

УДК 69.003

# ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ И ЭКОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА НАНОЦЕМЕНТОВ. О ВОЗМОЖНОСТИ СНИЖЕНИЯ УДЕЛЬНЫХ ЗАТРАТ ТОПЛИВА И ВЫБРОСОВ ГАЗОВ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ЦЕМЕНТА

М.Я. БИКБАУ, доктор хим. наук, академик РАН, генеральный директор ОАО «Московский ИМЭТ»,  
В.И. ЖАРКО, канд. техн. наук, технический директор СМПРО

*Ключевые слова: технология, портландцемент, модификация, наноцемент, энергосбережение, минеральная добавка, клинкер, цементный камень, парниковые газы*

*Keywords: technology, Portland cement, modification, nanocement, energy-saving, mineral supplement, clinker, cement stone, greenhouse gases*

**В статье анализируется технология модификации портландцемента в наноцемент, которая позволяет радикально пересмотреть стратегию развития цементной промышленности, дает возможность снизить удельные затраты топлива и выбросы CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> и SO<sub>2</sub> на каждую тонну цемента в 2–3 раза с минимальными капиталовложениями, решая одновременно проблемы энергосбережения, экологии и увеличения выпуска объемов высококачественного цемента.**

Новая технология модификации портландцемента в энергосберегающий наноцемент в процессе измельчения клинкера или домола цемента позволяет реализовать ввод в цемент до 70% масс. минеральных добавок с обеспечением высокой марочности – класса такого малоклинкерного наноцемента не менее 42,5 со снижением на каждую тонну цемента для мокрого способа удельных затрат топлива с 200 кг до 60 кг, а фактических выбросов CO<sub>2</sub> – с 1070 до 320 кг. Столь высокие результаты достигнуты с вводом в цемент 70% масс. минеральной добавки в виде тонкоизмельченного кварцевого песка, считающегося наиболее инертным материалом, но в малоклинкерных наноцементах участвующим в активном химическом взаимодействии и формирующим быстротвердеющий плотный и прочный цементный камень.

Несколько лет назад был обнародован прогноз правительства США, по которому мировые выбросы диоксида углерода возрастут к 2030 г. на 75%. К такому выводу пришли составители ежегодного прогноза из Управления по энергетической информации, статистического подразделения Министерства энергетики США.

По данным специалистов управления, количество выбросов CO<sub>2</sub> по всему миру возрастет с 29 млрд тонн в 2010 г. до 43,7 млрд тонн к 2030 г., если не будут приняты дополнительные меры по их сокращению, сообщило агентство Reuters.

Большинство ученых сходятся во мнении, что увеличение выброса парниковых газов вызывает повышение температуры и может привести к таким катастрофическим изменениям, как тепловые волны, сильнейшие ураганы

и таяние полярных льдов, в результате чего к 2100 году уровень моря поднимется на один метр. Наибольшее количество парниковых газов выделяется при сгорании ископаемого топлива – нефти, газа и угля. Возрастающее использование в качестве топлива угля имеет место в США, Индии и Китае. В частности, при растущем производстве цемента это может привести к тому, что в период с 2015-го по 2030 г. оно превзойдет по выделению CO<sub>2</sub> даже нефть.

Производство значительных объемов цемента требует сжигания ежегодно сотен миллионов тонн топлива и сопровождается выбросом значительных объемов тепла, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> и SO<sub>2</sub>, влияющих на изменение климата на планете. Только объем выброса в атмосферу цементными заводами CO<sub>2</sub> составляет около 850 кг на каждую тонну цемента по сухому и около 1000 кг по мокрому способу производства, составляя ежегодно десятки миллиардов кубометров вредного газа. К существующим тысячам цементных заводов ежегодно прибавляются новые предприятия в КНР, Индии, Латинской Америке и других развивающихся странах.

Совершенствование технологии портландцемента осуществляется в двух ключевых направлениях снижения удельных затрат топлива и выбросов CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> и SO<sub>2</sub>: оптимизация агрегативного оформления обжига и помола цементного клинкера; введения в портландцемент энергосберегающих минеральных добавок.

