

транспорте» в рамках Международной научно-практической конференции. Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия (СибАДИ). 2016. С. 102-107.

6. Ветрогон А.А., Крипак М.Н. Транспортное моделирование как инструмент для эффективного решения задач в области управления транспортными потоками // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2018. № 3 (59). С. 82-91.

7. Полтавская Ю.О. Качественные ха-

рактеристики функционирования городского общественного пассажирского транспорта (ГОПТ) // Сборник научных трудов Ангарского государственного технического университета. 2015. Т. 1. № 1. С. 260-266.

8. Горбунов Р.Н., Пиров Ж.Т., Михайлов А.Ю. Оценка уровня обслуживания на основе критериев надежности // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2017. Т. 21. № 10 (129). С. 188-194

УДК 691.542

*Савенков Андрей Иванович,*  
к.т.н., доцент кафедры «Промышленное и гражданское строительство»,  
ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»,  
e-mail: savenkov\_andrey@mail.ru  
*Коломиец Виктория Сергеевна,*  
обучающаяся кафедры «Промышленное и гражданское строительство»,  
ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»  
e-mail: vkhinami@mail.ru

## ПРИМЕНЕНИЕ ЗОЛЫ С ОТВАЛОВ ТЭЦ В ПРОИЗВОДСТВЕ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТА

*Savenkov A.I., Kolomiets V.S.*

## THE USE OF ASH FROM THERMAL POWER PLANT DUMPS IN THE PRODUCTION OF PORTLAND CEMENT

**Аннотация.** В статье рассмотрено техническое решение по введению в состав цемента после помола клинкера пуццолановых добавок. Такими добавками являются зола-унос ТЭЦ и зола с золоотвала. Применение золы в составе цемента снижает его себестоимость и энергоёмкость его производства.

**Ключевые слова:** портландцемент, зола-унос, гидратация цемента, прочность на сжатие.

**Abstract.** The article considers a technical solution for the introduction of pozzolan additives into the cement after grinding clinker. Such additives are the fly ash of the CHP and ash from the ash dump. The use of ash in the composition of cement reduces its cost and energy intensity of its production.

**Keywords:** Portland cement, fly ash, cement hydration, compressive strength.

В настоящее время портландцемент является одним из самых востребованных строительных материалов. Он необходим как важнейший компонент для изготовления строительных конструкций из бетона и железобетона. В практике современного строительства необходимо учитывать требования экономии портландцемента, что связано с проблемой более рационального использования материальных ресурсов. Перед предприятиями строительной отрасли, занятыми в производстве сборного железобетона, остро стоят проблемы качества продукции и экономии минеральных вяжущих веществ, в частности портландцемента.

Важным технологическим требованием к клинкерному цементу является снижение себестоимости его производства, что положительно сказывается на эффективности строительства. При возрастании требований к качеству строительства возникает потребность в строительных материалах, производимых с относительно низкой себестоимостью по качественным показателям и долговечности, превышающих существующие аналоги [1].

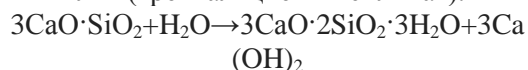
Для обеспечения должного качества и снижения стоимости товарного цемента, при помоле клинкера, кроме замедлителя схватывания – гипса, вводятся различные мине-

ральные вещества [2]. Наряду со снижением себестоимости товарного цемента, их присутствие в составе может положительно сказываться на показателях качества цемента. На АО «АЦГК» в качестве минеральных добавок применяются зола отвала, зола унос, порода горелая, из которых зола унос является сравнительно дорогостоящей добавкой, порода горелая доставляется со стороны, тогда как практически рядом с заводом находится такая сырьевая база минеральных добавок, как зола золоотвалов (рис. 1).

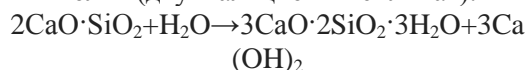
Желательно воспользоваться данным сырьем, тем более что стандарт допускает добавку к клинкеру активных минеральных (гидравлических) добавок в количестве, определяемом видом портландцемента и качеством добавки. Неотъемлемой частью портландцемента является добавка гипса; получение пластифицированного и гидрофобного портландцемента достигается добавкой поверхностно-активных веществ.

При твердении цемента выделяется гидрат окиси кальция, понижающий его сопротивляемость по отношению к выщелачиванию и воздействию некоторых солей, содержащихся в минерализованных водах. Твердение минералов цементного клинкера, составляющих порядка 90 % его массы, происходит по следующей реакции:

Алит (трехкальциевый силикат):



Белит (двухкальциевый силикат):



Для повышения водостойкости цемента в пресных и сульфатных водах в него вводят активные минеральные добавки. Благодаря этому, гидроокись кальция, выделившаяся в результате реакции гидратации, химически связывается, что придает дополнительную прочность цементному камню.

Добавки влияют на реакции взаимодействия клинкерных минералов с затворителем и меняют скорость образования гексагональных гидратных фаз, особенно это касается самого активного минерала цементного клинкера – алита ( $\text{C}_3\text{A}$ ). Причем большие дозировки добавок оказывают более существенное влияние на кинетику кристаллизации гидратных новообразований и в меньшей мере влияют на фазовый состав. В растворах пенообразователей взаимодействие  $\text{C}_3\text{A}$  с во-

дой протекает не полностью и даже спустя 28 суток процесса гидратации в системе частично остается исходный алит.

