

## НАНОЦЕМЕНТЫ – БУДУЩЕЕ МИРОВОЙ ЦЕМЕНТНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ И ТЕХНОЛОГИИ БЕТОНОВ

**Бикбау М.Я.,**

академик Российской академии естественных наук, докт.хим. наук,

Генеральный директор ОАО «Московский ИМЭТ»

**Шикун В.Н.,**

Зам.Генерального директора по производству

*Изобретение цемента и бетона является выдающимся достижением человечества, позволившим создать на планете индустриальное строительство жилья, инженерных сооружений и транспортных магистралей. Почти все, что сегодня строится на планете, выполняется с применением портландцемента, ежегодный объем производства которого превысил 3,8 млрд. т. Объемы производства бетона на основе портландцемента превысили 15 млрд.т и продолжают стремительно увеличиваться: бетонные плотины и дорожные магистрали, причалы и аэродромы, мосты и стадионы, телевизионные вышки и небоскребы, многие млрд. кв. м жилья ежегодно.*

*Производство таких значительных объемов цемента требует сжигания ежегодно более 500млн.т. топлива и сопровождается выбросом значительных объемов тепла,  $NO_x$ ,  $SO_2$  и  $CO_2$ , уже влияющих на изменение климата на планете – только объем выброса в атмосферу цементными заводами  $CO_2$  составляет около 850 кг на каждую тонну цемента, составляя ежегодно более 3 млрд. т. или в виде газа более 70 млрд.куб м. К существующим тысячам цементных заводов ежегодно прибавляются десятки новых предприятий в КНР, Индии, Латинской Америке и других развивающихся странах, растут объемы перевозок цемента.*

*Выдающееся достижение открытия возможности модификации портландцемента в наноцемент, описанное в настоящем докладе, позволяет пересмотреть стратегию развития мировой цементной промышленности и дает возможность уже сегодня получить дополнительно более 2 млрд.т. цемента :*

- без строительства заводов по обжигу цементного клинкера;
- без необходимости открытия новых карьеров известняков и глин;
- без сжигания топлива и загрязнения атмосферы выбросами  $NO_x$ ,  $SO_2$  и  $CO_2$ , а также пыли и тепла;
- с превращением в высококачественный цемент огромных объемов скопившихся техногенных отходов – шлаков, зол, отходов переработки камня, ухудшающих экологию планеты и неиспользуемые, непригодные для строительства, мелкозернистые пески пустынь и распространенных песчаных карьеров ;
- с повышением сохранности цемента до года и более, снижением себестоимости производства цемента и уменьшением затрат на его транспортировку;
- с повышением качества и долговечности бетонов, уменьшением расхода портландцемента в бетонных смесях в 2-3 раза, снижением затрат на их производство.

Крупнейшая в мире цементная промышленность, на примере КНР развивается высокими темпами. Китайская промышленность вышла на первое место в мире по объему производства цемента. Если в 1990 г. производства цемента составляло 210 млн.т, то в 2012 г. уже 2,18 млрд. тонн, а в 2014 году производство цемента в КНР оценивается в 2,5 млрд.т что составляет 70% мирового объема производства. На цементную промышленность в Китае приходится более 8% общего мирового промышленного потребления энергии, а также более 13% общего объема выбросов  $CO_2$ . В 2012 г. экспорт цемента из Китая составил 11,997 млн.т. и повысился на 13% к 2011 г.

Модернизация цементной промышленности России, Китая, Индии и других стран предусматривает реконструкцию заводов мокрого способа производства с переводом их на сухой способ, замену устаревших печей на новые установки с вращающимися печами, декарбонизаторами и применением циклонных теплообменников.

В 2011 г. производство цемента с использованием печей, оборудованных запечной системой теплообменников, достигла 1,8 млрд. т, а доля этого цемента составила 89% .

Только в 2012 г. в КНР были введены в эксплуатацию 124 технологические линии общей мощностью 160 млн.т в год, в том числе:

- 3 линии производительностью 10000 т кл/сут – 6,58%;
- 75 линий производительностью 4000-8000 т кл/сут – 70,47%;
- 45 линий производительностью 2000-4000 т кл/сут – 22,8%;
- 1 линия производительностью 1500 т кл/сут – 0,29%.

Повышение эффективности цементного производства в Китае и Индии решается путем реализации комплексных национальных программ. Программы содержат такие мероприятия как:

- развитие энергоэффективных технологий на всех этапах технологического процесса;
- использование альтернативного топлива и сырьевых материалов;
- использование отходов других производств;
- увеличение доли активных минеральных добавок в цементе.

Использование этих мероприятий позволяет сократить удельное потребление энергии, объемы выбросов  $CO_2$ ,  $NO_x$  и  $SO_2$ , увеличение объемов применения промышленные отходы.

*Разработанная в последние десятилетия российскими учеными технология модификации портландцемента в наноцемент, позволяет радикально пересмотреть стратегию развития цементной промышленности, дает возможность снизить удельные затраты топлива и выбросы  $CO_2$ ,  $NO_x$  и  $SO_2$  на каждую тонну цемента не на 8-10 % как планируется в настоящее время самыми передовыми цементными заводами, а в 1,5-3 раза с минимальными капиталовложениями, решая одновременно проблемы энергосбережения, экологии и увеличения объемов высококачественного цемента.*

Новая технология финишной операции технологии модификации портландцемента при измельчении клинкера, с нашей точки зрения, является самым выдающимся достижением в развитии химии и технологии производства портландцемента за три века совершенствования главного строительного материала современности.

*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 (1,2).*

Базовая технологическая схема получения энергосберегающих малоклинкерных наноцементов с применением минеральных добавок приведена на рис 1 .

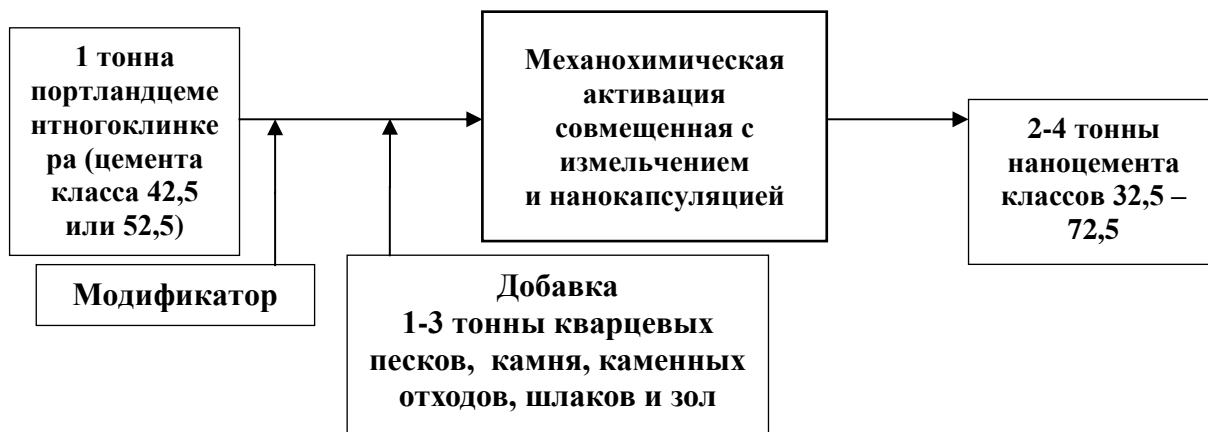


Рис. 1. Принципиальная схема производства малоклинкерных наноцементов

## Строительно-технические свойства наноцементов

*Совершенствование строительно-технических свойств производимых во всем мире портландцементов давно остановилось в развитии и уже несколько десятков лет не позволяет сколько-нибудь ощутимо повысить их активность более классов по прочности 42,5 – 52,5. В настоящее время цементные заводы по всему миру производят практически одинаковый продукт, качество которого определяется классом или марочностью, включающими комплекс требований к строительно-техническим свойствам, при этом основными характеристиками является прочность образцов камня на сжатие и изгиб в 28 суток твердения с вариациями по темпу набора прочности до этого периода.*

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

В табл. 1 приведены результаты сертификационных испытаний наноцементов различного состава на основе модифицированного портландцемента ПЦ-500 Д 0Н ЗАО «Осколцемент» и указанного ординарного портландцемента при вариациях его содержания в наноцементе от 90 до 30 % мас., проведенные в 2012 году ГУП «НИИМОСстрой» совместно с АНО «НАНОСЕРТИФИКА».

Результаты сертификационных испытаний наноцементов с применением существующих ГОСТ 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 характеризуются весьма высокой подвижностью (расплыв конуса у всех составов наноцемента 145 – 153 мм против 115 мм у исходного портландцемента - табл.1).

*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 рекордные показатели: прочности на сжатие 53,8 МПа, а на изгиб 7,1 МПа, а наноцемент 75 уже в 7 суток нормального твердения позволяет получить в камне прочность на сжатие 68,5 МПа, а на изгиб 8,0 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% мас. модифицированного портландцемента, в двое 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 (табл 1).

Анализ результатов промышленных выпусков различных цементов, приведенный в табл.1 показывает, что применение технологии нанокапсуляции позволяет снизить в цементе количество дорогого цементного клинкера в три раза с получением марочной прочности цементного камня (в 28 суток твердения) превышающей таковую для цемента без добавок.

В 2012 году осуществлена сертификация наноцементов шести видов в АНО «НАНОСЕРТИФИКА» при ОАО «РОСНАНО», подтвердившая полное соответствие производимых наноцементов ТУ – 5733-067-66331738-2012 «Наноцемент общестроительный. Технические условия». В конце 2014 года в Российской Федерации утвержден национальный предстандарт 19-2014 «Портландцемент наномодифицированный. Технические условия» и начато международное патентование наноцементов.

Впервые в мире наноцементы определены как *наносодержащая продукция класса Б*, подтверждено наличие нанооболочки на зернах цемента и получены Сертификаты соответствия нананоцементы, разделенные по качеству на классы: 82,5; 72,5; 62,5; 52,5; 42,5 и 32,5 - фото Сертификата соответствия, например, на Наноцемент 90, класса 82,5 на рис 2,3. На полученных сертификатах (рис 2,3 и 9,10) приведены данные безопасности производства и применения наноцементов.

*Разработанная впервые в мире технология малоклинкерных наноцементов дает возможность радикального, в 1,5-3 раза, уменьшения удельных затрат топлива и выбросов  $NO_x$ ,  $SO_2$  и  $CO_2$  на тонну*

цемента за счет снижения содержания клинкера в таких малоклинкерных наноцементеах до 30 % с сохранением строительно-технических свойств бездобавочного портландцемента (табл.1).

По основным показателям - темпам твердения, прочности на сжатие и изгиб все составы наноцементов превосходят базовый портландцемент по всем свойствам, позволяя повысить класс цемента с 42,5 — 52,5 до 72,5 – 82,5 .Темп твердения наноцементов в нормальных условиях рекордный. Так наноцемент 90 уже в двое суток позволяет в цементном камне достичь рекордные показатели: прочности на сжатие 53,8 МПа, а на изгиб 7,1 МПа ,а наноцемент 75 уже в 7 суток нормального твердения позволяет получить в камне прочность на сжатие 68,5 МПа ,а на изгиб 8,0 МПа .

Особенно важным является интенсивный набор прочности цементного камня на основе малоклинкерных энергосберегающих наноцементов в начальные сроки твердения в нормальных условиях - так наноцемент 55, имеющий в своем составе только 55 % масс. модифицированного портландцемента в двое суток 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, а на изгиб 8,2 МПа (табл 1).

*Полученные характеристики марочности наноцементов наиболее высокие за всю трехвековую историю цементной промышленности. Достигнутые показатели являются высшим мировым достижением в технологии цемента по сочетанию энергосбережения, экологии и качества .*

### **Новые представления о морфологии портландцемента и наноцемента.**

Проведенные исследования разработанным нами оригинальным методом просвечивающей электронной микроскопии показали, что зерна минералов портландцементного клинкера, в отличие от существовавших ранее представлений ,имея размеры от нескольких до нескольких десятков *мкм* на самом деле являются сложными полиминеральными конгломератами, сформированными из значительно более мелких, размером от нескольких десятков до 100 *нм*, частиц моно- и поли-кристаллов двух основных клинкерных минералов – трехкальциевого силиката (алита) и двухкальциевого силиката (белита), соединенных плоскостями спайности и омоноличенных тонкими прослойками стеклофазы состава от  $4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$  до  $6\text{CaO}\cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$  ,частично кристаллизующейся в зависимости от скорости принудительного охлаждения клинкера. В клинкерных зернах портландцемента наблюдаются также и вкрапления небольшого количества трехкальциевого алюмината.

Выполненные впервые в мире исследования реального размера кристаллов минералов в промышленных клинкерах доказали, что *по микроструктуре портландцементный клинкер сам по себе является нанопродуктом*. Формирование в портландцементном клинкере моно- и поли-кристаллов клинкерных минералов весьма небольших размеров ( менее 100 *нм*) связано с крайне неравновесными условиями обжига клинкера и необходимостью высокой теплонапряженности для кристаллизации тугоплавких (температуры плавления алита и белита более 2000 °С ) минералов.