По первому направлению мировой цементной промышленностью достигнуты значительные успехи – создано высокопроизводительное оборудование, системы утилизации тепла, очистки воздуха и т.п. Машиностроителями производятся комплектные технологические линии мощностью от 3 до 4 млн тонн цемента в год.

Второе направление, к сожалению, практически остановилось в развитии. Среднее количество минеральных добавок, вводимых в портландцемент в мире, составляет около 15% его массы. Так количество минеральных добавок, введенных в 2013 г. цементными заводами России, составило около 8% масс. и значительно снизилось за последние десятилетия. В то же самое время мировые нормативные документы цемент-

тников, соответствующие стандартам, принятым в Европе (EN 197-1) и США (ASTM), предусматривают значительно большие возможности ввода минеральных добавок.

Так, в цементах СЕМ III/A может содержаться 36-65% добавок, в СЕМ III/B 66-80% и в СЕМ III/C 81-95% минеральных добавок. В СЕМ Y/A рекомендуется ввод 36-60% добавок, в СЕМ Y/B 64-80% минеральных добавок. Однако цементные заводы во всем мире не спешат работать по принятым стандартам и производят в подавляющей части бездобавочный портландцемент СЕМ I классов 42,5 и 52,5. Это важнейшее обстоятельство связано со значительным снижением свойств цементов с минеральными добавками, в соответствии с чем строительные организации предпочитают покупать бездобавочный портландцемент.

Эксперты, тем не менее, предполагают увеличение объемов применяемых к цементу минеральных добавок в мире: к 2020 г. – 26% масс., к 2030-му – 27% масс. и к 2050 г. – 28% масс. Совершенствование строительно-технических свойств производимых во всем мире портландцементов давно остановилось в развитии, что уже несколько десятков лет не позволяет сколько-нибудь ощутимо повысить классы по прочности более 42,5-52,5. Цементные заводы по всему миру десятилетиями производят практически одинаковый продукт.

Российские ученые разработали технологию модификации портландцемента, позволяющую радикально повысить его строительно-технические свойства, в первую очередь марочную прочность (класс) цементов до уровня 92,5-102,5, а также реализовать ввод минеральных добавок в клинкер при его помоле в объеме до 70% масс с обеспечением высоких строительно-технических свойств цементов (табл. 1).

Сущность новой технологии модификации портландцемента в наноцемент – в формировании на поверхности зерен портландцемента в процессе механохимической активации, совмещенной с помолем портландцемента, наноразмерных по толщине сплошных оболочек – капсул из специального модификатора.

Базовая технологическая схема получения энергосберегающих малоклинкерных наноцементов с применением минеральных добавок приведена на рисунке.

Более чем 25-летний опыт работ по созданию технологии модификации портландцемента в наноцемент, производству опытно-промышленных и промышленных партий нового материала в объеме нескольких миллионов тонн позволил разработать впервые в мире нормативную базу наноцементов.

Результаты сертификационных испытаний наноцементов с применением существующих ГОСТов показали их полное соответствие разработанным дочерней фирмой ОАО «Московский ИМЭТ» – ЗАО «ИМЭТ» ТУ 5733-067-66331738-2012 «Наноцемент общестроительный. Технические условия». Наноцементы, сохраняя стандартные сроки схватывания, отличаются от базового портландцемента большей удельной поверхностью, при полном сохранении равномерности изменения объема и значительно более низкими значениями нормальной плотности цементного теста (в среднем 17-20% вместо 26-27% у базового портландцемента). При столь низкой водопотребности цементно-песчаные смеси харак-

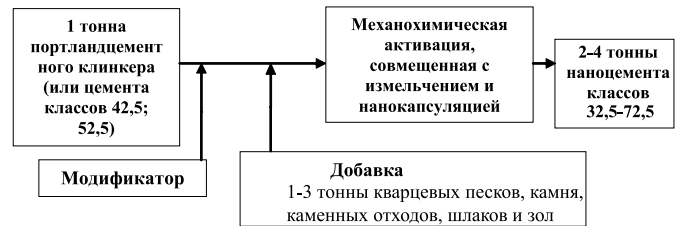


Рисунок. Принципиальная схема производства малоклинкерных наноцементов

теризуются весьма высокой подвижностью (расплав конуса у всех составов наноцемента 145-153 мм против 115 мм у исходного портландцемента – см. табл.).

