

# **МОДИФИКАЦИЯ ЦЕМЕНТНОГО ВЯЖУЩЕГО ДИСПЕРСНОЙ ДОБАВКОЙ ВТОРИЧНОГО ПОЛИАМИДА**

***Г. Я. Мусафирова, Е. Н. Грушевская, Э. В. Мусафиров,  
Гродненский государственный университет им. Янки Купалы, Беларусь;  
М. Н. Попова, Московский государственный строительный университет***

**Ключевые слова:** цементное вяжущее, вторичный полиамид, цементно-полимерный материал, суперпластификатор

**Key words:** cement binder, secondary polyamide, cement-polymer material, superplasticizer

## **Введение**

Промышленность строительных материалов – важнейшая структурная часть строительного комплекса, от эффективности работы которой зависит успешная деятельность строительной отрасли в целом. В последнее десятилетие все более серьезной экологической проблемой становится загрязнение окружающей среды полимерными отходами. Утилизация и вторичное использование полимеров не только способствуют улучшению экологической обстановки, но и расширяют сырьевую базу строительного комплекса и других отраслей промышленности. Внедрение новых технологий, отвечающих требованиям экологической безопасности и ресурсосбережения, позволит модернизировать производство, утилизировать полимерные отходы и уменьшить их негативное воздействие на окружающую среду.

Снижение удельного веса импортной составляющей в создаваемой строительной продукции, энерго- и ресурсосбережение за счет вторичного применения полимерных отходов с целью придания новых свойств разрабатываемым материалам относятся к актуальным задачам современного строительного материаловедения. Разработке композиционных материалов на основе модифицированных минеральных вяжущих посвящено множество работ, в частности [1–8].

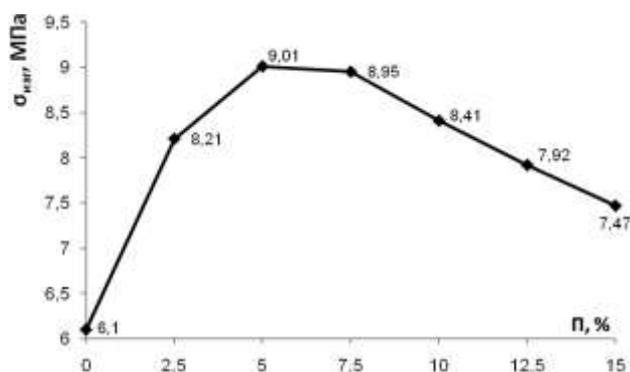
## **Методика исследований**

В состав полученного цементно-полимерного материала входили следующие компоненты: минеральное вяжущее – портландцемент ПЦ 500-Д20 (ГОСТ 10178-85) с нормальной плотностью цементного теста 25%, полимерная составляющая – вторичный полиамид (ТУ 6-13-3-88), измельченный криогенным способом в среде жидкого азота до размера частиц 0,14–0,63 мкм, пластификатор – суперпластификатор Реламикс (ТУ 5870-002-14153664-04). Цементно-полимерный материал получали путем смешивания вторичного полиамида с цементом до однородного состояния и последующего постепенного введения воды затворения с добавкой суперпластификатора Реламикс (его содержание составляло 0,45% от массы цемента по сухому веществу). Полимер вводили в количестве до 15% от массы минерального вяжущего (П/Ц = 0 ÷ 0,15).

Для определения физико-механических, гидрофизических и триботехнических характеристик цементно-полимерного материала изготавливали образцы в виде балочек размером 160x40x40 мм и кубов размером 70x70x70 мм (при этом использовали формы балочек ЗФБ-40 и формы куба ЗФК-70). После уплотнения на виброплощадке в течение 1 мин партию образцов пропаривали в пропарочной камере КУП-1 в течение 6 ч (максимальная температура теплоносителя 80–85 °С). Через 7 сут проводили исследования цементно-полимерного материала: физико-механические (предел прочности при сжатии и изгибе по ГОСТ 10180-2012), физические (средняя плотность по ГОСТ 12730.1-78), гидрофизические (водопоглощение по ГОСТ 12730.3-78) и триботехнические (истираемость по ГОСТ 13087-81). Для определения прочностных показателей использовали гидравлический пресс ВМ-3.4Д и универсальную испытательную машину Quasar 50. В ходе испытаний нагрузку постепенно увеличивали вплоть до разрушения образцов. Истираемость определяли на круге истирания ЛКИ-2. Всего проводили четыре цикла испытаний для каждого образца (общий путь истирания 600 м). После четырех циклов испытаний образцы вынимали из гнезд, обтирали сухой тканью, взвешивали и по потере массы на 1 см<sup>2</sup> оценивали сопротивление истиранию исследуемых образцов. В качестве значений характеристик цементно-полиамидных образцов принимали среднеарифметическое значение результатов шести испытаний.

