

Влияние физического состояния химических добавок в момент введения в газобетонную смесь на кинетику газовыделения и коэффициент диффузии газа

А.И. Шуйский, С.А. Стельмах, Е.М. Щербань,

А.К. Халюшев, М.Г. Холодняк, М.П. Нажуев

Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону

Аннотация: В данной статье рассматривается влияние физического состояния химических добавок в момент введения их в газобетонную смесь. Для проверки рабочей гипотезы были запроектированы и изготовлены два состава. В составе С№1 химические добавки вводились в виде коллоидного раствора. Сравнительный анализ результатов физико-механических испытаний образцов газобетона исследуемых составов показал, что введение химических добавок в виде коллоидного раствора понижает среднюю плотность в сухом состоянии за счет более интенсивного протекания реакции газовыделения без существенного снижения предела прочности на сжатие. При этом в составе С№2 наблюдается рост средней плотности.

Ключевые слова: кинетика газовыделения, коэффициент диффузии газа, газобетонная смесь, реакционная способность, вспучивание газобетонной смеси, коллоидный раствор.

Введение. Вспучивание ячеистой смеси – сложный гидродинамический, физико-химический, сильно растянутый во времени процесс. Происходит образование и рост ячеек, деформирование смеси с переменной скоростью под действием возникающего в ячейке давления, парообразования, конденсации паров воды [1]. Оптимальным условием изготовления неавтоклавного газобетона с заданными физико-механическими характеристиками является качественный процесс вспучивания газобетонной смеси, у которой обеспечивается совпадение по времени начала коагуляции новообразований цемента и начала интенсивного выделения газа алюминиевым газообразователем. В данном исследовании авторы использовали литьевую технологию производства газобетонных изделий [2].

Основная часть. Целью работы является – изучить влияние физического состояния химических добавок: каустической соды и сульфата

натрия на интенсивность газовыделения при производстве неавтоклавного газобетона.

Газобетонную смесь перемешивали в планетарном смесителе в течение 2 минут. Из полученной газобетонной смеси формовали образцы-кубы с размером ребра 10 см и выдерживали в камере для тепловой обработки при температуре 70 °С по режиму τ (2+6+3). Одновременно часть газобетонной смеси загружали в прибор ПГВ-2 (рис. 1) для определения кинетики газовыделения и коэффициента диффузии газа. Для исследования приняты два состава. В составе С№1 химические добавки – каустическая сода и сульфат натрия – вводятся в ячеистобетонную смесь в виде коллоидного раствора, а в составе С№2 добавки вводятся в твердом состоянии. Составы газобетонных смесей на расчетную плотность D600 представлены в таблице № 1.

Таблица №1

Составы газобетонных смесей

Наименование материала	Расходы материалов для приготовления газобетонных смесей на 1 м ³			
	С№1		С№2	
Цемент, кг	312		312	
Песок, кг	255		255	
Вода, л	232		232	
Алюминиевая пудра, кг	0,578		0,578	
Каустическая сода, кг	3,12	Вводятся в виде коллоидного раствора	3,12	Вводятся в сухом виде
Сульфат натрия, кг	4,8		4,8	

Период вспучивания газобетонной смеси характеризуется быстрым ростом объема смеси до некоторого максимального значения.

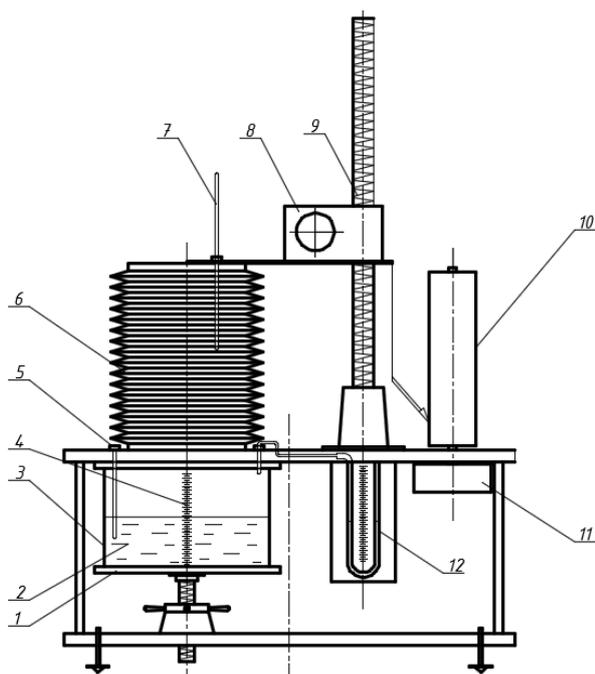


Рис. 1. – Схема прибора для измерения газовыделения газобетонной смеси ПГВ-2 (вид спереди): 1 – подъемный столик; 2 – газобетонная смесь; 3 – стеклянная реакционная емкость (объемом 3 л); 4 – шкала; 5 – термометр; 6 – измерительная емкость; 7 – термометр; 8 – подъемная траверса; 9 – подъемная планка; 10 – цилиндр для крепления бумаги самописца; 11 – реверсивный двигатель; 12 – U-образный манометр для контролирования уровня выделяющегося газа