По основным показателям – темпам твердения и прочности на сжатие и изгиб – все составы наноцементов превосходят базовый портландцемент по всем строительно-техническим свойствам, позволяя повысить класс цемента с 42,5-52,5 до 72,5-82,5. Темп твердения наноцементов в нормальных условиях – беспрецедентный для портландцементов. Так, наноцемент 90 уже в двое суток позволяет в цементном камне достичь рекордных показателей: прочности на сжатие 53,8 МПа, а на изгиб – 7,1 МПа. Наноцемент 75 уже в 7 суток нормального твердения позволяет получить в камне прочность на сжатие 68,5 МПа, а на изгиб – 8 МПа.

Особенно важным является интенсивный набор прочности цементного камня на основе малоклинкерных энергосберегающих наноцементов в начальные сроки твердения. Так, наноцемент 55, имеющий в своем составе только 55% масс. наномодифицированного портландцемента, в 2 суток нормального твердения показал в камне прочность на сжатие 49,3 МПа, а на изгиб – 6,3 МПа, достигнув в 28 суток твердения прочности на сжатие 77,5 МПа и на изгиб – 8,2 МПа (см. табл.).

Анализ результатов промышленных выпусков различных цементов, приведенный в таблице, показывает, что применение технологии нанокапсуляции позволяет снизить в цементе количество дорогого цементного клинкера в 3 раза с получением марочной прочности цементного камня (в 28 суток твердения), превышающей таковую для цемента без добавок.

В таблице приведены результаты сертификационных испытаний наноцементов различного состава на основе модифицированного портландцемента ПЦ-500 ДО-Н ЗАО «Осколцемент» и указанного ординарного портландцемента при вариациях его содержания в наноцементных от 90 до 30 масс. %, проведенных в 2012 г. ГУП «НИИМосстрой» совместно с АНО «НАНОСЕРТИФИКА».

В 2012 г. осуществлена сертификация наноцементов 6 видов в АНО «НАНОСЕРТИФИКА» при ОАО «Росnano», подтвердившая полное соответствие производимых наноцементов ТУ 5733-067-66331738-2012 «Наноцемент общестроительный. Технические условия».

Впервые в мире наноцементы определены как наносодержащая продукция класса Б, подтверждено наличие нанооболочки на зернах цемента и получены сертификаты соответствия наноцементов, разделенных по качеству на классы: 82,5; 72,5; 62,5; 52,5; 42,5 и 32,5. На полученных сертификатах приведены данные испытаний безопасности производства и применения наноцементов.

Разработанная впервые в мире технология малоклинкер-

ных наноцементов дает возможность радикального, в 2–3 раза уменьшения удельных затрат топлива и выбросов  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$  и  $\text{CO}_2$  на тонну цемента за счет снижения содержания портландцементного клинкера в малоклинкерных наноцементах до 30–45% с сохранением строительно-технических свойств бездобавочного портландцемента (см. табл.). Полученные характеристики марочности наноцементов – наиболее высокие за всю историю мировой цементной промышленности. Достигнутые показатели являются высшим достижением в технологии цемента по сочетанию энергосбережения и качества. Весьма важным является промышленная безопасность производств и применения наноцемента, подтвержденная работой и экспертизами специализированных организаций и полученными сертификатами АНО «НАНОСЕРТИФИКА».

Новый подход значительно меняет представления о потенциале цемента как вяжущих веществ, повышает эффективность их применения при реализации явления нанокапсуляции, позволяет использовать тонкодисперсные минеральные добавки как активный реагент формирования цементного камня. Наноцементы позволили углубить и развить представления о морфологии и свойствах цемента, их способности к гидратации и твердению, дать объяснение на атомарном и молекулярном уровнях о процессах формирования гидросиликатного цементного камня в бетонах с оригинальной микроструктурой, создаваемой методом молекулярного наслаивания.

Малоклинкерные наноцементы – наноцементы 30, 35, 45, 55 (см. табл.) при обеспечении высоких строительно-технических свойств цемента позволяют не только снизить до 2–3 раз удельные затраты топлива и выбросы  $\text{CO}_2$  на тонну цемента, но и значительно снизить себестоимость.