Кристаллизация алита и белита при формировании портландцементного клинкера даже в присутствии жидкой клинкерной фазы происходит при температуре в зоне спекания 1450-1500°С периодически и весьма кратковременно ( от нескольких – до одного десятка сек) в связи с интенсивным перемещением слоя клинкерных гранул при обжиге во вращающихся печах, когда градиент температуры на поверхности и внутри слоя достигает сотни градусов . Определение реальной морфологии и идентификации состава клинкерных минералов усложняется полиморфизмом основных цементных фаз - алита и белита, суммарное количество которых в клинкере составляет от 65 до 85 % масс. Алиты и белиты кристаллизуются каждый в семи известных кристаллографических модификациях атомных структур (3,4) , превращения и сохранение которых зависят от состава сырьевых смесей, наличия примесных элементов, скорости спекания и охлаждения клинкера.

### ХАРАКТЕРИСТИКИ НАНОЦЕМЕНТОВ

испытанных на соответствие ТУ 5733-067-66331738-2012 «Наноцемент общестроительный. Технические условия» и национального предстандарта 19 -2014 «Портиландцемент наномодифицированный»

Испытательной лабораторией ГУП «НИИМОССтрой», 2012г.

Наименование пробы	Предел прочности образцов нормального твердения , МПа						Нано-оболочка , толщина, <i>nm</i>	Удельные показатели** на тонну цемента, кг	
	в возрасте 2 суток		в возрасте 7 суток		в возрасте 28 суток			затраты топлива	выброс CO <sub>2</sub>
	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 кварцевый песок

-\*\* Взяты сравнительные показатели из расчета базовых для портландцемента завода «Осколцемент», работающего по мокрому способу производства

Алиту и белиту в клинкере характерно блочное строение, с ярко выраженными двойникованием, сростанием, дефектной поверхностью и включениями фаз. Характерные зерна портландцемента имеют мозаичную морфологию (рис 4). Пористость клинкерных частиц колеблется в пределах 7- 10 % масс., ее наличие фиксируется в виде более светлых участков в дисперсных клинкерных зернах.

АВТОНОМНАЯ НЕКОММЕРЧЕСКАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ  
«ЦЕНТР СЕРТИФИКАЦИИ ПРОДУКЦИИ И СИСТЕМ МЕНЕДЖМЕНТА  
В СФЕРЕ НАНОИНДУСТРИИ» (АНО «НАНОСЕРТИФИКА»)

**СЕРТИФИКАТ СООТВЕТСТВИЯ**

№ 0000043

**НАНОСЕРТИФИКА**  
Система добровольной сертификации  
продукции наноиндустрии  
(рег. № РОСС RU.И750.04НЖ01)

№ РОСС RU.И750.НЖ02.000039 Срок действия с 10.12.2012 по 09.12.2015

**ОРГАН ПО СЕРТИФИКАЦИИ**  
**ПРОДУКЦИИ «НАНОСЕРТИФИКА» РОСС RU.И750.11НЖ02**  
117036, г. Москва, пр-т 60-летия Октября, д. 10А, тел./факс: (495) 988-42-56, info@nanocertifica.ru

**ПРОДУКЦИЯ НАНОИНДУСТРИИ**  
**Наноцемент общестроительный марки НАНОЦЕМЕНТ 90 К 82,5**  
Наносодержащая продукция – категория «Б». Классификация на обороте сертификата  
Код ОКП: 57 3320. Серийное производство

**СООТВЕТСТВУЕТ ТРЕБОВАНИЯМ**  
ТУ 5733-067-66331738-2012 «Наноцемент общестроительный. Технические условия»

**ИЗГОТОВИТЕЛЬ**  
**Закрытое акционерное общество «ИМЭТСТРОЙ» (ЗАО «ИМЭТСТРОЙ»)**  
ОГРН 1027700115298, 127521, г. Москва, 17-й проезд Марьиной Рощи, 9

**СЕРТИФИКАТ ВЫДАН**  
**Закрытому акционерному обществу «ИМЭТ» (ЗАО «ИМЭТ»)**  
ОГРН 1105262008345, 121069, г. Москва, Мерзляковский пер., 15-5  
тел: (495) 619-48-32, факс: (495) 618-06-23, E-mail: moscowimet@mail.ru

**НА ОСНОВАНИИ** Протокола № 118/66 от 27.11.2012 ИЦ «Мосстройиспытания» (РОСС RU.0001.21СЛ27).  
Протокола № МЦ 170/1/56 (ПЭМ) от 12.10.2012 ООО «МЦ РОСНАНО» (РОСС RU.И750.НЖ01.21ИЛ04).  
Заключений ФБУЗ ФЦГиЭ Роспотребнадзора № 16/07-4ФЦ от 03.10.2012 по результатам классифицирования  
нанотехнологий и продукции наноиндустрии по степени потенциальной опасности, № 041 от 03.09.2012 по  
результатам санитарно-эпидемиологической экспертизы по нормам радиационной безопасности.  
Акта о результатах анализа состояния производства № СП-Ап-08/2012 от 04.10.2012.  
Акта идентификации продукции наноиндустрии № СП-Ан-08/2012 от 28.11.2012.

**ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ**  
Маркирование продукции знаком соответствия производится на основании «Порядка применения знака  
соответствия Системы добровольной сертификации продукции наноиндустрии «НАНОСЕРТИФИКА».  
Схема сертификации: ЗС

 И. П. РУКОВОДИТЕЛЬ ОРГАНА \_\_\_\_\_  
подпись

Волков С.Ю.  
фамилия, инициалы

000-0444 - Москва 2011, формат А4, 19/10/12

Рис 2. Сертификат соответствия на наноцемент 90, класс 82,5 – лицевая сторона.

КАТЕГОРИИ ПРОДУКЦИИ НАНОИНДУСТРИИ				
Категория «А» — первичная нанотехнологическая продукция				
Категория «Б» — наносодержащая продукция				
Категория «В» — услуги, при производстве которых используются нанотехнологии и/или нанокomпоненты				
Категория «Г» — специальное оборудование для nanoиндустрии				
ПРЕИМУЩЕСТВЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НАНОЦЕМЕНТА ОБЩЕСТРОИТЕЛЬНОГО МАРКИ НАНОЦЕМЕНТ 90 К 82,5, ПОЛУЧЕННЫЕ ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ НАНОТЕХНОЛОГИЙ				
Наименование параметра (показателя)		Требования НД (ТУ 5733-067-66331738-2012)	Результат испытаний	Протокол испытаний
Сроки схватывания, ч-мин	начало	не менее 0-40 не более 2-30	0-40	№ 118/66 от 27.11.2012 ИЦ «Мосстройиспытания» (РОСС RU.0001.21СЛ27)
	конец	не менее 2-00 не более 8-00	2-45	
Предел прочности при сжатии, МПа	2 суток	не менее 42,5	53,8	
	28 суток	не менее 82,5	82,7	
<b>Примечание:</b> Характеристики быстротвердеющего наноцемента 90 (содержание клинкера 90% по массе) по прочности соответствуют классу К 82,5 (марке 900).				
ХАРАКТЕРИСТИКИ НАНОРАЗМЕРНЫХ СТРУКТУР, ВХОДЯЩИХ В СОСТАВ НАНОЦЕМЕНТА ОБЩЕСТРОИТЕЛЬНОГО МАРКИ НАНОЦЕМЕНТ 90 К 82,5				
Наименование параметра (показателя)		Результат испытаний	Протокол испытаний	
Наличие наноразмерной полимерной оболочки на поверхности частиц цемента		толщина 30-100 нм	№ МЦ 170/1/56 (ПЭМ) от 12.10.2012 ООО «МЦ РОСНАНО» (РОСС RU.И750.НЖ01.21ИЛ04)	
ХАРАКТЕРИСТИКИ БЕЗОПАСНОСТИ НАНОЦЕМЕНТА ОБЩЕСТРОИТЕЛЬНОГО МАРКИ НАНОЦЕМЕНТ 90 К 82,5				
Уровни потенциальной опасности продукции и технологий (Заключение ФБУЗ ФЦГиЭ Роспотребнадзора № 16/07-4ФЦ от 03.10.2012)				
По значению продукции		По значению технологии		
Низкий уровень потенциальной опасности для потребителя		Низкий уровень потенциальной опасности нанотехнологий для работников, здоровья населения и окружающей среды		

Рис 3 . Сертификат соответствия на наноцемент 90, класс 82,5 – оборотная сторона.

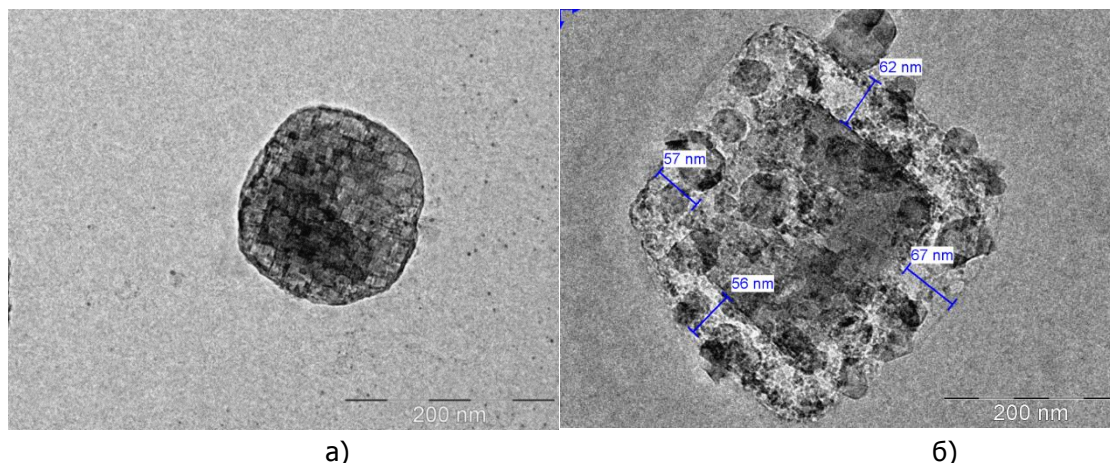


Рис 4. Характерные электронно-микроскопические снимки зерен портландцемента (а) и наноцемента (б) на просвет. Хорошо видна блочность, мозаичность микроструктуры зерен исходного портландцемента и наноцемента. На мозаичном зерне портландцемента модифицированного в наноцемент (б) показаны размеры наноболочки. Масштаб на фото.

При измельчении, совмещенном с механохимической активацией портландцемента в присутствии модифицированного полимерного модификатора до оптимального уровня дисперсий 400 – 600 кв.м/кг портландцемент превращается в качественно новый продукт с феноменально выдающимися строительно-техническими свойствами - ранее материал называли вяжущие низкой водопотребности - ВНВ, цементы низкой водопотребности - ЦНВ и сухие механоактивированные смеси - СМС (1,2).

Значительное время феномен радикального повышения строительно-технических свойств модифицированного портландцемента не мог быть осмыслен и объяснен в свете накопленных знаний физико-химии цементов, пока нами не было экспериментально доказано превращение портландцемента в процессе механохимической активации в присутствии модификатора в дисперсный композит в виде зерен портландцемента, покрывающихся оболочкой структурированного модификатора (5,6). Такой дисперсный композит был назван нами наноцементом, в виду наноразмерности таких оболочек на цементных зернах.

Таким образом, *наноцементы – цементы, характеризующиеся наличием сплошной нанокапсулы (оболочки) на зернах цемента толщиной в несколько десятков нанометров из модифицированного полимерного вещества.*

Большой экспериментальный материал исследований и испытаний, освещенный в различных трудах, позволил доказать формирование в процессе механохимической активации портландцемента, сопровождающей его измельчение, наноболочки на поверхности его частиц за счет прививки и изменения состава, структуры частиц модификатора, при которой функциональные группы полимерного вещества взаимодействуют с кальциевыми и кислородными активными центрами на поверхности клинкерных частиц, насыщаясь катионами кальция и формируя структурированную сплошную наноболочку.

Современные методы исследования позволили экспериментально идентифицировать оболочки в наноцементах. Оптимальные свойства наноцементов достигаются при формировании нанокапсулы толщиной 30 - 60 нм равномерно на всех клинкерных зернах .

На полученных электронно-микроскопических фотографиях наноцементов (рис 5 - 7) наблюдается равномерное облежание цементных зерен более светлой наноразмерной оболочкой структурированного полимерного вещества .Фиксируемая электронно-микроскопическими исследованиями на зернах наноцементов более прозрачная кайма-оболочка толщиной в пределах от 10 до 100 нм относится к веществу существенно меньшему по плотности, чем клинкерные минералы и стеклофаза, плотность которых составляет около 3 г/см<sup>3</sup>. Таким веществом является структурированный полимерный модификатор, плотность которого составляет около 1 г/см<sup>3</sup>.