Прибор ПГВ-2 состоит из реакционной емкости 3 со шкалой 4, предназначенной для определения уровня заливки и вспучивания газобетонной смеси. Для измерения температуры газобетонной смеси применяется электронный термометр 5. Подъемный столик 1 при помощи винта прижимает реакционную емкость к верхнему основанию прибора. Для герметизации внутреннего объема прибора служит резиновая прокладка. К верхнему основанию прибора прикреплена измерительная емкость 6, выполненная в виде тонкой гофрированной трубы. Верхняя часть измерительной емкости 6 закрыта крышкой, на которой расположен ртутный термометр, измеряющий температуру газовой среды в приборе над

поверхностью газобетонной смеси. Для измерения объема служит подъемная траверса 8. Запись показаний прибора осуществляется на миллиметровой бумаге в виде графика. Миллиметровую бумагу наматывают на барабан самописца 10, который приводится в действие реверсивным двигателем 11. Контроль внутреннего давления в приборе осуществляется U-образным манометром.

Определение параметров кинетики газовыделения осуществляется следующим образом. Газобетонная смесь помещается в измерительную емкость, которая устанавливается в прибор. Вводят электронный термометр в газобетонную смесь и герметизируют. Через определенный момент времени производится регистрация параметров: температура газобетонной смеси $t_{B(i)}$, температура газовой среды над веществом $t_{2(i)}$, объем переменной измерительной емкости $V_{П(i)}$, объем бетонной смеси в емкости $V_{B(i)}$. После окончания реакции газовыделения рассчитываются значения параметров кинетики газовыделения: коэффициента вспучивания $K_{B(i)}$, коэффициента диффузии газа $D_{(i)}$, общий объем газовыделения $V_{B(i)}^{H_2}$, изменение температуры $t_{B(i)}$ по следующим формулам:

$$K_{B(i)} = \frac{V_{(i)}^{H_2}}{V_{(i)}^{H_2}} \quad (1)$$

$$V_{B(i)}^{H_2} = \frac{293,15 \times P_0 \beta_B(i) \times (V_B(i) - V_B(1))}{11325 \times (273,15 + t_{B(i)})} \quad (2)$$

$$V_{D(i)}^{H_2} = 293,15 \times P_0 \beta_{2(i)} \times \frac{V_{0(i)} - V_{B(i)}}{273,15 + t_{2(i)}} - \frac{V_{0(i)} - V_{B(i)}}{273,15 + t_{2(i)}} \quad (3)$$

$$V_{(i)}^{H_2} = V_{B(i)}^{H_2} + V_{D(i)}^{H_2} \quad (4)$$

$$D_{(t)} = \frac{V_{D(t)}^{H_2}}{V_{B(t)}^{H_2}} \quad (5)$$

где $V_{0(t)}$ – общий внутренний объем прибора, см^3 ; $V_{B(t)}^{H_2}$ – объем водорода в газобетонной смеси, см^3 ; $V_{D(t)}^{H_2}$ – объем водорода, диффундированного из газобетонной смеси, см^3 ; $V_{(t)}^{H_2}$ – общий объем водорода, образовавшегося в процессе вспучивания, см^3 ; P_0 – атмосферное давление, Па; $\beta_{2(t)} = 1 - \alpha_0 \times g_t \times (273 + t_{2(t)})$ – относительное содержание газов в газовой среде над смесью; $\beta_{B(t)}$ – относительное содержание газов в смеси; $\alpha_0 = 4,555 \text{ см}^3/\text{г.град.}$; g_t – абсолютная плотность газовой среды (при 100% - ной относительной влажности), $\text{г}/\text{см}^3$

Результаты расчетов по определению параметров кинетики газовыделения представлены на рис. 2.