Получение наноцементов и бетонов на их основе позволяет радикально продвинуть возможности совершен-

ствования и производства более качественных цемента и бетонов, энергосбережения и утилизации различных промышленных отходов, использования некондиционных нерудных материалов, существенного снижения выбросов  $\text{CO}_2$  с одновременным увеличением объемов производства основных строительных материалов современности.

При этом весьма важной для улучшения экологической обстановки является установленная возможность эффективного применения в производстве малоклинкерных наноцементов промышленных отходов в виде шлаков, зол различных предприятий энергетики, металлургии и других отраслей промышленности, терриконы из которых занимают значительные земельные участки вокруг крупных городов. Цементный клинкер заменяется в цементе на значительные объемы шлаков, зол и мелкозернистых песков, решая одновременно важную экологическую проблему переработки промышленных отходов в виде шлаков, зол и некондиционного природного мелкого и крупного заполнителей бетона.

Достаточно указать на то, что в России объемы шлаков и зол в терриконах достигли 80 млрд тонн и продолжают ежегодно возрастать, аналогичная картина отмечается в КНР, Индии и других развивающихся странах.

Таким образом, реализация технологии наноцементов позволяет комплексно решить вопросы энергосбережения в столь энергоемкой отрасли, как цементное производство, проблемы повышения качества и объемов выпуска цемента – главного строительного материала и улучшить экологическую обстановку за счет эффективной переработки в малоклинкерные наноцементы значительных объемов основных промышленных отходов: шлаков, зол и т.п.

Реализация технологии малоклинкерных наноцементов дает реальную возможность:

Таблица. Строительно-технические характеристики наноцементов, испытанных на соответствие ТУ 5733-067-66331738-2012 «Наноцемент общестроительные. Технические условия» (испытательная лаборатория ГУП «НИИМосстрой», 2012 г.)

| Наименование пробы   | Предел прочности в МПа образцов нормального твердения |            |                   |            |                    |            | Нанооблочка, толщина, мм | Удельные показатели** на тонну цемента, кг |                      |
|--|---|------------|-------------------|------------|--------------------|------------|--------------------------|--|----------------------|
|  | в возрасте 2 сут.                                     |            | в возрасте 7 сут. |            | в возрасте 28 сут. |            |                          | затраты топлива                            | выброс $\text{CO}_2$ |
|  | при изгибе  | при сжатии | при изгибе        | при сжатии | при изгибе         | при сжатии |                          |  |                      |
| Портландцемент исходный ПЦ-500 ДО-Н «Осколцемент» партия № 654 | 2,9   | 21,3       | -                 | -          | 6,4                | 54,4       | Отсутствует              | 200  | 1070                 |
| НАНОЦЕМЕНТ 90* К 82,5  | 7,1   | 53,8       | 8,0               | 72,6       | 8,7                | 82,7       | 30-120                   | 180  | 960                  |
| НАНОЦЕМЕНТ 75 К 72,5   | 6,9   | 54,7       | 8,0               | 68,5       | 8,5                | 77,8       | 30-115                   | 150  | 802                  |
| НАНОЦЕМЕНТ 55 К 62,5   | 6,3   | 49,3       | 7,5               | 65,4       | 8,2                | 77,5       | 15-100                   | 110  | 588                  |
| НАНОЦЕМЕНТ 45 К 52,5   | 4,8   | 39,9       | 6,7               | 57,4       | 7,9                | 68,1       | 18-95                    | 90   | 481                  |
| НАНОЦЕМЕНТ 35 К 42,5   | 3,9   | 30,7       | 5,8               | 46,6       | 7,2                | 61,4       | 15-100                   | 70   | 374                  |
| НАНОЦЕМЕНТ 30 К 32,5   | 3,0   | 20,4       | 5,6               | 46,4       | 7,6                | 52,1       | 14-85                    | 60   | 321                  |

\* – Цифра здесь и далее означает количество портландцемента в наноцементе, остальное – тонко молотый вместе с цементном кварцевый песок; \*\* – материалы минеральных добавок для упрощения расчетов считаются сухими, для базового цемента учтен мокрый способ производства