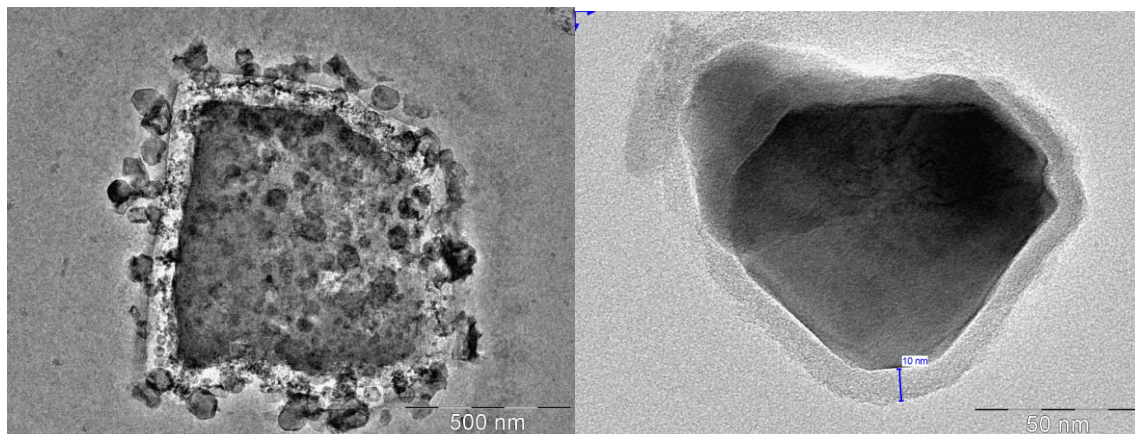


Рис 5. Электронно-микроскопические фотографии зерен портландцемента с наноболочками . На фото справа показаны толщины наноболочек . Масштаб на фотографиях. Образцы наноцемента 75 (слева) и 90 (справа).

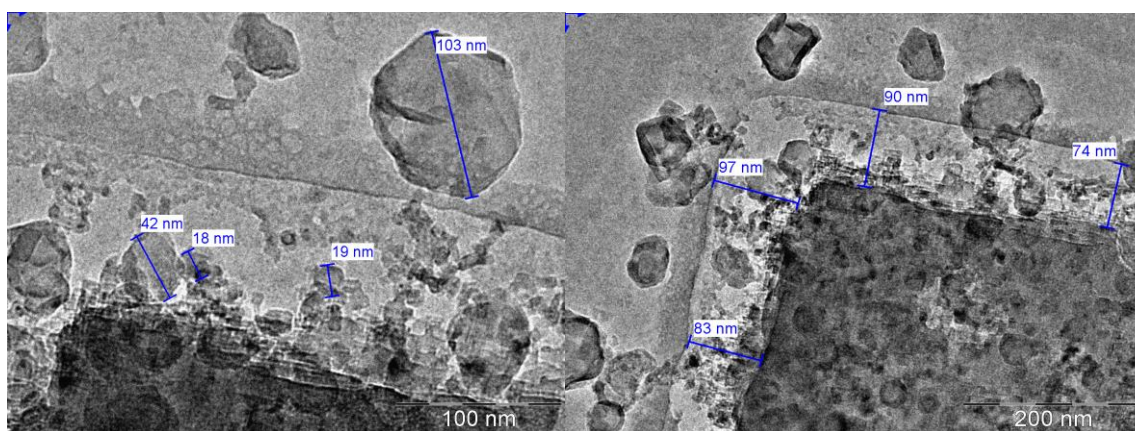


Рис 6. Наноболочки на зернах портландцемента из структурированного модификатора в наноцементах . Показаны толщины оболочек в *нм* .Электронно-микроскопические снимки. Масштаб на фотографиях. Мелкие частички без наноболочек — зерна кварцевого песка .

Отдельные микрочастицы, наблюдаемые в поле зрения электронного микроскопа, размером около 100 *нм* (рис 6) относятся к частичкам кварцевого песка , на которых - в силу отсутствия на поверхности зерен кварца областей с положительным зарядом - не закрепляется наноболочка из модифицированного полимера .

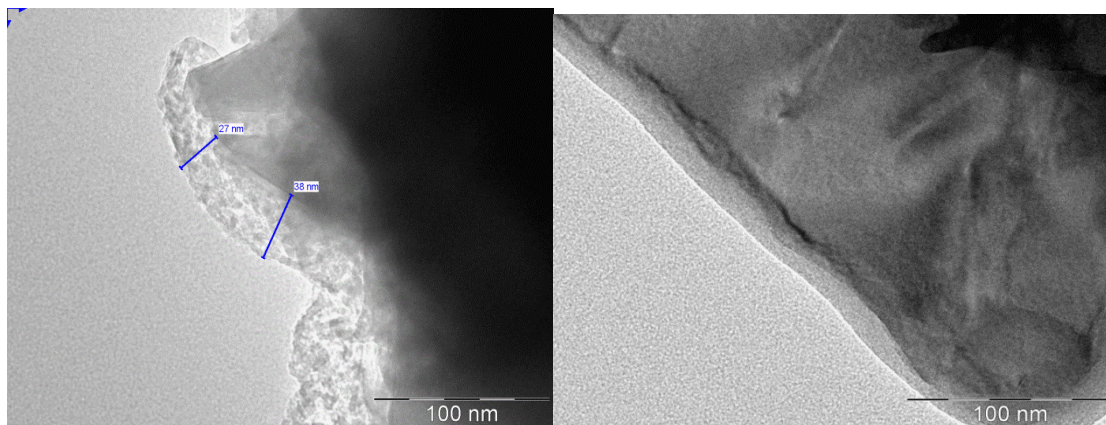


Рис 7 . Крупные частички портландцемента ,капсулированные структурированной наноболочкой модификатора. Показаны границы зерен . Масштаб на фотографиях. Наноцемент 90 .

Формированием нанооболочек на зернах цемента в процессе его модификации механохимической обработкой в присутствии полимерных модификаторов объясняются радикально более высокие строительно-технические свойства наноцементов по сравнению с широко применяемыми портландцементами.

Одним из выдающихся качеств наноцементов, в отличие от обычных, является уже подтвержденная результатами промышленных испытаний их способность не терять качество годами как при хранении в таре, так и в цементных силосах (табл.2). Согласно применяемым стандартам всех стран сроки хранения портландцемента без заметной потери качества составляют не более 2 месяцев, в то время как сроки хранения наноцементов без потери качества по ТУ – 5733-067-66331738-2012 «Наноцемент общестроительный» и национальному предстандарту РФ 19 – 2014 составляют не менее 1 года.

К настоящему времени накоплен значительный опыт работы по новой технологии России, разработана первичная нормативная база, проведены успешные испытания, в частности, в США, Бразилии, КНР Саудовской Аравии и ОАЭ. Опыт промышленной реализации механохимически активированных цементов - наноцементов - позволил начать освоение новой технологии в практике цементной промышленности, на настоящее время произведено и успешно применено в бетонах более 3 млн тонн наноцемента.

## **ЦЕМЕНТНЫЙ КАМЕНЬ. БЕТОНЫ НА ОСНОВЕ НАНОЦЕМЕНТОВ**

Строительно-технические свойства наноцементов позволяют получать на их основе от высокопрочных бетонов класса В 40 до сверхпрочных бетонов класса В 100, широкий ассортимент железобетонных изделий без применения пропарки, а также быстротвердеющие, водонепроницаемые и другие, весьма необходимые в современном строительстве, бетоны. Освоено производство и применение высококачественных железобетонных изделий с повышенной долговечностью и использованием некондиционных нерудных заполнителей, что подтверждено двадцатилетним опытом применения новых бетонов в военном, специальном, традиционном строительстве и благоустройстве (1,2,5-8).

Наноцементы позволяют пересмотреть существующие стандарты на приготовление качественных бетонов с уменьшением расхода портландцемента в 1,5 - 2 раза. Попытки получения качественных бетонов на портландцементе и местном, часто некондиционном нерудном сырье, помимо необходимости перерасхода портландцемента, даже при применении дорогостоящих химических добавок, зачастую не обеспечивают требуемых качеств бетонов при строительстве различных сооружений, а также дорог, мостов, тоннелей и эстакад.

Малоклинкерные наноцементы – качественный скачок в технологии бетонов, их применение позволяет эффективно применить местное, некондиционное по существующим стандартам, мелкие и крупные заполнители, радикально ускорить темп твердения бетонов, отказаться от энергозатратной пропарки, получить бетоны класса НРС и изделия на их основе с меньшими затратами труда, повысить технологический уровень всех областей применения бетонов, как монолитных, так и сборных, упростить технологии формирования изделий и конструкций с применением современных достижений безопалубочного формирования.

Малоклинкерные наноцементы позволяют на слабых щебнях и мелких песках получать бетоны с высокой прочностью, водонепроницаемостью и долговечностью (6-8). Малоклинкерные наноцементы – наноцементы 30,35,45,55(табл.1) при обеспечении высоких строительно-технических свойств цементов (рис 9,10) позволяют не только снизить до 3 раз удельные затраты топлива на тонну цемента, но и значительно снизить их себестоимость(табл. 3).

При получении бетонов на таких цементах формирование прочного, водонепроницаемого и долговечного цементного камня происходит на собственной матрице, состоящей из оводненных высокоосновных силикатов кальция и высокодисперсных кремнеземистых фаз с развитой поверхностью массообмена, соизмеримой с удельной поверхностью наноцемента. Только этим механизмом можно объяснить установленное малое влияние природы мелких и крупных заполнителей на характеристики бетонов на малоклинкерных наноцементов, подтвержденное экспериментально на нерудных материалах различных регионов.

Новый подход значительно меняет представления о потенциале цементов как вяжущих веществ, повышает эффективность их применения при реализации явления нанокапсуляции в 2-3 раза., позволяет использовать тонкодисперсные минеральные добавки как активный реагент формирования цементного камня. Наноцементы позволили углубить и развить представления о морфологии и свойствах цементов, 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 (9).

АВТОНОМНАЯ НЕКОММЕРЧЕСКАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ  
«ЦЕНТР СЕРТИФИКАЦИИ ПРОДУКЦИИ И СИСТЕМ МЕНЕДЖМЕНТА  
В СФЕРЕ НАНОИНДУСТРИИ» (АНО «НАНОСЕРТИФИКА»)



**НАНОСЕРТИФИКА**  
Система добровольной сертификации  
продукции наноиндустрии  
(рег. № РОСС RU.И750.04НЖ01)

## СЕРТИФИКАТ СООТВЕТСТВИЯ

№ 0000048

№ РОСС RU.И750.НЖ02.000044 Срок действия с 10.12.2012 по 09.12.2015

### ОРГАН ПО СЕРТИФИКАЦИИ

**ПРОДУКЦИИ «НАНОСЕРТИФИКА» РОСС RU.И750.11НЖ02**

117036, г. Москва, пр-т 60-летия Октября, д. 10А, тел./факс: (495) 988-42-56, info@nanocertifica.ru

### ПРОДУКЦИЯ НАНОИНДУСТРИИ

**Наноцемент общестроительный марки НАНОЦЕМЕНТ 30 К 32,5**

Наносодержащая продукция – категория «Б». Классификация на обороте сертификата  
Код ОКП: 57 3320. Серийное производство

### СООТВЕТСТВУЕТ ТРЕБОВАНИЯМ

ТУ 5733-067-66331738-2012 «Наноцемент общестроительный. Технические условия»

### ИЗГОТОВИТЕЛЬ

**Закрытое акционерное общество «ИМЭТСТРОЙ» (ЗАО «ИМЭТСТРОЙ»)**

ОГРН 1027700115298, 127521, г. Москва, 17-й проезд Марьиной Рощи, 9

### СЕРТИФИКАТ ВЫДАН

**Закрытому акционерному обществу «ИМЭТ» (ЗАО «ИМЭТ»)**

ОГРН 1105262008345, 121069, г. Москва, Мерзляковский пер., 15-5

тел: (495) 619-48-32, факс: (495) 618-06-23, E-mail: moscowimet@mail.ru

**НА ОСНОВАНИИ** Протокола № 123/71 от 27.11.2012 ИЦ «Мосстройиспытания» (РОСС RU.0001.21СЛ27).  
Протокола № МЦ 165/1/56 (ПЭМ) от 12.10.2012 ООО «МЦ РОСНАНО» (РОСС RU.И750.НЖ01.21ИЛ04).  
Заключений ФБУЗ ФЦГиЭ Роспотребнадзора № 16/07-4ФЦ от 03.10.2012 по результатам классифицирования  
нанотехнологий и продукции наноиндустрии по степени потенциальной опасности, № 051 от 05.10.2012 по  
результатам санитарно-эпидемиологической экспертизы по нормам радиационной безопасности.  
Акта о результатах анализа состояния производства № СП-Ан-08/2012 от 04.10.2012.  
Акта идентификации продукции наноиндустрии № СП-Ан-08/2012 от 28.11.2012.

### ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Маркирование продукции знаком соответствия производится на основании «Порядка применения знака  
соответствия Системы добровольной сертификации продукции наноиндустрии «НАНОСЕРТИФИКА».  
Схема сертификации: За.



Руководитель органа

подпись

Волков С.Ю.

