

УДК 666.973.6

В. Г. ВЕШНЕВСКАЯ, И. С. ТКАЧУК, Д. Г. МАЛИНИН

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

ВЛИЯНИЕ ЗОЛ-УНОСА ТЭС НА РЕОЛОГИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НЕАВТОКЛАВНОГО ГАЗОБЕТОНА

Аннотация. В данной статье рассматриваются теоретические предпосылки улучшения свойств неавтоклавного газобетона за счет использования в его составе местного техногенного сырья. Изучено влияние зол-уноса Старобешевской и Зуевской ТЭС на реологические и физико-механические свойства неавтоклавного газобетона. Установлено, что введение золы-уноса ТЭС до 30 % дает пластифицирующий эффект для газобетонной смеси. Текучесть по Суттарду возрастает с 22 до 28 см. Высокая дисперсность золы позволяет уплотнить межпоровые перегородки газобетона, что способствует росту прочности неавтоклавного газобетона. В ходе исследований получен неавтоклавный газобетон на золе-уноса ТЭС со средней плотностью в сухом состоянии 700 кг/м³, прочность которого соответствует требованиям стандарта.

Ключевые слова: ячеистый бетон, неавтоклавный газобетон, зола-уноса ТЭС, средняя плотность, прочность на сжатие.

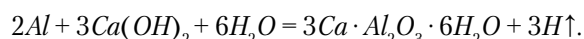
АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ

На сегодняшний день остро поставлен вопрос о снижении расхода природных ресурсов и энергозатрат при производстве строительных материалов и изделий [1]. Все больше набирает популярность использование техногенного сырья в составе композиционных материалов, что будет давать комплексный положительный эффект при их производстве и эксплуатации. Применение отходов промышленности нашло свое место и в технологии ячеистого бетона [2, 3].

Применение ячеистого бетона при возведении ограждающих конструкций позволяет сократить теплопотери зданий и сооружений на 45...50 % [4]. Обусловлено это низким коэффициентом теплопроводности ячеистого бетона.

Ячеистый бетон принято классифицировать по условиям твердения на: автоклавный, твердеющий при повышенной температуре и избыточном давлении, и неавтоклавный, твердеющий при атмосферном давлении [5]. Первый имеет преимущества по физико-механическим и эксплуатационным свойствам, а второй – производится по менее энерго- и металлоемкой технологии. Поэтому в последние два десятилетия стремительно повышается интерес к неавтоклавному способу производства ячеистобетонных изделий.

Самыми распространенными способами поризации ячеистого бетона являются механический и химический. Механический способ заключается во введении в состав смеси заранее изготовленной пены, пористая структура которой сохраняется в материале после затвердевания вяжущего. Химический способ основан на реакции алюминиевой пудры и продукта гидратации портландцемента – гидроксида кальция, при взаимодействии которых выделяется водород [6]:



Неавтоклавный газобетон уступает перед автоклавным по показателям прочности при сжатии и величине усадочных деформаций. Так прочность при сжатии неавтоклавного газобетона на 1 класс ниже по сравнению с автоклавным при одинаковой средней плотности в сухом состоянии, а усадка достигает 3...5 мм/м.

Одним из способов улучшения механических свойств неавтоклавного газобетона является уплотнение структуры межпоровых перегородок. Уплотнить структуру твердой фазы неавтоклавного газобетона можно за счет введения более тонкодисперсного кремнеземистого компонента. Зачастую в состав неавтоклавного газобетона вводят кварцевый песок. Однако при уменьшении средней плотности газобетона возникает необходимость в измельчении песка с целью сохранения сплошности и однородности сечения межпоровых перегородок. Процесс измельчения влечет за собой дополнительные энергозатраты, что повышает себестоимость неавтоклавного газобетона [7]. Использование техногенного порошкообразного сырья, в частности золы-уноса, позволяет отказаться от операции измельчения и снижает себестоимость продукта.