- снизить удельные затраты топлива на тонну цемента на 40-60 кг;
- радикально — в 1,5-2 раза повысить качество цемента при снижении его расхода в бетонах;
- в 1,5-1,7 увеличить объемы производства на любом цементном заводе без строительства переделов по обжигу клинкера — только за счет развития помольных отделений;
- создать компактные технологические линии по модификации портландцементного клинкера или цемента в малоклинкерные наноцементы на предприятиях по производству бетона;
- снизить удельные выбросы NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> и CO<sub>2</sub> действующими цементными заводами на тонну наноцемента на 30-40%;
- увеличить сроки возможного хранения наноцементов с 2 месяцев по международному и российскому стандартам до года и более;
- снизить себестоимость производства цементов на 20-25%;
- уменьшить стоимость бетонов на наноцементных за счет снижения расхода портландцемента и применения местных нерудных с экономией затрат в пределах от 500 до 1000 руб. на куб. м бетонной смеси.

#### Выводы:

Полученные характеристики бетонов на наноцементных по своим строительно-техническим характеристикам демонстрируют возможность значительного повышения качества бетонов в России — до уровня, превышающий мировой. Особенно важной в плане энергосбережения при

производстве цемента и совершенствовании технологии бетона является перспектива производства малоклинкерных наноцементов, которая дает возможность радикального уменьшения удельных энергозатрат на тонну цемента за счет снижения содержания портландцементного клинкера в таких цементах до 35-45% масс. с сохранением высоких строительно-технических свойств материалов.

Освоение технологии наноцементов позволит изменить всю стратегию развития мировой цементной промышленности, увеличить объемы мирового производства цемента в 1,5-2 раза без строительства новых цементных заводов и сырьевых карьеров — только за счет расширения мощности помольных отделений.

#### Библиографический список

1. Гузь В.А., Жарко В.И., Кабанов А.А., Высоцкий Е.В. Цементная промышленность России в 2011 году / Цемент и его применение, № 12, 2012, с. 28-32.
2. Гузь В.А., Жарко В.И., Кабанов А.А. Цемент в России: производственные мощности, выпуск, потребление / Цемент и его применение, № 1, 2014, с.12-14.
3. Бикбау М.Я. Нанотехнологии в производстве цемента. - М.: ОАО «Московский ИМЭТ», 2008, - 768 с.
4. Бикбау М.Я. Нано-, микро- и макрокапсуляция — новые направления получения материалов и изделий с заданными свойствами. — В сб.: «Цемент. Бетон. Сухие строительные смеси». Санкт-Петербург: AlitInform, № 6 (12), 2009, с. 62-69.
5. Бикбау М.Я. Новые цементы и бетоны. Открытие явления нанокануляции дисперсных веществ // ЖБИ и конструкции, № 4, 2012, с. 64-72.

# СтройЭКСПО. ЖКХ

39 Всероссийская специализированная выставка

## СТРОИТЕЛЬСТВО

- Новые технологии в строительстве • Быстровозводимые здания и сооружения
- Металлоконструкции • Строительные и отделочные материалы • Кровля. Фасады. Изоляция
- Окна. Двери. Ворота • Строительное и промышленное оборудование

## СИСТЕМЫ И ИНЖЕНЕРНЫЕ СЕТИ

- Системы очистки воды, водоочистители • Канализационные системы и оборудование
- Системы вентиляции и кондиционирования • Системы водоснабжения и отопления
- Котельное оборудование. Насосы • Трубы. Запорная и регулирующая арматура

## УПРАВЛЕНИЕ ЖИЛИЩНЫМ ФОНДОМ

- Реконструкция, ремонт и содержание объектов жилищного фонда
- Локальный ремонт труб и трубных конструкций
- Материалы и оборудование для диагностики и санации
- Новые формы управления ЖКХ
- Коммунальные машины и механизмы для ЖКХ

ВСЁ ДЛЯ КАЧЕСТВЕННОГО РЕМОНТА  
И НАДЕЖНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА!

2015

**23-25**  
**СЕНТЯБРЯ**

**ВОЛГОГРАД**  
**ЭКСПОЦЕНТР**

Организатор  
 **Волгоград**  
**ЭКСПО**  
выставочный центр

(8442) **93-43-02**  
volgogradexpo.ru  
info@volgogradexpo.ru

Организатор оставляет за собой право вносить изменения в программу выставки.