фамилия, инициалы

Рис 9. Сертификат соответствия на наноцемент 30, класс 32,5 – (Марка 400) ,  
лицевая сторона

КАТЕГОРИИ ПРОДУКЦИИ НАНОИНДУСТРИИ					
Категория «А» — первичная нанотехнологическая продукция					
Категория «Б» — наносодержащая продукция					
Категория «В» — услуги, при производстве которых используются нанотехнологии и/или нанокomпоненты					
Категория «Г» — специальное оборудование для nanoиндустрии					
ПРЕИМУЩЕСТВЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НАНОЦЕМЕНТА ОБЩЕСТРОИТЕЛЬНОГО МАРКИ НАНОЦЕМЕНТ 30 К 32,5, ПОЛУЧЕННЫЕ ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ НАНОТЕХНОЛОГИЙ					
Наименование параметра (показателя)		Требования НД (ТУ 5733-067-66331738-2012)	Результат испытаний	Протокол испытаний	
Сроки схватывания, ч-мин	начало	не менее 0-40 не более 2-30	2-15	№ 122/70 от 27.11.2012 ИЦ «Мосстройиспытания» (РОСС RU.0001.21СЛ27)	
	конец	не менее 2-00 не более 8-00	5-40		
Предел прочности при сжатии, МПа	2 суток	не менее 10,0	20,4		
	28 суток	не менее 32,5	52,1		
<b>Примечание:</b> Характеристики быстротвердеющего наноцемента 30 (содержание клинкера 30% по массе) по прочности соответствуют классу К 32,5 (марке 400).					
ХАРАКТЕРИСТИКИ НАНОРАЗМЕРНЫХ СТРУКТУР, ВХОДЯЩИХ В СОСТАВ НАНОЦЕМЕНТА ОБЩЕСТРОИТЕЛЬНОГО МАРКИ НАНОЦЕМЕНТ 30 К 32,5					
Наименование параметра (показателя)		Результат испытаний	Протокол испытаний		
Наличие наноразмерной полимерной оболочки на поверхности частиц цемента		толщина 14-100 нм	№ МЦ 165/1/56 (ПЭМ) от 12.10.2012 ООО «МЦ РОСНАНО» (РОСС RU.И750.НЖ01.21ИЛ04)		
ХАРАКТЕРИСТИКИ БЕЗОПАСНОСТИ НАНОЦЕМЕНТА ОБЩЕСТРОИТЕЛЬНОГО МАРКИ НАНОЦЕМЕНТ 30 К 32,5					
Уровни потенциальной опасности продукции и технологий (Заклyчение ФБУЗ ФЦГиЭ Роспотребнадзора № 16/07-4ФЦ от 03.10.2012)					
По значению продукции		По значению технологии			
Низкий уровень потенциальной опасности для потребителя		Низкий уровень потенциальной опасности нанотехнологий для работников, здоровья населения и окружающей среды			

Рис 10 . Сертификат соответствия на наноцемент 30\*, класс 32,5 (Марка 400) , обратная сторона

\*- В наноцементе 30 содержание портландцемента 30 % масс., остальное - 70 % - кварцевый песок, измельченный вместе с цементом при производстве наноцемента.

Таблица 2

**Результаты испытаний бетонов на основе наноцементов  
НИИМОСстрой по заказу ФГУП АГАА.**

№ при п/п	Расход материалов на 1м3 бетонной смеси (В/Ц=0,375 ОК=3 ), кг	Прочность бетона нормального твердения, МПа в числителе через два месяца после изготовления наноцементов / в знаменателе показатели через один год хранения испытанных наноцементов в мешках								Характеристики бетонов		
		1 сут.		3 сут.		7 сут.		28 сут.		плотность, кг/м <sup>3</sup>	Моро зосто йк., циклы	Водонеп роницае мость
		при изгибе	при сжатии	при изгибе	при сжатии	при изгибе	при сжатии	при изгибе	при сжатии			
1	Наноцемент 40 М – 370, в том числе: портландцемент * – 148 кремнеземистые добавки (песок, шлак, зола) – 222 + песок - 725 щебень - 1225 Вода - 139	2,7	19,7	4,2	40,2	5,1	47,3	5,4	66,2	2455	>300	W20
			13,9		40,9		50,6		59,6	2465		
2	Наноцемент 90 М – 353, в том числе: портландцемент – 301,5 кремнеземистые добавки(песок,шлак, зола) – 34,5 + песок - 735 щебень - 1240 Вода - 126	4,2	36,6	4,5	49,9	5,9	63,4	7,3	80,0	2475	>300	W20
			23,0		45,5		58,8		67,9	2400		

\* - В качестве исходного портландцемента для получения наноцемент - 40 М (40 % масс. цемента) и наноцемент – 90 М (90 % масс. цемента) применялся цемент Мордовского завода: - 500 Д О Н, щебень Павловского карьера, М-1200 и строительный песок Раменского карьера, М<sub>кр</sub>2,5, соответствующие требованиям ГОСТ на нерудное сырье для бетона.

Таблица 3

## Оценка экономичности производства одной тонны наноцементов

различных классов исходя из стоимости портландцемента

и основных затрат в условиях ОАЭ

Сырье и материалы	Стоимость ед. затрат, с НДС и транспортом, \$ США/т	Наноцемент 35 (Класс 42,5)		Высокопрочный Наноцемент 55 (Класс 62,5)		Высокопрочный Наноцемент 75 (Класс 72,5)	
		Доля	\$ США	Доля	\$ США	Доля	\$ США
Портландцемент	70	0,30	21,0	0,45	31,5	0,75	52,5
Песок пустыни с транспортом	10	0,65	6,5	0,55	5,5	0,25	2,5
Затраты электроэнергии (40квт/ч)	1,7	1	1,7	1	1,7	1	1,7
Затраты труда	2,3	1	2,3	1	2,3	1	2,3
Модификатор	1000	0,01	10,0	0,011	11,0	0,012	12,0
ИТОГО, себестоимость, руб	-	-	41,5	-	52,0	-	71,0

Примечание : Расчеты себестоимости приведены для класса цемента 42,5 - наиболее широко применяемого в строительстве и перспективных - высокопрочных классов 62,5 и 72,5

Получение наноцементов и бетонов на их основе позволяет радикально продвинуть возможности совершенствования и производства более качественных цементов 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 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 (табл.3), решая одновременно экологическую проблему переработки промышленных отходов в виде шлаков, зол и некондиционного природного мелкого и крупного заполнителей бетона. Достаточно указать на то, что только в России объемы шлаков и зол в терриконах достигли 80 млрд. т, продолжая возрастать, как и в других развивающихся странах.

Таким образом, разработанная технология наноцементов позволяет комплексно решить как 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 и зол.

Реализация технологии малоклинкерных наноцементов дает реальную возможность:

- *снизить удельные затраты топлива на тонну цемента на 40-60 кг;*
- *радикально – в 1,5-2 раза **повысить качество цемента ;***
- *в 1,5- 1,7 увеличить объемы производства на цементном заводе без строительства переделов по обжигу клинкера – только за счет развития помольных отделений ;*
- *создать технологические линии по модификации портландцементного клинкера или цемента в малоклинкерные наноцементы на предприятиях стройиндустрии ;*
- *снизить **удельные выбросы  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$  и  $\text{CO}_2$  действующими цементными заводами на тонну малоклинкерного наноцемента в 1,5 – 3 раза ;***
- *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 наноцементях за счет снижения расхода **портландцемента и применения местных нерудных с экономией затрат в пределах от 500 до 1000 руб ( от 15 до 30 \$ США) на куб м бетонной смеси.***

Механохимическая активация цемента в сочетании с нанокапсуляцией – новое направление регулирования строительно-технических свойств цементов и получения высококачественных бетонов типа УНРС с вышеуказанными свойствами – наиболее конкурентоспособно с обычным модифицированием бетонных смесей, упрощает требования к крупному и мелкому заполнителям, исключает применение микрокремнезема и дорогих химических добавок, позволяет существенно снизить стоимость цемента, его расход в бетоне и отказаться от его тепловой обработки.

Имеющийся более чем 20-летний опыт развития и применения ВНВ, ЦНВ, ПЦПКЗ, СМС - предшественников наноцементов - в объемах в сотни тысяч куб м в сотнях гражданских и специальных объектов показал их большое превосходство над портландцементными практически по всем показателям – темпам твердения, марочной прочности, водонепроницаемости, морозостойкости и долговечности, позволяющим строить с применением наноцементов как общестроительные, так и уникальные объекты (рис 10,11).

Новые цементы выпускались в рамках Государственного заказа на Белгородском цементном заводе и Здолбуновском цементно - шиферном комбинате, а также десятке небольших технологических линиях. После распада СССР сохранилось производство ВНВ на 81 Комбинате ЖБИ в г.Самаре, Московском комбинате строительных материалов и изделий, на Опытном заводе НИИЦемент в г.Подольске и Спецпредприятии № 2 Экотехпрома в г.Москве, а в последние годы линия мощностью 100 тыс.т в год наноцемента освоена на Сергиево-Посадском ЖБК.

На базе ВНВ и его разновидностей, гармонизированных в наноцементях, произведено миллионы куб м различных бетонов, в последние почти 30 лет эффективно примененных в общегражданском и специальном строительстве. Достаточно указать на изготовление из наноцементов пусковых шахт для межконтинентальных баллистических ракет, тоннелей метрополитена, шпал, аэродромных и дорожных плит, молотов и причалов, оригинальных сооружений и конструкций.

Широкому освоению этих цементов в промышленности Российской Федерации препятствовала недостаточная стабильность строительно-технических свойств у отдельных производителей и отсутствие единой национальной нормативной базы.

По новой технологии выпущено уже более 3 млн.т наноцементов, успешно примененного при производстве высокопрочных и долговечных бетонов в течение последних десятилетий. В настоящее время для производства наноцементов разработана необходимая нормативная база и утвержден национальный предстандарт 19 – 2014 «Портландцемент наномодифицированный».

Полученные характеристики бетонов на наноцементях по своим строительно-техническим характеристикам демонстрируют возможность радикального повышения качества бетонов в России, до уровня, превышающего 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.

Так в табл.2 приводятся показатели бетона на малоклинкерном наноцементе с соотношением клинкера к молотым кремнеземистым добавкам (песок, шлак, зола) как 40:60, т.е реальное содержание портландцемента в бетонной смеси составляет всего 148 кг, а полученная прочность бетона на сжатие достигла уже в трое суток нормального твердения 40,2 МПа, а в 28 суток 66,2 МПа, при водонепроницаемости W 20 и морозостойкости более 300 циклов. Наноцемент 90 при расходе в бетоне портландцемента 301,5 кг на куб м позволяет получать высокопрочный метод марки В 60 с водонепроницаемостью W 20 и морозостойкостью более 300 циклов.

Как показали результаты исследований и испытаний, малоклинкерные наноцементы позволяют получать прочные быстротвердеющие бетоны с пониженными расходами портландцемента даже на некондиционных крупных и мелких заполнителях (табл.4)

Так, состав бетонной смеси № 1 табл.4 включает в виде крупного заполнителя грунт Южного портала ж/д тоннеля № 3 фракции 5 – 20 мм с маркой по дробимости 300, морозостойкостью F – 25, содержанием зерен пластинчатой и игловатой формы 17 % масс., остатку на сите 5 - 83.2 % , содержанию пылевидных и глинистых частиц 3,5 % масс., что делает его не соответствующим требованиям ГОСТ 8267-93 и 26633-91.



Рис 11. Церковь «Всея святых», построенная с применением наноцемента 90 в тонкостенных (40 мм) куполах сооружения в г.Дубна, 2005 г.



Таблица 4

**Результаты стандартных испытаний бетонов на основе малоклинкерных наноцементов  
в ГУП НИИМОСстрой на основе некондиционных заполнителей**

/п	Расход материалов на 1м <sup>3</sup> бетонной смеси, кг	К	Прочность образцов бетонов нормального твердения, в различные сроки, МПа : в числ.- при сжатии, в знам. – при изгибе			Характеристики бетонов		
			3 сут.	7 сут.	28 сут.	D, кг/м <sup>3</sup>	W	F
1	Наноцемент 90 - 395, в том числе: портландцемент – 355 молотый песок - 40 + в бетонной смеси : песок Раменский (Моск.обл.), М <sub>кр.</sub> -2,63 - 920 грунт Южн. порт. ж/д тонн. -№3, М-300, F-25 - 921 вода - 145 ( вход. № лаб. 97-1 )*		$\frac{57,6}{4,3}$	$\frac{64,2}{4,6}$	$\frac{72,4}{7,0}$	2415	16	300
2	Наноцемент 75 – 410, в том числе: портландцемент – 307 молотый песок - 103 + в бетонной смеси : песок Раменский - 956 щеб.из горн. Выработки «ТО №12 Бамтоннельстрой», М-1400 , F-300- 956 вода - 123 ( вход. № лаб. 101-9 )		$\frac{67,1}{5,0}$	$\frac{67,1}{7,2}$	$\frac{73,4}{7,5}$	2480	20	300
3	Наноцемент -50 – 380, в том числе: портландцемент – 190 молотый песок - 190 + в бетонной смеси : песок Раменский - 887 щебень карьера Каменский, М-600 , F - 5 - 887 вода - 165 ( вход. № лаб. 99-7 )		$\frac{35,6}{3,7}$	$\frac{43,0}{4,1}$	$\frac{43,5}{4,6}$	2350	20	300

\*- Здесь и далее - обозначение партий бетонов в испытательной лаборатории ГУП «НИИМОСстрой»,

г.Москва

Исследование минералогии грунта (состав 1,табл.4) методом рентгеноструктурного фазового количественного анализа показало, что в качестве основной минеральной фазы ( около 80 % масс.) он содержит анальцим -  $\text{Na}_2\text{OAl}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , а также до 10 % масс. кальцита, до 5 % масс. полевого шпата и до 5 % масс каолинита.