## Результаты исследований

По результатам проведенных экспериментов выявлен оптимальный состав цементно-полимерного материала: П/Ц = 0,025 (содержание полиамида 2,5%). Именно при таком соотношении наблюдается повышение предела прочности при изгибе на 34% (см. рисунок). Это можно объяснить активацией адсорбционно-способных связей полиамида с минеральной матрицей цемента в щелочной среде при температуре 80–85 °С. Следует отметить, что изотермическая выдержка в процессе тепловлажностной обработки цементно-полимерного материала протекает при максимальной температуре теплоносителя 80–85 °С. Таким образом, в данной среде повышается адгезионная активность полиамида и происходит интенсивное взаимодействие органических и минеральных вяжущих, что способствует дисперсному армированию и упрочнению минеральной матрицы вследствие встраивания в структуру цементного вяжущего гранул дисперсного полиамида [5]. Об этом свидетельствуют и результаты испытаний на сжатие: при содержании в полученном материале 2,5% полиамида предел прочности при сжатии повышается на 2,4% (см. таблицу).



Зависимость предела прочности при изгибе цементно-полиамидных образцов от содержания полимера

### Характеристики цементно-полиамидных образцов

Показатели	Содержание полиамида		
	–	2,5%	5%
Предел прочности при сжатии $\sigma_{сж}$ , МПа	77,48	79,32	56,04
Средняя плотность $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	2,14	2,15	2,1
Водопоглощение $W$ , %	2,59	1,85	2,32

С увеличением содержания полимерной составляющей до 5% предел прочности при изгибе возрастает на 47,7% (см. рисунок). Обусловлено это тем, что полимерное связующее образует упругие прослойки между кристаллическими новообразованиями цементного вяжущего, адсорбируясь на его поверхности; благодаря высоким адгезионным свойствам органического связующего повышаются прочность и деформативность материала при изгибе.

Поскольку для исследуемого цементно-полимерного материала предел прочности при изгибе является основополагающим фактором (при содержании полиамида 5% предел прочности при изгибе имеет максимальное значение), другие его характеристики (предел прочности при сжатии, гидрофизические и триботехнические показатели) определяли при содержании полиамида до 5%. По всей вероятности, при содержании дисперсного полиамида в цементно-полимерном материале более 2,5% происходит ослабление минеральной матрицы, так как предел прочности образцов при сжатии снижается на 27,7% (см. таблицу). Данное предположение подтверждается анализом зависимости средней плотности цементно-полиамидных образцов от содержания в них полимера: с увеличением содержания полимера средняя плотность образцов незначительно уменьшается. Это объясняется тем, что истинная плотность полиамида в 3 раза меньше, чем цемента (соответственно 1010–1140 и 3000–3200 кг/м<sup>3</sup>).

Водопоглощение – важный гидрофизический показатель, отвечающий за долговечность строительных материалов. К тому же полиамид – гидрофильный полимер, поэтому необходимо оценить его влияние на гидрофизические свойства цементно-полиамидных образцов. При содержании полимера до 2,5% водопоглощение исследуемых образцов уменьшается в среднем на 28%, что косвенно подтверждают данные об их средней плотности (см.

таблицу). С увеличением содержания полимера сверх 2,5% удобоукладываемость смеси снижается в связи с тем, что часть воды затворения расходуется на смачивание дисперсных частиц органического связующего; растворная смесь становится более вязкой и препятствует выходу вовлеченного воздуха при виброуплотнении в процессе перемешивания состава. В результате при содержании в цементно-полиамидном материале более 2,5% полимера средняя плотность исследуемых образцов уменьшается, а их водопоглощение увеличивается в среднем на 25,4% (см. таблицу).