Зола-уноса представляет собой тонкодисперсный минеральный порошок (удельная поверхность 1 500...5 000 г/см²), образующийся в результате сжигания измельченного пылевидного каменного угля в котлах тепловых электростанций. Водоредуцирующий эффект золы-уноса позволяет снизить водоцементное отношение и влажностную усадку бетона. Также зола-уноса за счет сферообразной формы оказывает положительный эффект на подвижность и расслаиваемость ячеистобетонной смеси [8].

Цель работы – исследование влияния применения зол-уноса тепловых электростанций Донбасса на физико-механические свойства неавтоклавного газобетона.

ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

Для приготовления составов неавтоклавного газобетона были приняты следующие компоненты:

- портландцемент ПЦ I 500 производства ООО «Донцемент» (ГОСТ 31108-2016);
- гиперпластификатор MasterGlenium 115 на основе эфиров поликарбоксилата (СТО-70386662-310-2014). Добавка вводилась в смесь в виде водного раствора;
- алюминиевая пудра ПАП-1 (ГОСТ 5494-95).
- кислые золы-уноса Зуевской и Старобешевской ТЭС с содержанием $CaO < 10\%$ по массе. Химический состав зол-уноса представлен в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 – Химический состав золы-уноса Старобешевской ТЭС

| Al ₂ O ₃ | SiO ₂ | CaO | SO ₃ | K ₂ O | FeO | TiO ₂ | ZnO | In ₂ O ₃ |
|--------------------------------|------------------|------|-----------------|------------------|------|------------------|------|--------------------------------|
| 25,89 | 49,13 | 5,48 | 7,36 | 3,41 | 7,12 | 0,73 | 0,06 | 0,82 |

Таблица 2 – Химический состав золы-уноса Зуевской ТЭС

| Al ₂ O ₃ | SiO ₂ | CaO | SO ₃ | K ₂ O | FeO | TiO ₂ | P ₂ O ₅ | Fe ₂ O ₃ |
|--------------------------------|------------------|------|-----------------|------------------|------|------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| 22,03 | 55,4 | 6,32 | 1,98 | 2,12 | 2,43 | 1,06 | 0,09 | 8,57 |

Определение текучести смеси выполнено по методике ГОСТ 23789 при помощи вискозиметра Суттарда. Средняя плотность в сухом состоянии неавтоклавного газобетона определена по методике ГОСТ 27005-2014, а прочность на сжатие – по методике ГОСТ 18105-2018.

На начальном этапе исследования определялось влияние зол-уноса Зуевской и Старобешевской ТЭС на текучесть газобетонной смеси. Для достижения необходимой средней плотности в 700 кг/м³ согласно рекомендациям СН-277-80 текучесть смеси должна составлять 22 см. Для достижения заданной текучести водотвердое отношение (В/Т) у контрольного состава без золы-уноса принималось равным 0,42 и оставалось неизменным для всех последующих составов. Результаты исследования влияния зол-уноса ТЭС представлены на рисунке 1.

Согласно полученным данным введение в состав газобетонной смеси золы-уноса дает пластифицирующий эффект, что подтверждает результаты исследования [8]. Текучесть смеси удается повысить с 22 до 28 см при увеличении расхода золы-уноса Зуевской ТЭС до 30 % по массе сухих компонентов. Для золы Старобешевской ТЭС этот эффект на 5 % меньше, что вызвано, вероятней всего, наличием большего количества более дисперсных частиц и частиц с остроугольной поверхностью. При повышении расхода золы-уноса свыше 30 % пластифицирующий эффект ослабевает и практически отсутствует.

В ходе исследований удалось достичь средней плотности в сухом состоянии неавтоклавного газобетона в 700±35 кг/м³. Показатель средней плотности возрастает по мере увеличения расхода золы-уноса и этот эффект сильнее у золы Старобешевской ТЭС (рисунок 2).