Введение в куб м бетонной смеси 335 кг портландцемента, превращенного в наноцемент, с таким некондиционным крупным заполнителем, оказалось достаточно, чтобы произвести быстротвердеющий (80 % прочности в первые трое суток твердения) бетон класса В 55, с водонепроницаемостью W 16 и морозостойкостью более 300 циклов ( состав 1,Табл.4).

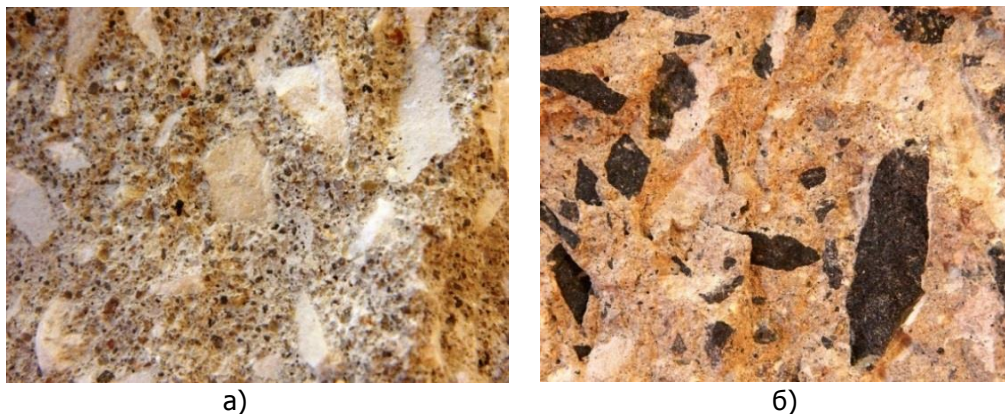


Рис 12. Яхта с корпусом из наноцемента (толщина стенки бортов 12 мм) на Клязьминском водохранилище Московской области, 2009 г.

Известняковый щебень (по данным РКА содержащий 96 % масс. кальцита), маркой по дробимости 600 и морозостойкостью F 50 с содержанием пылевидных и глинистых частиц 5,1 % (вместо не более 2 % по ГОСТ) фракции 5 – 20 мм из грунта ЗАО фирмы «Сочинеруд» карьера Каменский при снижении расхода портландцемента до 190 кг на куб м бетонной смеси и применении его в виде наноцемента позволил получить высокую прочность в начальные сроки твердения при классе бетона В 35, водонепроницаемости W 20 и высокой морозостойкости (состав 2, Табл. 4).

Всего 190 кг портландцемента на куб м бетонной смеси на наноцементе 40 позволяет получить бетон класса В 30 с водонепроницаемостью W20 и морозостойкостью не менее 300 циклов (состав 3 в табл.4). Рекордно низкий расход портландцемента в бетонной смеси на наноцементе 30 (148 кг на куб м бетонной смеси) позволяет получить бетон марки 600 (В 50) – состав 1 в табл.2. Указанные бетоны были применены на олимпийских объектах в г, Сочи.

Весьма важным является установленный нашими исследованиями и многолетним опытом факт радикального повышения основного показателя качества – прочности наноцементов с минеральными добавками практически любого примененного вида: строительного песка, золы, шлака, туфа, хвостов ТОК, ГОК и различных их композиций.



а)

б)

Рис 13. Фотографии сколов образца бетона на некондиционных крупных заполнителях в 7 суток твердения после механических испытаний:

а) – с щебнем Каменского карьера фр.5-20, М600, F 50 в бетоне с полученными показателями - *класс В 30, W 20, морозостойкость 300 циклов*

б) - щебнем из грунта Южного портала тоннеля № 3 фр.5-20, М300, F 25 (г.Сочи, Краснодарский Край) в бетоне с полученными показателями – *класс В 55, W 16, морозостойкость 300 циклов (в 28 сут твердения)*

Анализ результатов промышленных выпусков различных цементов, приведенный в табл.1, показывает, что применение технологии нанокапсуляции позволяет снизить в цементе долю цементного клинкера в три раза с получением марочной прочности цементного камня на уровне чистоклинкерного портландцемента без добавок. При этом цементный клинкер может заменяться в наноцементе на значительные (до 70% масс.) объемы шлаков, зол и мелкозернистых песков, решая важную проблему

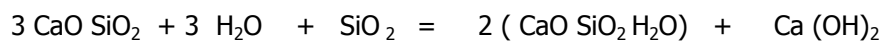
переработки промышленных отходов в виде шлаков, зол и некондиционных природных мелких и крупных заполнителей бетона (рис 13).

Разработанная впервые технология малоклинкерных наноцементов дает возможность радикального, в 1,5-3 раза, уменьшения удельных затрат топлива и выбросов CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> и SO<sub>2</sub> на тонну цемента за счет снижения содержания портландцементного клинкера в таких малоклинкерных наноцементов до 30 % масс. с сохранением высоких строительно-технических свойств бездобавочного портландцемента (табл.1).

В 2012 году осуществлена сертификация наноцементов в АНО «НАНОСЕРТИФИКА» . Впервые в мире наноцементы определены как *наносодержащая продукция класса Б*, также подтверждено наличие нанооболочки на зернах цемента и получены сертификаты соответствия на наноцементы, разделенные по качеству на классы: 82,5; 72,5 ; 62,5 ; 52,5; 42,5 и 32,5.

Строительный песок в обычных бетонных смесях во всем мире, характеризуется наличием весьма крупных частиц кремнезема и кремнеземистых минералов - размер подавляющего объема частиц составляет от 300 до 1000 мкм, что делает малопродуктивными реакции образования гидросиликатов на поверхности частичек песка, не превышающей 50 – 70 кв.м/кг при взаимодействии в присутствии воды с значительно более мелкими частицами цемента размером в 5-20 мкм (при средней удельной поверхности цемента в России 300 кв.м /кг, а за рубежом 400 кв.м/кг). Мелкозернистые пески по существующим в мире стандартам непригодны для производства бетонов в связи с увеличением водопотребления бетонных смесей и снижения прочности бетонов.

Упрощенный вариант химической реакции, необходимой для формирования цементного камня в бетонах, с указанием начального и конечного состава реагентов:



В современных бетонах при нормальных условиях взаимодействие составляющих в системе: *цемент-вода-песок* идет весьма длительно и только в малоразвитых зонах контакта частиц, несмотря на соотношение песка и цемента, обычно 2:1, прежде всего, из за малой реакционной поверхности химически инертных частиц песка.

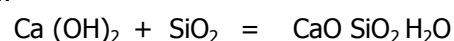
Общеизвестным является факт, что *в марочной прочности бетонов нормального твердения полезно используется около одной третьей, наиболее дисперсной части портландцемента* – две трети ценного энергопотребляющего продукта после 28 суток твердения продолжают гидратироваться в бетоне, не принося пользы, а зачастую вызывая негативные явления в процессе эксплуатации бетонов, сказываясь на их долговечности.

В бетонах на малоклинкерных наноцементов реакции между частичками цемента и песка многократно ускоряются в связи с тем, что размеры их практически совпадают и составляют от нескольких до двух десятков мкм при средней удельной поверхности твердых частиц около 500 кв.м/кг с пониженным количеством воды в системе, активно усваивающейся формирующимися гидросиликатами.

В твердеющем портландцементном камне присутствует два вида гидратных минералов: *гидросиликаты кальция - 85 % и гидроксид кальция – 15% масс.*

Казалось бы, содержание гидроксида кальция невелико, но его присутствие значительно ослабляет строительно-технические свойства цементного камня и, прежде всего, прочность, в связи с пластинчатой, слоевой морфологией кристаллов гидроксида кальция, между слоями которого обычно проходит разлом камня.

Для повышения свойств цементного камня желательнее отсутствие в нем гидроксида кальция, но еще более эффективный вариант – связывание гидроксида кальция в главный продукт бетона - более прочный и долговечный гидросиликат кальция, что и происходит при твердении малоклинкерных наноцементов по реакции:



Такая реакция обеспечивается в малоклинкерных наноцементов близким уровнем дисперсий кремнезема или кремнеземсодержащих минеральных добавок (от нескольких до десятков мкм) к размерам частиц цемента при совместном измельчении.

С этим согласуется многолетняя практика работы с малоклинкерными наноцементов в бетонах - на основе которых гидроксид кальция практически не идентифицируется. Так содержание гидроксида кальция в цементном камне бетонов на обычном портландцементе и малоклинкерных наноцементов по данным рентгеновского количественного анализа в различные сроки твердения, составляет (табл. 5):

Таблица 5

Содержание свободного гидроксида кальция в цементном камне в различные сроки твердения в нормальных условиях, % масс.

	3 сут	7 сут	14 сут	28 сут	60 сут
Портландцемент	3,2	5,5	6,4	7,1	8,2
Наноцемент – 75	1,5	2,5	3,0	2,7	2,4
Наноцемент - 50	0,8	1,1	1,6	1,5	1,3
Наноцемент - 40	0,5	0,9	1,4	1,2	1,0

Наноцементы (как и их предшественники – ВНВ,ЦНВ,СМС) позволяют значительно проще и дешевле получать высокопрочные и сверхпрочные бетоны. Не останавливаясь на достаточно широко опубликованных результатах испытаний бетонов на основе наноцементов (1,2,6 – 9), необходимо отметить интенсивный рост прочности бетонов даже при рекордно низком количестве портландцемента в бетонной смеси с одновременным значительным повышением основных показателей бетонов – прочности, водонепроницаемости, морозостойкости, возможностями отказа от энергозатратной пропарки изделий и применения некондиционного сырья.

Прочность и остальные свойства для бетонов на наноцементе определяются не столько свойствами зерен заполнителей сколько цементным камнем, в бетонах на наноцементе - при их механическом разрушении характерным является разлом по зернам крупного заполнителя - щебня, что свидетельствует о большей, чем даже у гранитов, прочности камня на наноцементе.

В работах (1,3,4) с помощью рентгеноструктурного анализа лучших из когда-либо ранее полученных нами монокристаллов известных модификаций алита и белита было показано, что алит ( $C_3S$ ) и белит ( $\beta-C_2S$ ), содержат в кристаллических решетках кластеры из триад тетраэдров кремнезёма  $[SiO_4]^{4-}$  в кальциево-кислородном окружении, в виде повторяющихся в пространстве лент –  $Ca - O - Si - O - Si - O - Ca$  – с присутствием части атомов кальция в более высокой (выше обычной шестерной) координации по кислороду.

Более высокая координация атомов кальция в цементных высокоосновных силикатах обеспечивает повышение степени ионности их связей с кислородными атомами, определяя способность минералов к взаимодействию с водой при их гидратации (10). Развитие указанных представлений позволило автору предположить, что указанные кластеры могут с минимальными изменениями переходить из безводных фаз в гидросиликатные новообразования, которые структурируются активными молекулами воды, адсорбирующимися во внутрь цементных зерен и образующие близкие по строению кластеры гидросиликатов кальция.

С этим предположением согласуется последнее достижение группы физиков (США, Франция и др. (11), которые разработали так называемую *реалистическую молекулярную модель* цементного камня - новой модели нанокластера гидросиликатов кальция CSH.

Основа описанного кластера – кремнекислородный неполносвязный каркас. Слои атомов кальция привязаны к нему через кислородные мостики с более редкими межслоевыми катионами кальция.

Вода представлена в гидросиликатах кальция в молекулярной форме в виде слоёв вдоль кальциевых полиэдров описанных кластеров и в её пустотах (рис. 14). В двухмерном пространстве один базовый элемент гидратированного цемента содержит некоторые отклонения, характерные для природного гидросиликата кальция - тоберморита. В новой структуре CSH, в слоях треугольников (кремниевых тетраэдров), каждый третий, шестой и девятый из них отклонены от горизонтальной оси вверх или вниз (в сторону соседних слоёв оксида кальция). В образовавшихся «полостях» (в слоях, сформированных лентами оксида кальция) располагаются молекулы воды, координирующие активные центры на поверхности лент, формирующих из безводных кластеров высокоосновных силикатов оводненные кластеры гидросиликатов кальция, придающие твердеющему цементному камню его прочность и остальные свойства.

Таким образом, гидросиликаты кальция не являются кристаллами в чистом виде, а представляют собой некий гибрид кристаллической и аморфной составляющих. Они соответствуют всем признакам метамиктных структур согласно (12).