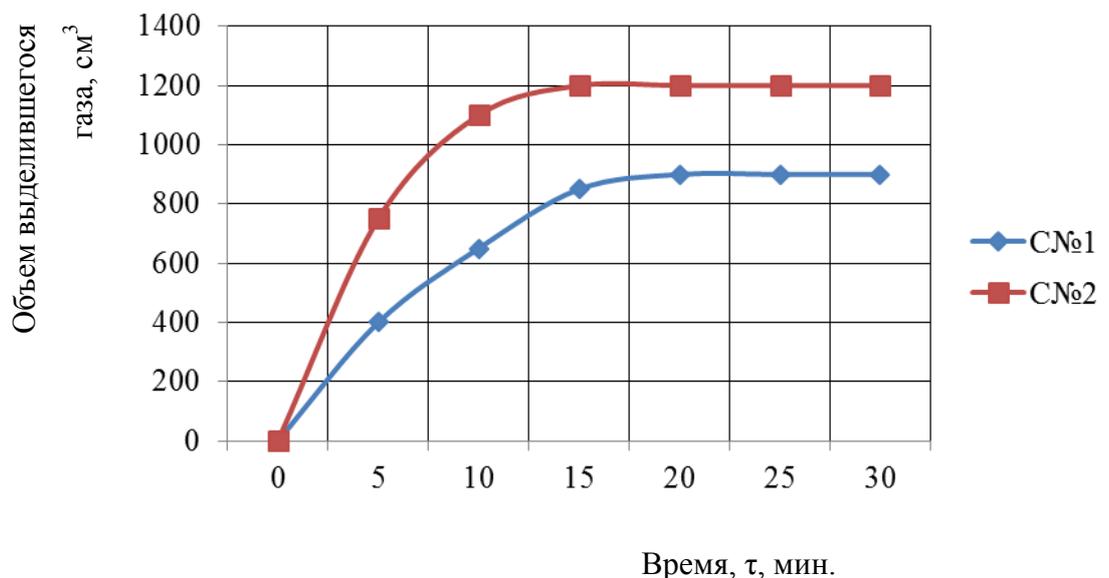
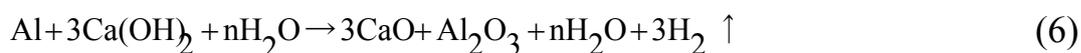


Рис. 2. – Зависимость объема выделившегося газа ($V_{(t)}^{H_2}$, см^3) в газобетонной смеси от времени (τ , min)

Выделившейся в результате реакции водород диффундирует с поверхности части алюминия в жидкую фазу, насыщая ее [3,4]. Таким образом, у поверхности частиц наблюдается образование пузырьков газа [5,6]. При этом между металлическим алюминием и гидратом окиси кальция, выделяющимся при гидролизе минералов клинкера вяжущего, происходит химическая реакция с выделением молекулярного водорода [7,8,9], как показано в уравнении (6):



Коэффициент диффузии представлен на рисунке 3.

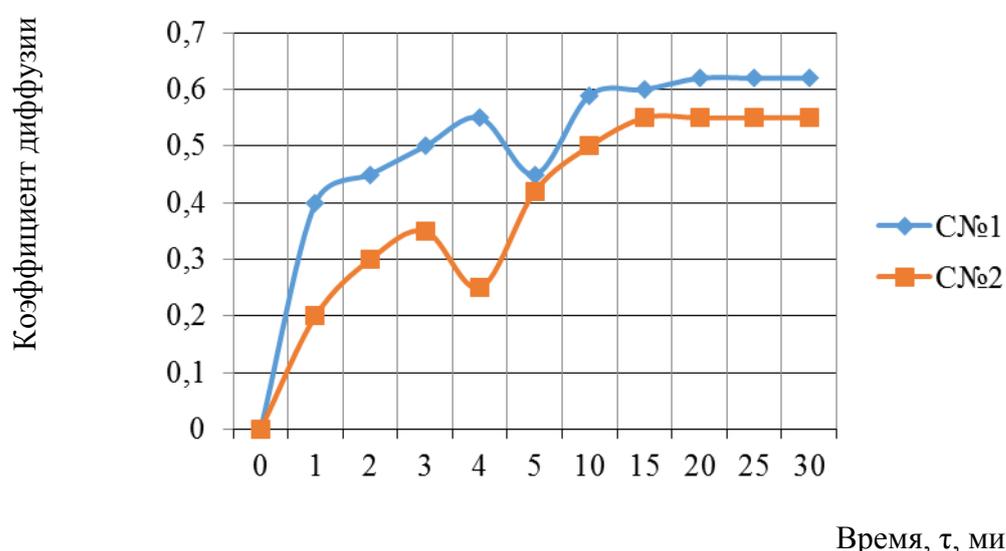


Рис. 3. – Кинетика диффузии газа из газобетонной смеси

Выводы. Исходя из проведенных исследований и сличительных испытаний, авторы делают вывод, что наилучшими результатами по кинетике вспучивания газобетонной смеси и кинетике диффузии газа из газобетонной смеси показывают газобетонные смеси с введением химических добавок в виде коллоидных растворов. При этом большая часть времени не тратится на растворение химических добавок, как в составе С№2. По полученным данным построены графики – рис. 3 и рис. 4. Результаты физико-механических испытаний исследуемых составов сведены в таблицу №2.