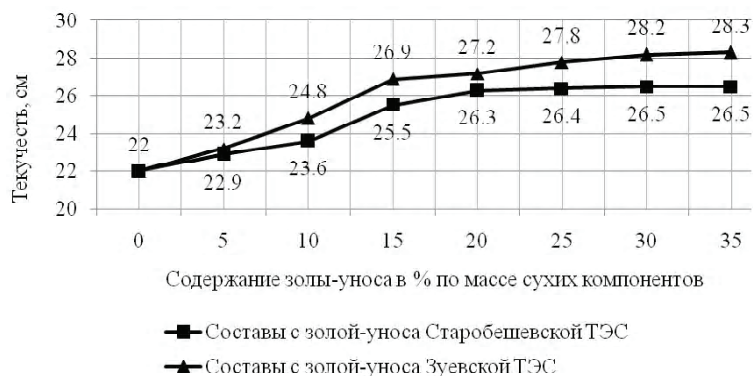


Рисунок 1 – Влияние вида и процентного содержания золы-уноса на текучесть газобетонной смеси по Суттарду.

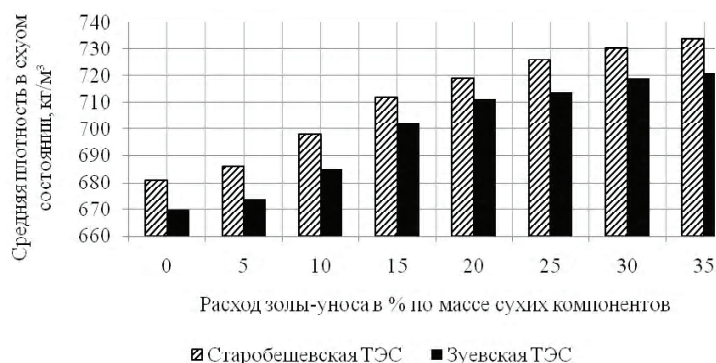


Рисунок 2 – Влияние вида и процентного содержания золы-уноса на среднюю плотность неавтоклавного газобетона в сухом состоянии.

Для определения прочностных характеристик неавтоклавного газобетона были изготовлены образцы кубовидной формы с длиной ребра 7 см. Образцы после предварительной выдержки и подрезки «горбушки» пропаривались по режиму: подъем температуры+изотермическая выдержка+охлаждение – 1,5 + 8,0 + 1,5 = 11 ч соответственно. Прочность на сжатие определялась на образцах, высушенных до постоянной массы при 105 °С. Результаты влияния вида и расхода золы-уноса представлены на рисунке 3.

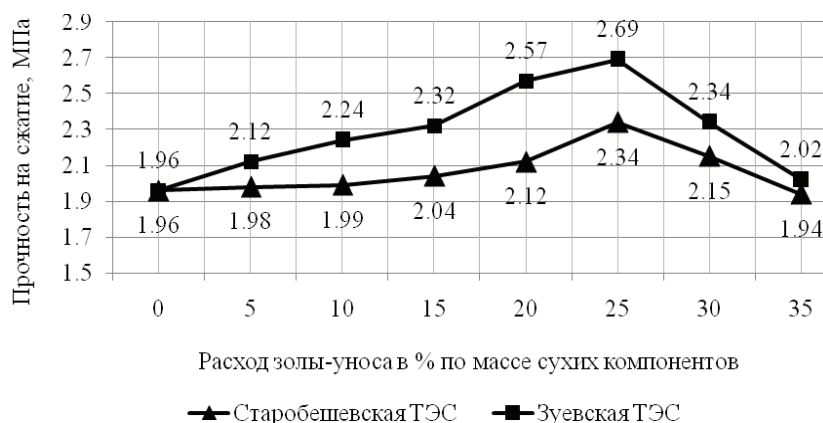


Рисунок 3 – Влияние вида и процентного содержания золы-уноса на прочность на сжатие неавтоклавного газобетона марки D700.