Описанная выше модель получена компьютерной стереоподгонкой расположения молекулярных групп –  $[\text{SiO}_4]^{4-}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{OH}^-$  – к показателям CSH-фазы: C/S 1,6; плотность ( $\gamma$ )  $2,6 \text{ г/см}^3$  – весьма близкая к реальным значениям. При создании модели структуры авторы не ориентировались на известные гидросиликатные минералы. Несмотря на то, что расчетные спектрограммы получились сходными с данными по слоистым тобермориту и дженниту, атомная структура модели принципиально иная, чем у упомянутых природных минералов.

Близостью структурных мотивов – описанных выше кластеров в безводных высокоосновных силикатах кальция и гидросиликатах кальция в бетоне можно объяснить, не поддающиеся ранее пониманию весьма интенсивное и быстрое по времени схватывание цементно-песчаных растворов и твердение цементного камня, особенно ускоренного при затворении водой малоклинкерных наноцементов с тонко измельченными минеральными кремнеземистыми добавками, активно участвующими в реакциях формирования гидросиликатов кальция.

При получении бетонов на малоклинкерных наноцементах формирование прочного, водонепроницаемого и долговечного цементного камня происходит на собственной матрице, состоящей из оводненных высокоосновных силикатов кальция и высокодисперсных кремнеземистых фаз с развитой поверхностью массообмена, соизмеримой с удельной поверхностью наноцемента.

Только этим механизмом можно объяснить установленное нами весьма малое влияние природы мелких и крупных заполнителей для характеристик бетонов на малоклинкерных наноцементах, подтвержденное экспериментально на нерудных материалах различных регионов.

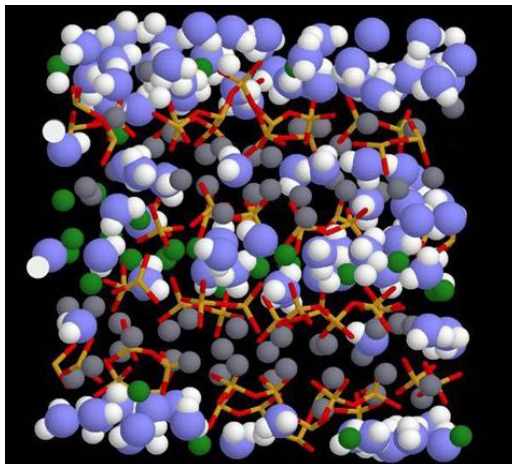


Рис. 14. Молекулярная модель CSH (11). Голубым и белым цветом показаны атомы кислорода и водорода в молекуле воды, серым и зелёным – ионы кальция (внутрислойные и межслойные), жёлтыми и красными палочками – атомы кремния и кислорода в тетраэдрах.

Выполненные нами электронно-микроскопические исследования показали весьма отличную от всех описанных для портландцементного камня структуру и морфологию цементного камня **в бетонах на основе** наноцементов. С помощью сканирующей зонной микроскопии (СЗМ Ntegra Prima) были фиксированы участки сколов с поверхности бетонов на наноцементе после года твердения в нормальных условиях в трехмерном изображении. На полученных изображениях исследованных образцов бетонов на наноцементах наблюдается рельеф сколов цементного камня в виде аморфизированной – «слоисто-бугорчатой» структуры – практически без признаков кристаллических образований, в том числе характерных и для гидроксида кальция, всегда наблюдающегося при твердении бетонов на традиционном портландцементе. Высота рельефа достигает  $120 \text{ нм}$ , на полученных снимках достаточно отчетливо наблюдается слоистость цементного камня вдоль одной пространственной оси (рис 15). Толщина слоев в цементном камне, по нашей оценке, около  $10 \text{ нм}$ .

Такое радикальное отличие морфологии цементного камня в бетонах на наноцементах с тонко измельченным кремнеземом и, соответственно все выдающиеся показатели строительно-технических

свойств таких бетонов, можно связывать с топохимическим механизмом гидратации высокоосновных силикатов кальция с атомами кальция в повышенной (выше шестерной) координации кислородными атомами, что вызывает наличие в кристаллических решетках минералов, полостей, доступных для диффузии водородных ионов воды и их захвата на нескомпенсированных связях кислородных атомов активной поверхности клинкерных частиц с интенсивным формированием структурных фрагментов гидросиликатов кальция(1,10).

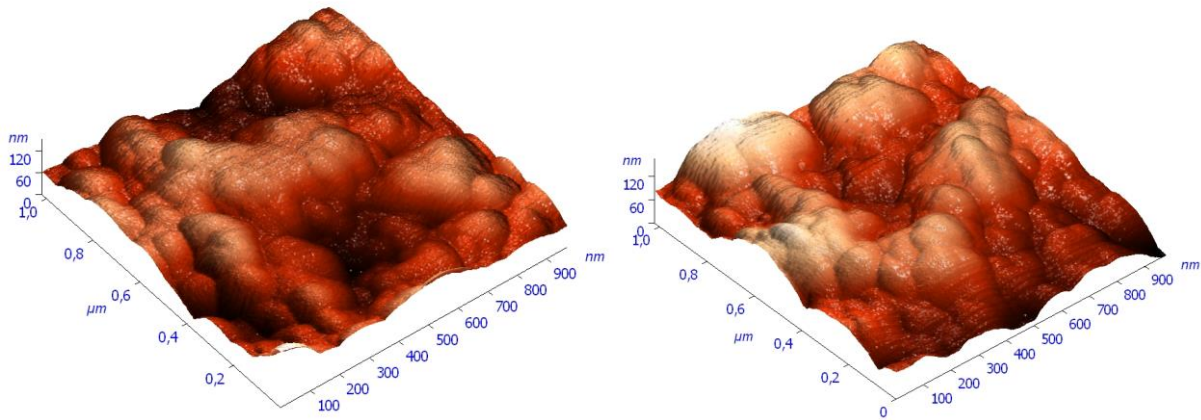


Рис 15 . СЗМ - трехмерные изображения поверхности скола цементного камня в бетоне одного года твердения на основе наноцемента . Размерности на осях.

Развитие указанных представлений позволяет предположить, что вышеописанные кластеры из триад кремнезема, координированных кальций-кислородными комплексами с минимальными изменениями переходят из безводных фаз в гидросиликатные новообразования, которые структурируются активными молекулами воды, адсорбирующимися во внутрь цементных зерен и образующих близкие по строению кластеры гидросиликатов кальция согласно механизму молекулярного наслаивания по Алесковскому В.Б. (13).

Особенно интенсивно такой процесс проходит в присутствии дисперсных частиц кремнеземистых заполнителей и родственных минералов, поставляющих уже в начальные сроки дополнительный кремнезем для структурной перестройки безводных высокоосновных силикатов в гидросиликаты кальция. Такой подход объясняет описанную выше слоевую морфологию новообразований цементного камня (характерную для низкоосновных гидросиликатов кальция) в бетонах на основе малоклинкерных наноцементов .

Нет сомнений, наноцементы откроют новый этап в развитии мировой цементной промышленности и совершенствовании технологии бетонов, с реализацией радикального энергосбережения, снижения затрат топлива, выбросов  $CO_2$ ,  $NO_x$  и  $SO_2$  , повышения качества бетонов при снижении расхода цемента, уменьшения себестоимости главных строительных материалов современности.

Для заводов по производству сборного железобетона наиболее оптимальны линии производительностью от 3-4 до 5-6 т новых цемента в час .В этом случае объемы наноцементов позволяют обеспечить весь объем железобетона предприятия , средняя проектная мощность заводов ЖБИ составляет около 120 тыс. куб м бетонных изделий в год. При строительстве линий мощностью 20-25 тыс. т наноцемента на заводах ЖБИ с учетом использования существующей инфраструктуры необходимые капиталовложения могут быть снижены до 15-20 долларов США на тонну продукта.

Все далее добавить при переводе!!!

### **Долговечность бетонов на основе наноцементов**

На рис. 16 представлены результаты длительных (до четырех лет) испытаний, в ходе которых определяли темпы твердения в нормальных условиях бетонов на опытно-промышленных партий (исходный материал – портландцемент Старооскольского цементного завода, минеральная добавка – смесь кварцевого песка и доменного шлака в соотношении 1:1). При постоянном расходе вяжущего  $300 \text{ кг/м}^3$  и подвижности бетонных смесей 1–4 см прочность бетона на основе чистоклинкерного наноцемента ВНВ-100 в возрасте 28 сут. составляла 70 МПа, наноцемента 50 – 60 МПа, наноцемента 30 – 38 МПа.

В раннем возрасте (3–7 сут.) темпы твердения бетонов на основе наноцементов 50 и до чистоклинкерного (ВНВ-100) значительно выше, чем бетона на основе наноцемента 30. Так, в возрасте 3 сут. относительные значения прочности бетонов на основе наноцемента 50 и чистоклинкерного ВНВ-100 составляют соответственно 60 и 73%, а на основе наноцемента 30 только 42% (рис 16).

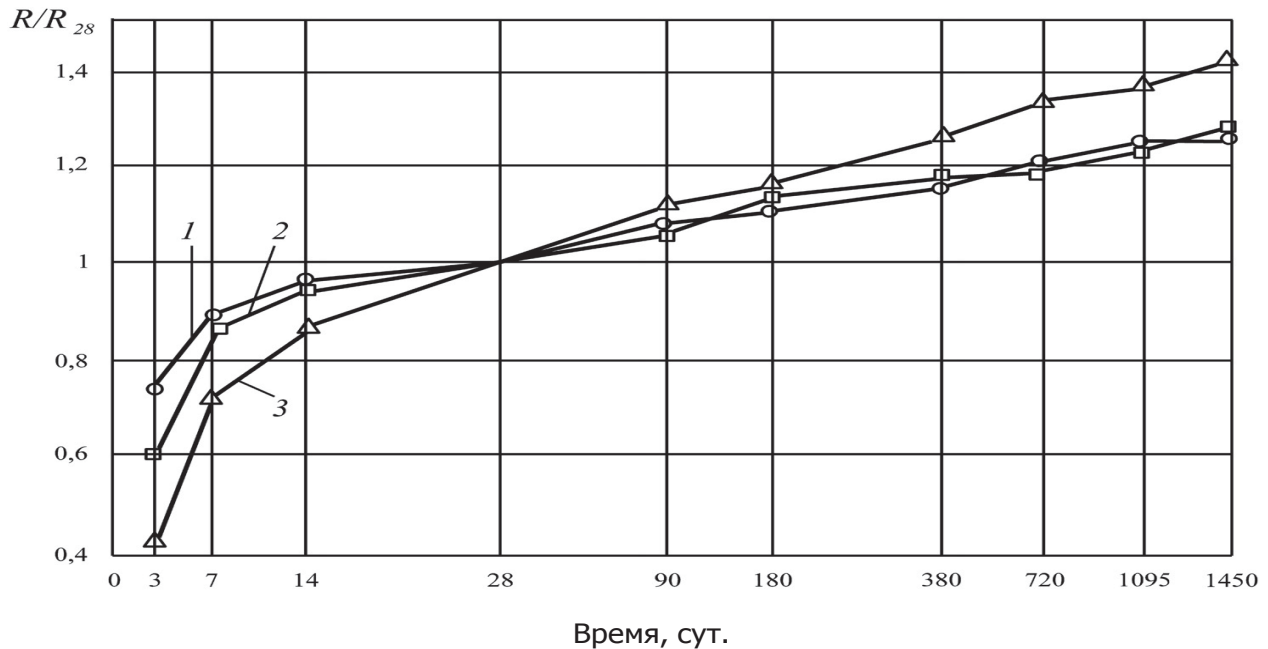


Рис. 16.. Темпы роста прочности бетонов для различных классов наноцементов:

1 – чистоклинкерный наноцемент (ВНВ-100); 2 – наноцемент 50; 3 – наноцемент 30  
(классы наноцементов соответственно 82,5 ; 62,5 и 32,5)

При последующем твердении темпа роста прочности бетонов на основе наноцемента 50 и чистоклинкерного наноцемента ВНВ-100 практически выравниваются и прирост прочности в возрасте одного года и четырех лет составляет соответственно 15–17 и 25–27% (рис 16). В противоположность этому бетон на основе наноцемента 30 отличается более значительным приростом прочности, составляющим в те же сроки 26 и 42%, что обусловлено продолжающейся пуццолановой реакцией, вклад которой в формирование прочности при длительном твердении возрастает.

В среднем, темпы роста прочности бетонов на основе наноцементов с содержанием клинкерной составляющей 50% и более при длительном твердении соответствуют темпам роста прочности высокомарочных портландцементных бетонов, а при использовании наноцемента 30 – темпам роста прочности бетонов низких и средних марок на основе пуццолановых цементов и портландцементов с минеральными добавками. Во всех случаях отмечается устойчивый прирост длительной прочности бетонов на основе наноцементов, а отдельные отклонения прочностных показателей находятся в пределах разброса опытных данных.