На основе полиамида получают износостойкие и антифрикционные материалы, поэтому в данной работе исследовали триботехнические характеристики цементно-полиамидных образцов. Соппротивление истиранию возрастает с увеличением содержания в таких материалах полимерных добавок [7, с. 516–517]. Согласно ГОСТ 13015-2003 «Изделия железобетонные и бетонные для строительства», истираемость бетона в изделиях для конструкций, работающих в условиях повышенной интенсивности движения, не должна превышать 0,7 г/см<sup>2</sup>. Истираемость цементно-полиамидных образцов с содержанием полимера 2,5% составила 0,18 г/см<sup>2</sup>, что свидетельствует о достаточно высоких износостойких характеристиках разработанного состава.

Таким образом, предложенный цементно-полимерный состав может быть положен в основу создания эффективных композиционных строительных материалов. Установлено, что наилучшие физико-механические, гидрофизические и триботехнические показатели достигаются при содержании в цементно-полиамидных образцах 2,5% полимера. Применение разработанного цементно-полиамидного состава позволит уменьшить материалоемкость, увеличить несущую способность и трещиностойкость конструкций, работающих на изгиб, повысить износостойкость покрытий, расширить сырьевую базу строительной отрасли и улучшить экологическую обстановку.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Технологические аспекты получения высокоэффективных модифицированных бетонов заданных свойств / Е. В. Ткач, Д. В. Орешкин, В. С. Семенов [и др.] // Промышленное и гражданское строительство. – 2012. – № 4. – С. 65–67.
2. Баженов Ю. М., Лукутцова Н. П., Карпиков Е. Г. Мелкозернистый бетон, модифицированный комплексной микродисперсной добавкой // Вестник МГСУ. – 2013. – № 2. – С. 94–100.
3. Модификация цементных вяжущих поливинилацетатной дисперсией / М. Н. Попова, Г. Я. Мусафiroва, Э. В. Мусафiroв [и др.] // Промышленное и гражданское строительство. – 2014. – № 5. – С. 59–61.
4. Мусафiroва Г. Я., Грушевская Е. Н., Вербищук Я. Я. Минерально-органические композиционные материалы // Механические свойства современных конструкционных материалов: междунар. научные чтения им. чл.-корр. РАН И. А. Оdingа. – М.: ИМЕТ РАН, 2014. – С. 203–204.
5. Грушевская Е. Н., Мусафiroва Г. Я., Максимович С. В. Композиционные материалы на основе минеральных вяжущих, модифицированных добавками вторичных полимеров // Перспективные направления инновационного развития строительства и подготовки инженерных кадров: сб. науч. статей XIX Междунар. науч.-метод. семинара. – Брест: БрГТУ, 2014. – Ч. 2. – С. 39–43.
6. Каприелов С. С., Шейнфельд А. В., Кардумян Г. С. Уникальные бетоны и опыт их реализации в современном строительстве // Промышленное и гражданское строительство. – 2013. – № 1. – С. 42–44.
7. Дворкин Л. И., Дворкин О. Л. Строительные минеральные вяжущие материалы. – М.: Инфра-Инженерия, 2011. – 544 с.
8. Кривобородов Ю. Р., Катаев С. А. Влияние полимерных добавок на свойства тампонажных цементов // Техника и технология силикатов. – 2014. – Т. 21, № 4. – С. 26–28.

## REFERENCES

1. Tkach E. V., Oreshkin D. V., Semenov V. S., et al. Technological aspects of production highly-effective modified controlled-quality concretes. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*, 2012, no. 4, pp. 65–67 (in Russian).
2. Bazhenov Yu. M., Lukuttsova N. P., Karpikov E. G. Fine-grained concrete modified by integrated microdispersed additive. *Vestnik MGSU*, 2013, no. 2, pp. 94–100 (in Russian).
3. Popova M. N., Musafirova G. Ya., Musafirov E. V., et al. Modification of cement binders by polyvinyl acetate dispersion. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*, 2014, no. 5, pp. 59–61 (in Russian).