Максимальной прочности на сжатие удалось достичь у составов на золе-уноса Зуевской ТЭС. При повышении расхода золы до 25 % прочность возрастает до 2,69 МПа. У составов на золе-уноса Старобешевской ТЭС максимальный показатель также достигается при расходе в 25 % по массе сухих компонентов, но он ниже на 13 % пор сравнению с золой Зуевской ТЭС. Вызвано это меньшим содержанием СаО в золе-уноса Старобешевской ТЭС (согласно результатам таблиц 1 и 2).

ВЫВОДЫ

Применение в неавтоклавных газобетонах в качестве кремнеземистого компонента золы-уноса тепловых электростанций Донбасса дает положительный эффект на их реологические и физико-механические свойства. Зола-уноса оказывает пластифицирующий эффект на газобетонную смесь, что позволяет достичь более низкой средней плотности ячеистого бетона. Благодаря высокой дисперсности зола-уноса уплотняет межпоровые перегородки, что дает прирост прочности на сжатие неавтоклавного газобетона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пути повышения энергоэффективности эксплуатируемых зданий / Ю. А. Табуншиков, В. И. Ливчак, В. Г. Гагарин [и др.]. – Текст : непосредственный // Вентиляция. Отопление. Кондиционирование: АВОК. – 2009. – № 5. – С. 17–25.
2. Jitchaiyaphum, K. Cellular lightweight concrete containing pozzolan materials / K. Jitchaiyaphum, T. Sinsiri, P. Chindaprasirt. – Текст : электронный // Procedia Engineering. – 2011. – Volume 14. – P. 1157–1164. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705811012227> (дата обращения: 16.04.2022).
3. Owaid, H. M. A Review of Sustainable Supplementary Cementitious Materials as an Alternative to All-Portland Cement Mortar and Concrete / H. M. Owaid, R. B. Hamid, M. R. Taha. – Текст : электронный // Australian Journal of Basic and Applied Sciences. – 2012. – Volume 6, issue 9. – P. 287–303. – URL: https://www.researchgate.net/publication/285956186_A_review_of_sustainable_supplementary_cementitious_materials_as_an_alternative_to_all-portland_cement_mortar_and_concrete (дата обращения: 19.04.2022).
4. Парута, В. А. Реализация концепции устойчивого развития путем использования автоклавного газобетона / В. А. Парута, Е. В. Брынзин, Л. И. Лавренюк. – Текст : непосредственный // Технологии бетонов. – 2015. – № 7-8. – С. 42–45.
5. Мартыненко, В. А. Справочник специалиста лаборатории завода по производству газобетонных изделий / В. А. Мартыненко, Н. В. Морозова. – Днепропетровск : ПГАСА. – 2009. – 308 с. – Текст : непосредственный.
6. Narattha, C. Thermogravimetry analysis, compressive strength and thermal conductivity tests of non-autoclaved aerated Portland cement-fly ash-silica fume concrete / C. Narattha, P. Thongsanitgarn, A. Chaipanich. – Текст : электронный // Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. – 2015. – Volume 122, issue 1. – P. 11–20. – URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10973-015-4724-8> (дата обращения: 22.04.2022).
7. Трескина, Г. Е. Пылевидные отходы – эффективные наполнители для неавтоклавного газобетона / Г. Е. Трескина, Ю. Д. Чистов. – Текст : непосредственный // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2002. – № 5. – С. 10–11.
8. Зайченко, Н. М. Бетоны с высоким содержанием золы для массивных железобетонных конструкций / Н. М. Зайченко, А. И. Сердюк. – Текст : непосредственный // Вісник Донбаської національної будівництва і архітектури. – 2013. – Випуск 2013-1(99) Сучасні будівельні матеріали. – С. 137–144.

