание шлака, мас. %	Не менее 50	До 20
Содержание зерен золы и шлака размером менее 0,315 мм, мас. %:		
вид I	20—30	50—100
вид II	20—50	50—100
Содержание зерен размером более 5 мм, мас. %	Не нормируется	Не более 15
Максимальный размер зерен шлака, мас. %	40	20
Удельная поверхность, м <sup>2</sup> /кг	Не нормируется	150—400
Влажность, мас. %	Не более 15	Не более 35
Насыпная плотность в сухом состоянии, кг/м <sup>3</sup>	Не менее 1300	Не более 1300
Содержание сернистых и серноокислых соединений в пересчете на SO <sub>3</sub> , мас. %, в том числе в сульфидной форме	Не более 3 Не более 1	Не более 3 Не более 1
Количество SiO <sub>2</sub> , мас. %	Не менее 40	Не менее 40

Таблица 4. Требования к потерям массы при прокаливании золошлаковых смесей

Класс	Вид	Потери массы при прокаливании, мас. %, не более		
		Антрацитовый	Каменноугольной	Буроугольной
А	І	5	3	2
	ІІ	10	5	2
Б	І	15	7	5
	ІІ	20	10	5

#### 4. СТРОИТЕЛЬСТВО АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

При строительстве автомобильных дорог золы-унос ТЭС используют для устройства укрепленных дорожных оснований и покрытий в качестве активной гидравлической добавки, т.е. активного компонента смешанного вяжущего в сочетании с цементом или известью, и самостоятельного медленнотвердеющего вяжущего, а золошлаковые смеси из отвалов ТЭС – материала для сооружения насыпей земляного полотна и малоактивной гидравлической добавки в сочетании с цементом при укреплении грунтов, на дорогах III–V категорий.

Целесообразность применения золы-уноса и золошлаковых смесей устанавливается в каждом отдельном случае на основе технико-экономического обоснования с учетом качества ЗШМ, дальности их перевозки и стоимости, экономии цемента и других факторов. Критерием оценки пригодности ЗШМ для возведения основания дорожного полотна является морозоустойчивость, характеризующаяся величиной их относительного морозного пучения, представляющей собой отношение вертикальной деформации пучения при промораживании образца к его первоначальной высоте, выраженной в процентах.

Золошлаковые смеси и золы-унос, которые используются для возведения насыпей дорожного полотна, должны обеспечивать последним необходимую устойчивость и прочность. В зависимости от величины степени морозоустойчивости их классифицируют на непучинистые – менее 1 %, слабо-пучинистые – 1...3 %, пучинистые – 3...10 %, очень пучинистые – более 10 % [10].

ЗШМ, величина относительного морозного пучения которых не более 3 %, применяют для возведения насыпей земляного полотна без ограничений, при величине морозного пучения от 3 до 10 % их допускают для отсыпки земляного полотна с обязательным осуществлением комплекса мероприятий по обеспечению его устойчивости. Золошлаковые смеси с величиной относительного морозного пучения более 10 % для возведения насыпей земляного полотна не используют.

Золы-уноса от сжигания на ТЭС бурого и каменного угля, торфа и сланцев, применяемые для укрепления грунтов в качестве самостоятельного вяжущего или активного компонента смешанного вяжущего, должны отбираться непосредственно от электрофильтров или циклонов и отвечать следующим требованиям (табл. 5). Содержание сернистых и сернокислых соединений в золах-уносах горючих сланцев, применяемых в качестве самостоятельного медленнотвердеющего вяжущего, допускается как исключение в количествах, не превышающих 10 %. Зола-унос в составе смешанного вяжущего (20...30 % цемента и 70...80 % золы) должна выдерживать испытание на равномерность изменения объема. При устройстве оснований дорожных одежд на дорогах III–V категорий и покрытий на дорогах IV–V категорий допускается применять золы-унос с удельной поверхностью не менее 160 м<sup>2</sup>/кг, если содержание в них свободного СаО, сернистых и сернокислых соединений и потери массы при прокаливании соответствуют указанным требованиям.

Таблица 5. Требования к золам-уносу ТЭС для использования при строительстве автомобильных дорог

Нормируемые показатели	Требования к золе-уносу		
	Самостоятельное медленнотвердеющее вяжущее	Активный компонент смешанного вяжущего с	
		цементом	известью
Содержание свободного СаО, мас. %	Не менее 8	Не более 4	–
Удельная поверхность, м <sup>2</sup> /кг	Не менее 300		
Содержание сернистых и сернокислых соединений (в пересчете на SO <sub>3</sub> ), мас. %	Не более 6	Не более 3	–
Потери массы при прокаливании, мас. %	Не более 5	Не более 10	Не более 10

При укреплении различных крупнообломочных и песчаных грунтов золами-уносом, применяемыми в качестве самостоятельного вяжущего, содержание свободного СаО в золах допускается не более 15 %, а при укреплении цементом песчаных и супесчаных грунтов, а также крупнообломочных грунтов неоптимального состава, допускается применять золу-унос или золошлаковую

смесь, не отвечающие требованиям в табл. 5. При этом зола-унос и золошлаковая смесь должны содержать более 60 % частиц размером менее 0,071 мм и не более 5 % частиц размером крупнее 2 мм, а потери массы при прокаливании – не более 10 %. Удельная поверхность сланцевой золы для обработки грунтов при устройстве оснований дорожных одежд на дорогах II–III категорий

должна быть не менее 200 м<sup>2</sup>/кг. При устройстве оснований на дорогах IV–V категорий или морозозащитных слоев и верхних слоев земляного полотна на дорогах всех категорий может быть использована сланцевая зола с удельной поверхностью не менее 120 м<sup>2</sup>/кг.