Активные минеральные добавки (АМД) способны в присутствии воды взаимодействовать с гидроксидом кальция при обычных температурах, образуя соединения, обладающие вяжущими свойствами. При введении в бетон они взаимодействуют с  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , выделяющимся при гидратации силикатов портландцемента. К АМД относятся тонкомолотые или тонкодисперсные минеральные материалы, состоящие в основном из аморфного кремнезема, обладающего гидравлической активностью, а также горные породы осадочного органогенного и вулканического происхождения, получаемые тонким помолом или соответствующей подготовкой тонкодисперсных промышленных отходов. Некоторые АМД, например, молотые доменные шлаки, способны к самостоятельному твердению, которое активизируется при добавке извести. На свойства минеральных добавок значительное влияние оказывает их зерновой состав, определяющий удельную поверхность и, соответственно, реакционную способность или возможность уплотнения структуры бетона [2].

При производстве цемента применяется такая добавка как зола-унос ТЭЦ. Золой от сжигания твердых видов топлива занимают лидирующее место среди техногенных отходов. Они образуются при сжигании пылевидных углей из их минеральной части, которая содержит глинистые вещества, кварц и карбонатные породы. Но количество золы-уноса ограничено и может быть недостаточно для производства цемента в полном объеме. Такое ограничение обусловлено мощностью ТЭЦ и сезонным потреблением в городской сети тепловой энергии.

Основное применение цемента — это приготовление различных видов бетонов, главным образом, тяжелых конструктивных. Использование в бетонах вяжущего, содержащего в составе золу, дает существенную экономию цемента. При замещении части цемента золой ТЭС для бетонов нормального твердения характерна более низкая прочность в раннем возрасте по сравнению с бетонами без золы. Так, даже при замене 10 % цемента различными золами прочность бетона в возрасте 14 суток снижается на 20–35 % (в зависимости от качества золы).



Рисунок 1 – Карьер на золоотвале ТЭЦ

С течением времени разница в прочности бетонов с золой и без золы постепенно сокращается, а в поздние сроки твердения (180÷360 суток) бетоны с умеренным содержанием золы приобретают прочность, равную прочности бетона без золы и даже превышающую ее. Данный эффект объясняется тем, что формирование прочности бетонов с золой происходит под влиянием двух известных факторов. Во-первых, с уменьшением расхода цемента и повышением водоцементного отношения при введении золы происходит снижение прочности. Это отрицательное влияние компенсируется введением пластифицирующих добавок. Во-вторых, проявляется пуццолановая активность золы. В первоначальном возрасте цементного камня преобладает первый фактор, в более поздние сроки – второй.

Для конструкций, которым необходим быстрый ввод в эксплуатацию, прочность бетона с золой в раннем возрасте может быть повышена применением цемента более высокой марки, использованием добавок-ускорителей твердения бетона, повышения активности золы помолом (без цемента или совместно с цементом) [3].

Заменяя часть цемента золой в бетонах нормального твердения, необходимо установить оптимальную добавку золы, не вызывающую снижения прочности бетона в требуемые сроки, а в случае использования

крупнодисперсной золы – оптимальный предел ее измельчения.

Цель данной работы – рассмотреть возможность замены золы уноса и породы горелой на золу отвала. Для этого необходимо исследовать влияние минеральных добавок на качественные характеристики товарного цемента. Объект исследования – цемент марки ЦЕМ 42,5Н по ГОСТ 30515-97 «Цементы Общие технические условия».

Главным показателем качества цемента является прочность цементного камня. В соответствии с этим проводились исследования прочности согласно ГОСТ 30744-2001 на образцах балочках размером 40x40x160 мм. После распалубливания балочки набирали прочность в камере нормального твердения до истечения 28 суток. В эти сроки производились испытания балочек на прочность при изгибе и при сжатии. Полученные результаты приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты испытания прочности образцов-балочек

Наименование добавки	Содержание добавки, %	Предел прочности при изгибе, кгс/см <sup>2</sup>	Предел прочности при сжатии, кгс/см <sup>2</sup>
Зола уноса	5	55,3	221
	10	48,7	204
	15	45,3	200
	20	60	213
Зола отвала	5	44	180
	10	50,7	280
	15	42,7	216
	20	44	207
Порода горелая	5	54	290
	10	50	350
	15	51,3	260
	20	44,3	240
Контроль ЦЕМ 42,5Н	0	44,9	180

1. В итоге определено, что цемент с добавкой золы отвала по своим прочностным характеристикам не уступает цементам с используемыми в настоящем производстве минеральными добавками. Поэтому можно рекомендовать замещать добавки в виде золы уноса и породы горелой золой отвала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бердов, Г.И., Ильина, Л.В., Машкин, Н.А. Влияние минеральных добавок на свойства цементных материалов // Современные наукоемкие технологии. – 2011. – 1. – С. 49-52.
2. Данилович, И.Ю. Использование топливных шлаков и зол для производства строительных материалов / И.Ю. Данилович, А.Н. Сканава. – Москва: Высшая школа, 1988. – 72 с.
3. Рекомендации по применению золы, шлака и золошлаковой смеси тепловых электростанций в тяжелых бетонах и строительных растворах // Научно-исследовательский институт бетона и железобетона Госстроя СССР (НИИЖБ). – Москва: Стройиздат, 1977.