Получена 21.04.2022

В. Г. ВЕШНЕВСЬКА, І. С. ТКАЧУК, Д. Г. МАЛІНІН ВПЛИВ ЗОЛ-ВИНЕСЕННЯ ТЕС НА РЕОЛОГІЧНІ ТА ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ НЕАВТОКЛАВНОГО ГАЗОБЕТОНУ ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»

Анотація. У статті розглядаються теоретичні передумови поліпшення властивостей неавтоклавного газобетону за допомогою використання у його складі місцевої техногенної сировини. Вивчено вплив золи-винесення Старобешівської та Зуївської ТЕС на реологічні та фізико-механічні властивості неавтоклавного газобетону. Встановлено, що введення золи-винесення ТЕС до 30 % дає пластифікуючий ефект для газобетонної суміші. Плинність по Сутгарду зростає з 22 до 28 см. Висока дисперсність золи дозволяє ущільнити міжпорові перегородки газобетону. У ході досліджень отримано неавтоклавний газобетон на золі-винесення ТЕС із середньою щільністю у сухому стані 700 кг/м³, міцність якого відповідає вимогам стандарту.

Ключові слова: ніздрюватий бетон, неавтоклавний газобетон, зола-винесення ТЕС, середня щільність, міцність на стиск.

VICTORIA VESHNEVSKAYA, IVAN TKACHUK, DENIS MALININ
EFFECT OF FLY ASH FROM THERMAL POWER PLANTS ON THE
RHEOLOGICAL AND PHYSICAL-MECHANICAL PROPERTIES OF NON-
AUTOCLAVED AERATED CONCRETE

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

Abstract. This article discusses the theoretical prerequisites for improving the properties of non-autoclaved aerated concrete through the use of local technogenic raw materials in its composition. The effect of fly ash from the Starobeshevsky and Zuevskaya TPPs on the rheological and physical-mechanical properties of non-autoclaved aerated concrete has been studied. It has been established that the introduction of TPP fly ash up to 30 % gives a plasticizing effect for aerated concrete mixture. Fluidity according to Suttard increases from 22 to 28 cm. The high dispersion of ash makes it possible to compact the inter-pore walls of aerated concrete, which contributes to an increase in the strength of non-autoclaved aerated concrete. In the course of the research, non-autoclaved aerated concrete was obtained on fly ash from thermal power plants with an average density in the dry state of 700 kg/m³, the strength of which meets the requirements of the standard.

Key words: aerated concrete, non-autoclaved aerated concrete, TPP fly ash, average density, compressive strength.

Вешневская Виктория Геннадьевна – кандидат технических наук, доцент кафедры технологий строительных конструкций, изделий и материалов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: неразрушающий контроль бетона строительных конструкций.

Ткачук Иван Сергеевич – магистрант кафедры технологий строительных конструкций, изделий и материалов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: газобетоны неавтоклавного твердения.

Малинин Денис Геннадьевич – ассистент кафедры технологий строительных конструкций, изделий и материалов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: неавтоклавные быстротвердеющие пенобетоны.

Вешневська Вікторія Геннадіївна – кандидат технічних наук, доцент кафедри технологій будівельних конструкцій, виробів і матеріалів ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: неруйнівний контроль бетону будівельних конструкцій.

Ткачук Іван Сергійович – магістрант кафедри технологій будівельних конструкцій, виробів і матеріалів ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: газобетон неавтоклавного твердіння.

Малинін Денис Геннадійович – асистент кафедри технологій будівельних конструкцій, виробів і матеріалів ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: неавтоклавні швидкотвердуючі пінобетони.

Veshnevskaya Victoria – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Technologies of Building Structures, Products and Materials Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: non-destructive testing of concrete building structures.

Tkachuk Ivan – Master's student; Technologies of Building Structures, Products and Materials Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: non-autoclaved aerated concrete.

Malinin Denis – Assistant, Technologies of Building Structures, Products and Materials Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: non-autoclaved high-early-strength foam concretes.