4. Musafirova G. Ya., Grushevskaya E. N., Verbishchuk Ya. Ya. Mineral-organic composite materials. *Mekhanicheskie svoystva sovremennykh konstruksionnykh materialov*: Mezhdunar. nauchnye chteniya im. chl.-korr. RAN I. A. Odinga. Moscow: IMET RAN, 2014, pp. 203–204 (in Russian).
5. Grushevskaya E. N., Musafirova G. Ya., Maksimovich S. V. Composite materials based on mineral binders, modified by additives of secondary polymers. *Perspektivnye napravleniya innovatsionnogo razvitiya stroitel'stva i podgotovki inzhenernykh kadrov*: sb. nauch. statey XIX Mezhdunar. nauch.-metod. seminar. Brest: BrGTU, 2014, p. 2, pp. 39–43 (in Russian).
6. Kaprielov S. S., Sheynfel'd A. V., Kardumyan G. S. Unique concretes and experience of their implementation in modern construction. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*, 2013, no. 1, pp. 42–44 (in Russian).
7. Dvorkin L. I., Dvorkin O. L. *Stroitel'nye mineral'nye vyazhushchie materialy* [Building mineral binding materials]. Moscow: Infra-Inzheneriya, 2011, 544 p (in Russian).
8. Krivoborodov Yu. R., Kataev S. A. The influence of polymer additives on the properties of oil-well cements. *Tekhnika i tekhnologiya silikatov*, 2014, vol. 21, no. 4, pp. 26–28 (in Russian).

## СТРУКТУРООПРЕДЕЛЯЮЩИЕ КРИТЕРИИ ОКСИДНЫХ СТЕКОЛ

**Е. Ф. Медведев, Российский федеральный ядерный центр – Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики, Нижегородская обл., г. Саров;  
Р. Г. Мелконян, Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва**

**Ключевые слова:** стекло, газовая проницаемость, водород, структура, критерии  
**Key words:** glass, gas permeation, hydrogen, structure, criteria

Газовая (в частности, водородная) проницаемость стекла как вещества не относится к хорошо изученным свойствам, однако в связи с использованием стеклянных микросфер в качестве газовых микробаллонов в водородной энергетике, лазерной физике и других отраслях эта проблема становится актуальной. Под газопроницаемостью подразумевается способность стекла обмениваться с внешней средой газом путем пропускания его по системе пор от поверхности раздела «газ – стекло» через внутренний объем стекла в направлении к противоположной поверхности раздела «стекло – газ». Наиболее проницаемы для водорода кварцевое и высококремнеземистые стекла [1–3]. Следует иметь в виду, что проницаемость стекла как вещества и проницаемость стеклоизделия не тождественны: на данное свойство изделий существенно влияет дефектность поверхности, а это определяется особенностями технологии производства.

Газовая проницаемость – свойство стекла как вещества – никогда не рассматривалась с точки зрения его структуры. В известных выражениях представлена зависимость этого свойства от температуры [1, 2, 4, 5], размеров изделий [6], газовых потоков и разности давлений с обеих сторон стекла [7], времени диффузии газа [3, 8], энергии активации диффузии газа [1, 2, 4, 8], количества стеклообразующих оксидов SiO<sub>2</sub>, B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> [9]. Парадоксально, но в указанных работах, кроме [9], составы стекол никак не отражены.

В настоящей работе изложены научно обоснованные принципы разработки критериев для прогнозирования структуры и газовой проницаемости стекол силикатной, боратной и боросиликатной систем.

Для стекол, основными компонентами которых, формирующими структуру, являются SiO<sub>2</sub> и Na<sub>2</sub>O, в качестве критерия необходимо учитывать силикатный модуль  $n_{Si}^*$  (1) [10]:

$$n_{Si} = \frac{C_{SiO_2}}{C_{Na_2O}}, \quad (1)$$

где  $C_{SiO_2}$ ,  $C_{Na_2O}$  – содержание соответственно оксидов SiO<sub>2</sub> и Na<sub>2</sub>O, мол. %.

---

\* Для обозначения модуля в литературе применяют символ  $M$ , но этим же символом обозначают и молярную массу, поэтому для силикатного модуля использован символ  $n_{Si}$ .