

**ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬ ПРОИЗВОДСТВА НАНОЦЕМЕНТОВ.  
О ВОЗМОЖНОСТИ СНИЖЕНИЯ УДЕЛЬНЫХ ЗАТРАТ ТОПЛИВА И ВЫБРОСОВ  
CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> и SO<sub>2</sub> ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ЦЕМЕНТА В 2 - 3 РАЗА**

**ХАСАНОВ НАИЛЬ , ЕВРОКАМ, МОСКВА, РФ**

*В докладе 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 тонко измельченного кварцевого песка (считающегося наиболее инертным материалом, но в малоклинкерных наноцементах в активное химическое взаимодействие 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 году на 75%, до 43,7 млрд.т. 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 году до 43,7 млрд. тонн к 2030 году, 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 в США, Индии и Китае. В частности, в растущем производстве цемента, может привести к тому, что в период с 2015 по 2030 год оно превзойдет по выделению CO<sub>2</sub> даже нефть.

Тем не менее, составители прогноза не учитывали возможное влияние находящихся на рассмотрении или на стадии проектов законов, ограничений или стандартов, включая международное соглашение о снижении выбросов, известное как Киотский протокол.

По условиям Киотского протокола, ратифицировавшие его 35 богатейших стран мира обязуются в течение 2008-2012 годов должны были снизить выбросы парниковых газов до уровня на 5% ниже их уровня 1990 года.

Производство значительных объемов цемента требует сжигания ежегодно сотен млн.т. 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 способам производства, составляя ежегодно десятки млрд.куб м 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  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_x$  и  $\text{SO}_2$ :

- 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.т 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 году цементными заводами России, составило около 8 % масс. и значительно снизилось за последние десятилетия. В то же самое время мировые нормативные документы цементников, соответствующие стандартам, принятому в Европе : EN – 197-1 и ASTM в США 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 с 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 году - 26 % масс., к 2030 – 27 % масс. и к 2050 году – 28 % масс..

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 . Цементные заводы по всему миру уже десятилетия производят практически одинаковый продукт .

Российские ученые разработали технологию модификации портландцемента, позволяющую радикально повысить его строительно-технические свойства и, в первую очередь, марочную прочность (класс) цементов до уровня 92,5 – 102,5 .

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

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

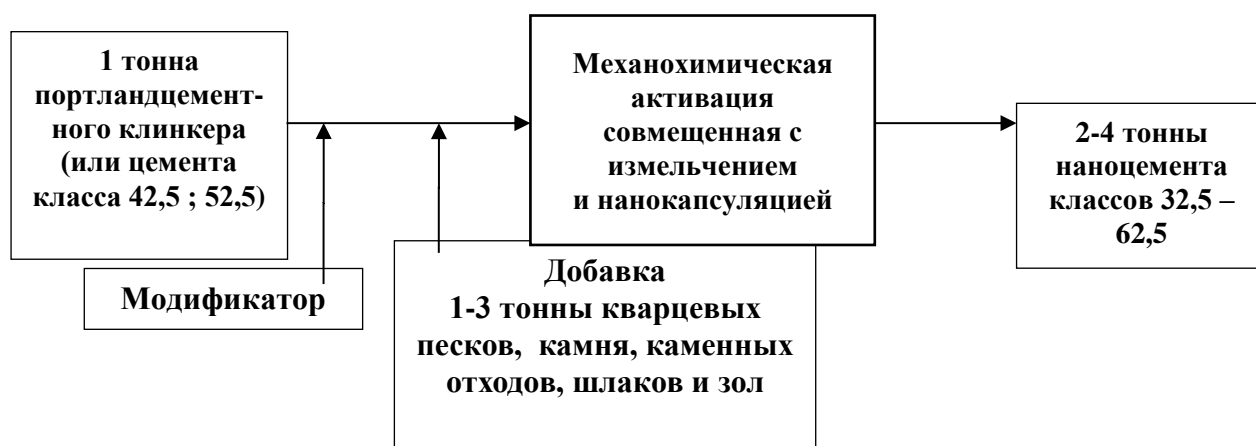


Рис. 1. Принципиальная схема производства малоклинкерных наноцементов

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.

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 (распływ 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% масс. наномодифицированного 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 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 наноцементных от 90 до 30 % масс., проведенные в 2012 году ГУП «НИИМОСстрой» совместно с АНО «НАНОСЕРТИФИКА».

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».

Впервые в мире наноцементы определены как наносодержащая продукция класса Б, подтверждено наличие нанооболочки на зернах цемента и получены сертификаты соответствия нананоцементов, 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 малоклинкерных 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 таких малоклинкерных наноцементных до 30-45 % с сохранением строительно-технических свойств бездобавочного портландцемента (табл.1).

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 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.

Малоклинкерные наноцементы – наноцементы 30,35,45,55(табл.1) при обеспечении высоких строительно-технических свойств цементов позволяют не только снизить до 2-3 раз удельные затраты топлива и выбросы  $\text{CO}_2$  на тонну цемента, но и значительно снизить их себестоимость.

Таблица 1

Строительно-технические характеристики наноцементов, испытанных на соответствие ТУ 5733-067-66331738-2012 «Наноцемент общестроительные. Технические условия».

(Испытательная лаборатория ГУП «НИИМострой», 2012г.)

Наименование пробы	Предел прочности в МПа образцов нормального твердения						Нано- оболочка , толщина, nm	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 сжати и	при изгибе	при сжати и	при изгибе	при сжати и			
портландцемент исходный ПЦ-500 ДО-Н «Осколцемент» партия №654	2,9	21,3	-	-	6,4	54,4	Отсутст- вует	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 тонкомолотый, вместе с цементом, кварцевый песок

\*\* - Материалы минеральных добавок для упрощения расчетов считаются сухими, для базового цемента учтен мокрый способ производства

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  $CO_2$  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. При этом 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. т и продолжают ежегодно возрастать, как и в КНР, Индии и других развивающихся странах.

Таким образом , реализация технологии 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 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  $NO_x$ ,  $SO_2$  и  $CO_2$  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 наноцементах за счет снижения расхода портландцемента и применения местных нерудных с экономией затрат в пределах от 500 до 1000 руб на куб м бетонной смеси.*

Полученные характеристики бетонов на наноцементах 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 .

*Освоение технологии наноцементов 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.*