### Области применения наноцементов

#### На основе наноцементов целесообразно производить:

- Высокопрочные и долговечные бетоны для сейсмостойкого строительства, возведение высотных зданий из трубобетона и монолита.
- Сверхпрочные бетоны для специальных конструкций, инженерных сооружений и архитектурных комплексов (тонкие оболочки, несущие колонны, ригели, тубинги, бетонные каркасы и мостовые конструкции).
- Высокопрочные бетоны для дорожного строительства (дорожные плиты для мощения дорог, площадок и взлетных полос, аэродромов, монолитного покрытия территорий автозаправочных станций и эстакад, ограждений, бортового камня, дорожных столбиков и др.).
- Бетоны для гидротехнических сооружений, в т.ч. морских, для буровых установок добычи нефти, для туннелей метро и других подобных конструкций.

- Архитектурный бетон (литой искусственный камень) и изделия на его основе для благоустройства города: фонтаны, вазоны, барельефы, скульптуры и др.).

- Изделия из архитектурного бетона ОАО «Московского ИМЭТ», освоенные на Московском комбинате строительных материалов по технологии института с 1997 г., включены в Московский территориальный строительный каталог, ч. I «Малые архитектурные формы и элементы благоустройства территорий, г. Москва, 1999 г.

- Высококачественные экономичные сухие строительные смеси различного назначения (для штукатурных работ, кладочные, для наливных полов, плиточные и другие).

- Бетоны и растворы для зимних работ.

- Легкие крупнопористые бетоны по технологии «КАПСИМЭТ» с расходом цемента в пределах 100–140 кг на 1м<sup>3</sup> изделия или монолитной стены .

### **Высокопрочные бетоны**

Высокопрочные бетоны на основе наноцементов отличаются следующими достоинствами (табл.6):

- высокой ранней прочностью (от 40 до 70 МПа в первые сутки твердения);
- хорошей удобоукладываемостью с осадкой конуса до 10 см при водоцементном отношении не более 0,25;
- возможностью использования при приготовлении бетона некондиционных заполнителей (мелкие пески, гравий речной, щебень из слабых горных пород).

Таблица 6

### **Характеристики высокопрочных бетонов на наноцементях**

№ п/п	Наименование показателя	Значения для различных высокопрочных бетонов показателя класса (марки)		
		В 60 М 800	В 65 М 900	В 75 М1000
1	Прочность на сжатие через 1 сут. нормального твердения (распалубочная прочность), МПа, не менее	42,0	56,0	70,0
2	Прочность на сжатие через 28 сут. нормального твердения, МПа	80,4	91,7	93,2
3	Водопоглощение, %, не более	2,5	2,0	1,5
4	Марка по морозостойкости, не менее	F 700	F 800	F 800
5	Истираемость, г/см <sup>3</sup> , не более	0,4	0,4	0,4
6	Водонепроницаемость, не менее	W 12	W 14	W 16





### **Сверхпрочные бетоны**

Сверхпрочные бетоны на основе наноцементов, щебня и кварцевого песка выгодно отличается по свойствам от обычных бетонов и обладают:

- безусадочностью;
- сверхнепроницаемостью;
- повышенной износостойкостью;
- высокой ранней прочностью;
- высокой подвижностью при вибрационных воздействиях;
- регулируемыми сроками твердения;
- высокой долговечностью;
- способностью к полировке как природный камень.

Таблица 7

#### **Характеристики сверхпрочных бетонов на наноцементях**

<b>Механические характеристики</b>		<b>Физические свойства</b>	
Прочность при сжатии	100–150 МПа	Объемная масса	2600– 2700 кг/м <sup>3</sup>
Предел прочности при изгибе	10 - 15 МПа	Долговечность	неограничена
Прочность при растрескивании	8–12 МПа	Водонепроницаемость	до 20 W
Модуль эластичности E*10 <sup>3</sup>	45–60 МПа	Морозостойкость	800 F
Предел деформируемости* 10–3	2,6–3,0	Усадочные растрескивания	отсутствуют
Коэффициент динамического упрочнения	1,4–1,6	Наращивание прочности со временем: 1 год 5 лет 10 лет и далее	15–20% 20–25% до 30%
Коэффициент Пуассона	0,20 -0,22		

Высокопрочный и сверхпрочный бетоны на основе наноцемента – превосходные строительные материалы и изделия с высокими надежностью и долговечностью. Общим преимуществом всех железобетонных конструкций с применением высокопрочных и сверхпрочных бетонов на основе наноцементов является кроме всяких конструктивно-технических свойств более низкий, в сравнении с традиционным, расход цемента, применение более доступных нерудных заполнителей бетона и снижение стоимости сооружений, обеспечение максимальной устойчивости и долговечности.

### **Выдающиеся свойства бетонов на основе наноцементов позволяют:**

- получать изделия из архитектурного бетона по показателям близким к природному граниту, но в 3–5 раз дешевле, с возможностью их дальнейшей шлифовки и полировки, как природного камня;
- получать бетоны высокой и сверхвысокой прочности (выше класса В60) с высокой водонепроницаемостью (W16–W20), повышенной стойкостью к воздействию сульфатов, хлоридов и слабых кислот);
- обеспечить экономию 30–50% металла (арматуры) в высоко- прочных и сверхпрочных бетонах;
- ускорить твердение изделий, которые в течение суток достигают прочности 60–70 МПа, а в возрасте 3-х суток приобретают прочность (не ниже 70% марочной прочности бетона в возрасте 28 суток нормального твердения);
- сократить в 1,5 – 3 раза расходы цемента при производстве бетонов за счет совместной с наноцементными с механоактивации кремнеземистых заполнителей (мелкозернистые пески,каменные породы, золы, шлаки);
- сделать возможным переработку как портландцемента, так и клинкера, реализацию технологии автономно или путем встраивания в существующий технологический процесс производства цемента;
- снизить энергозатраты на производство бетона за счет исключения пропарки при твердении изделия;
- получать архитектурный бетон повышенной декоративности (чистый тон, яркий цвет) устойчивых к образованию известкового налета (высолов) на поверхности изделия при эксплуатации в загрязненных условиях мегаполисов.

### ***Области применения и эффективность использования наноцементов в различных конструкциях***

#### *Высотные здания и конструкции*

- Снижение расхода портландцемента:
 

в несущих колоннах	– в 2–3 раза;
в плитах	– в 1,3–1,5 раза.
- Увеличение скорости оборота опалубки – от 2 до 3 раз.
- Снижение общей стоимости каркаса здания – от 20 до 40%.

#### *Гидротехнические и подводные сооружения*

- Увеличение долговечности – от 2 до 3 раз;
- Снижение расхода портландцемента – до 2 раз;
- Снижение стоимости сооружения – от 30 до 50%.

#### *Тоннели. Шахты*

- Снижение расхода портландцемента – в 1,5 раза;
- Повышение долговечности за счет водонепроницаемости бетона – в 2 раза;
- Снижение стоимости – на 20–30%.

#### *Мосты, дороги, эстакады*

- Снижение расхода портландцемента – в 1,5 раза;
- Увеличение долговечности – до 2 - 3 раз;
- Снижение затрат – от 15 до 25%.

*Конструкции оборонных сооружений*

- Увеличение прочности конструкций – от 2 до 2,5 раз;
- Увеличение устойчивости и долговечности – от 3 до 5 раз.

**СУХИЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ СМЕСИ НА ОСНОВЕ НАНОЦЕМЕНТОВ**

ОАО «Московский ИМЭТ» также разработаны различные составы сухих строительных, ремонтных и специальных смесей для применения в различных областях строительства.

***Сухие ремонтные строительные смеси на наноцементе****Назначение*

Предназначены для быстрого качественного ремонта бетонных, армобетонных и железобетонных покрытий трамвайных путей, автомобильных дорог и взлетно-посадочных полос аэродромов, элементов конструкций мостов и тоннелей, зданий и сооружений, подводных работ.

*Технические характеристики*

Готовые к применению высококачественные быстротвердеющие сухие ремонтные смеси, состоят из наноцементов, фракционированного заполнителя, армирующих волокон специальных добавок. В зависимости от скорости набора прочности подразделяются на быстротвердеющие и сверхбыстротвердеющие сухие механоактивированные смеси на наноцементе (Табл. 8,9).

Таблица 8

**Характеристики сухих ремонтных строительных смесей на наноцементе**

Технические характеристики	Тип смеси	
	быстротвердеющая	сверхбыстротвердеющие
Прочность при сжатии, МПа, в возрасте: 3 часа 1 сутки 28 суток	– 30 60–80	30 40 50–30
Прочность сцепления с бетоном, МПа, в возрасте: 3 часа 1 сутки 28 суток	– 1,5 6,5	1,5 1,8 4,0
Сохранение консистенции, не менее	1 час	12 мин.
Морозостойкость, циклов, не менее	300	
Водонепроницаемость, не менее	W 14	

**Примечание:** в зависимости от крупности заполнителя толщина ремонтного слоя составляет от 15 до 100 мм

*Рекомендации по применению*

- Ремонт горизонтальных поверхностей осуществляется путем заливки раствора в опалубку. Для ремонта вертикальных стен и наклонных поверхностей используются специальные тиксотропные составы (имеющие высокую подвижность при перемешивании и высокую вязкость в состоянии покоя). Для получения 1 м<sup>3</sup> бетона необходимо, ориентировочно, 2,0 т сухой смеси.

### **Сухие ремонтные смеси на наноцементях для бетонных покрытий**

- Подземные и многоэтажные гаражи, станции технического обслуживания. Магазины и торговые центры.
- Склады с интенсивными механическими нагрузками.
- Производственные помещения, в т.ч. целлюлозно-бумажных комбинатов, мясоперерабатывающих заводов.

#### *Рекомендации по применению*

Устройство бетонных полов с высокопрочным верхним слоем включает следующие операции:

- армирование по площади;
- укладка бетона и выравнивание;
- виброобработка бетона;
- устройство упрочненного верхнего слоя путем механического втирания диском композиции бетонозатирочной машины в сырой бетон; %
- полировка покрытий
- на 1 м<sup>2</sup> площади при толщине слоя покрытия 3–5 мм расходуется 3,5–5 кг сухой строительной смеси на наноцементях.

Таблица 9

Основные свойства сухих ремонтных смесей на наноцементях для цветных декоративных покрытий

<b>Техническая характеристика</b>	<b>Значение показателя</b>
Прочность при сжатии, МПа (28 суток)	80–85
Прочность при изгибе, МПа (28 суток)	10–12
Истираемость, г/см <sup>2</sup>	0,4–0,7
Химическая стойкость	Стойкое к воздействию воды, бензина, масел, эмульсий, моющих средств
Морозостойкость, не менее	F 300
Водонепроницаемость, не менее	W 12
Цвет	Красный, серый, зеленый, желтый, голубой, черный

**Примечание:** толщина верхнего упрочненного слоя 3 – 5мм

Преимущества технологии:

- повышение прочности на сжатие покрытия пола на 35% и выше;
- снижение износа и пылеотделения в 3–4 раза;
- высокая ударопрочность и маслостойкость;
- способность к полировке покрытий ;
- легкая и качественная уборка помещения;
- изготовление покрытий с декоративным цветным орнаментом
- архитектурная выразительность и долговечность.

## **«ПРОНИКС» - инновационная гидроизоляция и материалы для ремонта на основе наноцементов**

Задачи по устройству гидроизоляции, ремонту и восстановлению ж/б конструкций, в том числе на объектах повышенной сложности, можно эффективно решать, применяя современные материалы и технологии. Сегодня к таким перспективным материалам относятся Гидроизоляционные сухие строительные смеси «ПРОНИКС», производимые на основе наноцемента общестроительного, разработанного ОАО «Московский ИМЭТ» и сертифицированный подразделением «РОСНАНО» - АНО «НАНОСЕРТИФИКА» (16,17). Использование наноцемента в смесях «ПРОНИКС», с применением комплекса различных модифицирующих добавок, придает продукции «ПРОНИКС» высокие гидроизоляционные, прочностные, литьевые свойства.

Применение наноцемента в составе смесей «ПРОНИКС» позволяет увеличить глубину проникновения в тело бетонов в составе солей проникающего действия, привнося свободный кальций и увеличивая рост кристаллов в порах и микротрещинах бетона, придавая ему свойства гидротехнического водонепроницаемого бетона. Также при этом улучшается адгезия материалов. Строительные смеси «ПРОНИКС» просты в применении, не требуют особых навыков и высокой квалификации рабочих. В отличие от использования рулонных материалов, отпадает потребность в огнеопасных работах. При необходимости, восстановление прочностных характеристик конструкции и устройство гидроизоляции заглубленных частей зданий и сооружений достаточно провести изнутри помещений, подвалов.

Материалы «ПРОНИКС» на основе наноцементов 30 - 75 используются при проведении ремонта в самых сложных ситуациях, когда возникли серьезные проблемы с гидроизоляцией. С материалами «ПРОНИКС» нет необходимости осушать поверхность, более того, их лучше наносить именно на увлажненную поверхность. Срок службы наших материалов приравнивается к сроку службы бетона и составляет 50 лет. Материалы «ПРОНИКС» обеспечивают восстановление целостности конструкции за счет того, что мельчайшие компоненты глубоко проникают в тело конструкции, останавливая фильтрацию воды, при этом увеличивая прочность.