Таблица №2

Результаты физико-механических испытаний образцов газобетона

Наименование показателя	Наименование состава	
	С№1	С№2
Средняя плотность в сухом состоянии, кг/м ³	626	653
Предел прочности при сжатии, МПа	1,9	2,3

Исходя из таблицы №2, авторы делают вывод, что в составе С№2 кинетика диффузии газа негативно отразилась на средней плотности образцов. При этом предел прочности при сжатии образцов состава С№2 выше, чем у образцов С№1, но это легко объяснить увеличением плотности состава С№2.

Литература

1. Шуйский А.И. Оптимизация процессов структурообразования и повышения качества газобетонных изделий: дис. ... канд. тех. наук: 05.23.05. Ростов-на-Дону, 1983. С. 98-100.
2. Баранов А.Т. Улучшение свойств ячеистого бетона // Бетон и железобетон. 1981. №8. С. 9-10.
3. Волженский А.В. Минеральные вяжущие вещества. М.: Стройиздат. 1979. 476 с.
4. Вагина Л.Ф. Алюминиевые газообразователи (теоретические и практические вопросы их изготовления и применения): дис. ... канд. тех. наук: 05.23.05. М., 1971. С. 18-19.
5. Adam. M. Neville. Properties of Concrete. Pitman Books, London, 1981. 779 p.
6. Акимов А.П. Новые газообразователи на основе алюминия для ячеистого бетона: автореф. дис. ... канд. тех. наук: 05.23.05. М., 1976. 20 с.

7. PFA Utilization, Central Electricity Generating Board, Gibbons, Wolverhampton, 1972, pp. 4-6.

8. Удачкин И.В., Гончаров Ю.В. Эффективные способы повышения водозащитных свойств ячеистого бетона. М.: Стройиздат. 1980. С. 22-26.

9. Дворкин Л.И., Дворкин О.Л. Основы бетоноведения. С. Петербург: ООО «Строй-Бетон». 2006. 690 с.

10. Стельмах С.А., Щербань Е.М., Халюшев А.К., Холодняк М.Г., Нажуев М.П., Галкин Ю.В. Влияние технологических факторов на свойства неавтоклавного газобетона // Инженерный вестник Дона, 2017, № 2 URL: ivdon.ru/magazine/archive/N2y2017/4125.

11. Шуйский А.И., Стельмах С.А., Щербань Е.М., Халюшев А.К., Холодняк М.Г., Шаталов А.В. Влияние структурирующей добавки на физико-механические свойства неавтоклавного газобетона // Инженерный вестник Дона, 2017 №2 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2017/4126.

References

1. Shujskij A.I. Optimizacija processov strukturoobrazovaniya i povyshenie kachestva gazobetonnyh izdelij [Optimization of the processes of structure formation and improvement of the quality of aerated concrete products]: dis. ... kand. teh. nauk: 05.23.05. Rostov-na-Donu, 1983. pp. 98-100.

2. Baranov A.T. Beton i zhelezobeton. 1981. №8. pp. 9-10.

3. Volzhenskiy A.V. Mineral'nye vyazhushchie veshchestva [Mineral binders]. М.: Stroyizdat. 1979. 476 p.

4. Vagina L.F. Alyuminievye gazoobrazovateli (teoreticheskie i prakticheskie voprosy ikh izgotovleniya i primeneniya) [Aluminum gas generators (theoretical and practical issues of their manufacture and application)]: dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.23.05. М., 1971. pp. 18-19.



5. Adam. M. Neville. Properties of Concrete. Pitman Books, London, 1981. 779 p.
6. Akimov A.P. Novye gazoobrazovateli na osnove alyuminiya dlya yacheistogo betona [New gassing agents based on aluminum for cellular concrete]: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.23.05. M., 1976. 20 p.
7. PFA Utilization, Central Electricity Generating Board, Gibbons, Wolverhampton, 1972, pp. 4-6.
8. Udachkin I.V., Goncharov Yu.V. Effektivnyye sposoby povysheniya vodozashchitnykh svoystv yacheistogo betona [Effective ways to improve waterproof properties of cellular concrete]. M.: Stroyizdat. 1980. pp. 22-26.
9. Dvorkin L.I., Dvorkin O.L. Osnovy betonovedeniya [Bases of concrete studies]. S. Peterburg: OOO «Stroy-Beton». 2006. 690 p.
10. Stel'makh S.A., Shcherban' E.M., Khalyushev A.K., Kholodnyak M.G., Nazhnev M.P., Galkin Yu.V. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2017, №2. URL: ivdon.ru/magazine/archive/N2y2017/4125.
11. Shuyskiy A.I., Stel'makh S.A., Shcherban' E.M., Khalyushev A.K., Kholodnyak M.G., Shatalov A.V. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2017, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2017/4126.