Золы-унос и золошлаковые смеси ТЭС могут использоваться также в качестве минеральных порошков в составе пористого, высокопористого и плотного асфальтобетона II и III марок [17]. При этом они должны удовлетворять следующим требованиям:

- зерновой состав, не менее: фракция менее 1,25 мм – 95 %, фракция менее 0,315 мм – 80 %, фракция менее 0,071 мм – 60 %;
- пустотность – не более 45 %;
- водостойкость образцов из смеси золошлаков с битумом – не менее 0,6;
- показатель битумоемкости – не более 100 г;
- потери массы при прокаливании – не более 20 %;
- содержание активных СаО + MgO – не более 3 %;
- содержание водорастворимых соединений – не более 6 %.

## 5. РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ЗОЛОШЛАКОВ

Золы-унос, шлак и золошлаковые смеси теплоэнергетики в зависимости от величины суммарной удельной эффективной активности естественных радионуклидов ( $A_{эфф}$ ) можно применять в производстве материалов, изделий и конструкций, используемых для строительства и реконструкции жилых и общественных зданий (при  $A_{эфф}$  до 370 Бк/кг) и применяемых для строительства производственных зданий и сооружений, а также строительства дорог в пределах территорий населенных пунктов и зон перспективной застройки ( $A_{эфф} = 370 \dots 740$  Бк/кг) [3–5].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применяемые в России стандарты на золу-унос, шлак и золошлаковую смесь теплоэнергетики регламентируют требования к основным свойствам и учитывают особенности их химического состава при использовании в производстве строительных материалов и строительстве автомобильных дорог. Для более эффективного применения буроугольных зол предлагается ввести дополнительный тип – высокоосновные. Кроме того, целесообразно рассмотреть вопрос об увеличении допустимого содержания остаточного топлива в золах от высокотемпературного сжигания антрацитов с учетом направлений их использования в строительстве.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. РД 34.9.603–88. Методические указания по организации контроля состава и свойств золы и шлаков, отпускаемых потребителям тепловыми электростанциями. Введ. 01.01.1989. М.: ВТИ, 1988.
2. ОСТ 34–70–542–2001. Зола-унос тепловых электростанций. Нормативные характеристики. Введ. 01.07.2001. М.: АООТ «ВТИ», 2001.
3. ГОСТ 26644–85. Щебень и песок из шлаков тепловых электростанций для бетона. Технические условия. Введ. 01.01.1987. М.: Изд-во стандартов, 1986.
4. ГОСТ 25818–91. Зола-уноса тепловых электростанций для бетонов. Технические условия. Введ. 01.07.1991. М.: Изд-во стандартов, 1992.
5. ГОСТ 25592–91. Смеси золошлаковые тепловых электростанций для бетонов. Технические условия. Введ. 01.07.1991. М.: Изд-во стандартов, 1992.
6. ГОСТ 31108–2003. Цементы общестроительные. Технические условия. Введ. 01.09.2004. М.: ФГУП ЦПП, 2004.
7. ГОСТ 20910–90. Бетоны жаростойкие. Технические условия. Введ. 01.07.1991. М.: Изд-во стандартов, 1991.
8. ТУ 34–70–10347–92. Отходы ТЭС золошлаковые для производства цемента. Технические условия. М.: НИИцемент, 1992.
9. ТУ 21–31–2–82. Зола тепловых электростанций как сырье для производства аглопоритового гравия, керамического кирпича и камней. М.: ВНИИстром, 1982.
10. ВСН 185–75. Технические указания по использованию золы-уноса и золошлаковых смесей от сжигания различных видов твердого топлива для сооружения земляного полотна и устройства дорожных оснований и покрытий автомобильных дорог. Введ. 01.08.1975. М.: Минтрансстрой СССР, 1976.
11. ГОСТ 10178–85. Портландцемент и шлакопортландцемент. Технические условия. Введ. 01.01.1987. М.: Изд-во стандартов, 1985.
12. ГОСТ 310.3–76. Цементы. Методы определения нормальной плотности, сроков схватывания и равномерности изменения объема. Введ. 01.01.1978. М.: Изд-во стандартов, 1993.
13. ГОСТ 25094–94. Добавки активные минеральные для цементов. Методы испытаний. Введ. 01.01.1996. М.: ИПК Изд-во стандартов, 1996.
14. ГОСТ 25485–89. Бетоны ячеистые. Технические условия. Введ. 01.01.1990. М.: Изд-во стандартов, 1993.
15. СН 277–80. Инструкция по изготовлению изделий из ячеистого бетона. М.: Стройиздат, 1981.
16. Указания по испытанию зол тепловых электростанций. Технические требования. М.: НИИкерамзит, 1982.
17. ГОСТ 9128–97. Смеси асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон. Введ. 01.01.1999. М.: ГУП ЦПП, 1998.

**Ф.Л. Капустин, В.М. Уфимцев.** Российские стандарты по использованию золошлаков теплоэнергетики в производстве строительных материалов. Материалы II научно-практического семинара «Золошлаки ТЭС: удаление, транспорт, переработка, складирование», Москва, 23–24 апреля 2009 г. — М.: Издательский дом МЭИ, 2009. С. 57 – 64.