Вся линейка продукции «ПРОНИКС» сертифицирована по системе ГОСТр, пожаробезопасна. Допускается Роспотребнадзором для применения на резервуарах с питьевой водой, что говорит о высочайшем качестве и экологической безопасности материалов «ПРОНИКС». При этом продукция компании не уступает зарубежным аналогам по качеству, а по ряду параметров ее превосходит при значительно более низкой стоимости. На сегодняшний день «ПРОНИКС» производит 18 наименований продукции. Это материалы проникающего типа, ремонтные для стыков, швов, трещин, гидроромбы, гидроизоляционные ремонтные покрытия, модификаторы, минеральные инъекционные, эпоксидные защитно-декоративные, эластичные и другие составы, в т.ч. специального назначения. Особо можно отметить сверхпроникающие материалы, а также инъекционный материал – Наноинжект, в составе которого используются минеральные компоненты – наноцемент, бентонитовая глина, доломитовая мука и др, фракции которых не превышают 25 микрон. Ну и, конечно, комплексные модифицирующие добавки в бетон, как химической направленности, так и на основе микрокремнеземов, модифицирующие бетон до состояния гидротехнического. Подробно о материалах «ПРОНИКС» можно узнать на сайте [www.pronicks.ru](http://www.pronicks.ru).

Фирма «ПРОНИКС» выполняет гидроизоляционные и ремонтные работы на различных направлениях строительной индустрии. Работы проводятся как на частных объектах, так и на крупных промышленных, имеющих общегосударственное значение.

Материалы компании «ПРОНИКС» были эффективно использованы на знаковых объектах:

- Здание №1 (Резиденции президента РФ), Здание №14 - Кремль
- Гидроизоляция бетонных оснований и фундаментов при строительстве 17 этажных жилых домов в г. Протвино М.О.;
- Ремонт и восстановление гидроизоляции изнутри в подвальном помещении пятиподъездного жилого дома п.Большевик, М.О.
- Устройство общей гидроизоляции, а также гидроизоляция вводов коммуникаций, в т.ч. инъекционного действия, при строительстве резервуаров объемом 1000 куб.м. в Серпуховском р-не М.О.;
- Берегоукрепление дворцового пруда усадьбы «Кусково», г.Москва;

- БОСы, г. Железнодорожный М.О.;
- «Мосводоканал»;
- Кабельные, ливневые коллекторы, в т.ч. в г.Москве;
- «Рокский» автомобильный тоннель в Осетии;
- а также объекты РосАтом, Норникель, РЖД, Полиметалл, ПИК, СК «МОСТ» и др.

### ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ НАНОЦЕМЕНТОВ

Учитывая, что цементная промышленность КНР крупнейшая в мире и Китай производитель 70 % цементного оборудования, освоение технологии нанощементов позволит изменить всю стратегию развития мировой цементной промышленности, увеличить объемы мирового производства цемента в 1,5 - 2,0 раза без строительства новых цементных заводов и сырьевых карьеров, только за счет расширения мощности помольных отделений. Можно эффективно модернизировать цементные заводы России, КНР, ОАЭ, Индии, Бразилии и других стран путем масштабной реализации энергосберегающей технологии нанощементов с применением китайского оборудования на основе взаимовыгодного сотрудничества (рис 16).

В настоящее время повышение эффективности цементного производства в КНР, Индии и других странах решается путем реализации комплексных национальных программ.

#### Утвержденные национальные Программы содержат такие мероприятия как:

- развитие энергоэффективных технологий на всех этапах технологического процесса;
- использование альтернативного топлива и сырьевых материалов;
- использование отходов других производств;
- увеличение доли активных минеральных добавок в цементе.

Опыт промышленной реализации механохимически активированных портландцементов - нанощементов - позволил начать освоение новой технологии в практике цементной промышленности, на настоящее время произведено и успешно применено в бетонах более 3 млн тонн нового цемента.

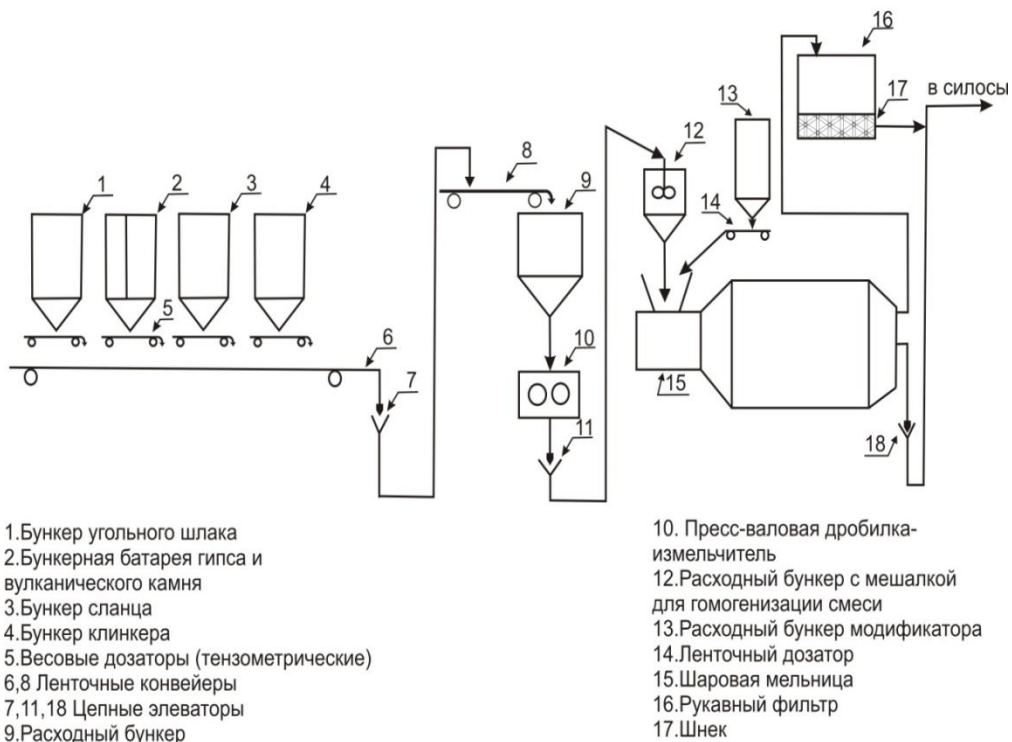


Рис.16 . Технологическая линия по производству малоклинкерного нанощемента на базе переработки цементного клинкера производительностью 50 т в час , завод Шин-Хуа, КНР

Наноцементы позволяют пересмотреть существующие стандарты во всем мире не только в области цемента, но и в производстве различных бетонов. Так, в частности, применение наноцементов позволяет отказаться от пропарки изделий и конструкций из железобетона и бетона, радикально упрощая требования к нерудному сырью – применяемым щебням и кварцевому песку.

Использование этих мероприятий позволяет в технологиях цемента и бетона сократить удельное потребление энергии, объем выбросов CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> и SO<sub>2</sub> использовать некондиционное в настоящее время, по существующим нормам, нерудное сырье (слабые щебни, пески пустынь) и различные промышленные отходы. Технология наноцементов позволит эффективно решить все проблемы совершенствования цементной промышленности и технологии бетонов КНР, Индии, стран БРИКС, ШОС и других регионов во всем мире.

Возможность применения технологии наноцемента в ОАЭ, КНР, Индии, Бразилии и других странах может быть реализована в двух вариантах:

*1. Повышении классов традиционных цемента до классов 72,5 – 82,5, не выпускаемых в промышленных масштабах нигде в мире, кроме России. Такие цементы отличаются интенсивностью набора прочности и возможностью получения на их основе бетонов без термо-влажностной обработки с высокими и сверх-высокими прочностными характеристиками при быстром твердении. В этом варианте технология может быть реализована на цементных заводах практически без капиталовложений, в течение 2-3 х месяцев по разработанной нормативно-технической документации.*

*2. Производства малоклинкерных цемента с минеральными добавками (до 70 % масс.) с увеличением объемов производства цементного завода в 1,5-3 раза за счет расширения мощности помольных отделений. В этом случае клинкер цементных заводов по предлагаемой технологии перерабатывается в наноцементы классов 32,5-72,5 с добавлением на каждую тонну клинкера от 1 до 3 тн минеральных добавок в виде некондиционных природных песков, алюмосиликатных горных пород, а также шлаков, зол и других отходов.*

В обоих вариантах в стоимость необходимых затрат будет входить стоимость международной лицензии на право производства наноцемента, которая составит около 1-2 долл. США за 1 тн цемента в зависимости от мощности предприятия. Условия лицензионного соглашения и роялти могут быть согласованы при переговорах с каждым конкретным заводом или фирмой.

Цементный завод, реализующий технологию малоклинкерных наноцементов без расширения мощности помольного отделения, может производить такие цементы в объеме своих мощностей с одновременной продажей на рынок 40-60 % своего клинкера.

При желании завода - покупателя новой технологии увеличить объемы своего производства необходимые капиталовложения в этом случае составят затраты по приобретению и монтажу дополнительного помольного оборудования цементного завода или крупных производителей бетона. Московский ИМЭТ, Россия, DANIRA, UAE и их дочерние фирмы, совместно с машиностроительными заводами КНР, Российской Федерации и других стран, могут оказать комплекс инженерных услуг, включая поставку оборудования и помощь в освоении технологии наноцементов.

Перспективность реализации технологии наноцементов в широком объеме диктуется ключевыми проблемами цементной промышленности России, ОАЭ, КНР, Индии, Бразилии и других стран - необходимостью значительного увеличения объемов производства цемента, снижением в 2 – 3 раза удельных затрат топлива, выбросов CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> и SO<sub>2</sub>, повышением качества и уменьшением себестоимости цемента и бетонов, использованием скопившихся объемов промышленных отходов, применением некондиционного нерудного сырья и улучшением экологии планеты.



### Библиография:

1. Бикбау М.Я. Нанотехнологии в производстве цемента.- М.: ОАО «Московский институт материаловедения и эффективных технологий», 2008. - 768 с.
2. Батраков В.Г. Модифицированные бетоны. Теория и практика. М., Стройиздат, 1998, - 768 с.
3. Бикбау М.Я. Атомная структура и механизм полиморфных превращений трехкальциевого силиката // Цемент и его применение.-2006. - июль-август.- № 4. - С.71 – 76.
4. Бикбау М.Я. Кристаллическая структура и полиморфизм двухкальциевого силиката // Цемент и его применение.-2006. - № 5. - С.66 – 67.
5. Бикбау М.Я. Открытие явления нанокапсуляции дисперсных веществ // Вестник Российской академии естественных наук. сер. Физика, 2012, №3. – С. 27 – 35).
6. Бикбау М.Я. Новые цементы и бетоны. Открытие явления нанокапсуляции дисперсных веществ// Журнал ЖБИ и конструкции. 2012, № 4, С. 64 - 72
7. Бикбау М.Я., Высоцкий Д.В., Тихомиров И.В., Бетоны на наноцементях: свойства и перспективы // Строительные матер., оборуд. и технологии XXI века . Технология бетонов. – 2011. - №11-12. С.20-24.
8. Бикбау М.Я. Наноцемент – основа эффективной модернизации заводов сборного железобетона// ЖБИ и конструкции.-2012, № 1, С.38-42
9. Бикбау М.Я. Свойства и структура бетонов на наноцементях. // В сб.» Бетон и железобетон в будущее». Научные Труды III Всероссийской (II Международной) конференции по бетону и железобетону. Москва., 12-16 мая 2-14 года, том 6, с 158 -170
10. Бикбау М.Я. Особенности кристаллохимического строения и гидратации силикатов кальция и других двухвалентных металлов. Дисс.к.т.н., Москва, МХТИ им.Д.И.Менделеева, 1972 г.,- 237 С.
11. Pellenq R. J.-M., Kushima A., Shahsavari R., van Vliet, K.L., Buehler M.J., Yip S., Ulm F.-J. A realistic molecular model of cement hydrates.//Nat/Acad. of Science. Proceedings, Wash., 2009, v. 106, 38, pp. 16102-16107.
12. Шпынова Л.Г., Белов Н.В., Чих В.И. О метамиктности гидросиликатов кальция камня  $C_2S$  // Доклады АН СССР, 1979, т. 244, № 6, С.1115 – 1117
13. Алесковский В.Б. Химия надмолекулярных соединений. С-Петербург., Изд. СПбГУ, 1996, - 256 С.
14. Бикбау М.Я. Наноцемент – основа эффективной модернизации заводов сборного железобетона // Журнал «ЖБИ и конструкции». – 2012.-№ 1. – С. 38-42
15. Афанасьева В.Ф. Результаты испытаний бетонов с применением наноцементов // Журнал «Строител. матер, оборуд. и техн. XXI века . Технология бетонов». – 2012. - №9-10.-С. 16-17
16. «ПРОНИКС»- инновационная гидроизоляция и материалы для ремонта. Простые решения сложных проблем//Журнал «СТРОЙКА».- 2014 . - № 45 (ноябрь) . – С.28 – 29
17. Стандарт организации ООО «ПРОНИКС» СТО ПРО 001 – 11287329 – 2014 .Москва, ООО «ПРОНИКС» – С.100