

## ВОЗМОЖНОСТЬ ЭФФЕКТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА НАНОЦЕМЕНТА В КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

*В статье приводятся итоги исследований и опытно-промышленных испытаний по производству наноцементов и бетонов на их основе в Калининградской области — стратегическом регионе России. Результаты испытаний подтверждаются многолетним мировым опытом производства наноцементов с мелкозернистыми песками российских карьеров, среднеазиатских и арабских пустынь, а также строительно-техническими свойствами получаемых бетонов.*



**М. Я. Бикбау,**

*д. х. н., академик РАН, генеральный директор ООО «Международный ИМЭТ» (г. Москва)*

С целью обеспечения строительной отрасли самого западного региона России необходимыми объемами цемента в рамках поручения секретариата Губернатора Калининградской области от 7 октября 2022 года № 13683/01–15-П на предприятии ООО «Техносервис» и в лабораториях области были проведены изготовление и сравнительные испытания наноцементов и исходного портландцемента в бетонах. Производство осуществлялось способом

модификации привозного портландцемента в наноцементы 30 и 45 по СТО Международный ИМЭТ 06965796–006–2021 «Малоклинкерный портландцемент наномодифицированный (МК-Наноцемент)» с введением в наноцементы от 50 до 70 % масс. карьерного песка Калининградской области. При этом обеспечивалось высокое качество получаемых цементов при их низкой себестоимости.

### Актуальность работы

В январе 2023 года компания «Цемрос» (ранее «Евроцемент») сообщила<sup>1</sup> об удорожании на 20 % железнодорожных тарифов на перевозку грузов. Этот факт, а также повышение цен на сопутствующие товары, в частности уголь и газ, несомненно, сказались на стоимости цемента для Калининградской области. По информации официального сайта «Цемрос», для поставки на строительные площадки Калининградской области в прошлом году полумиллиона тонн цемента «компания переориентировала логистику ряда предприятий:

были выделены дополнительные транспортные мощности, увеличено количество ж/д вагонов и введены дополнительные отгрузочные смены». В настоящее время продукция поставляется в Калининградскую область сухопутным и морским маршрутами — прямыми железнодорожными поставками через Литву, паромным сообщением Усть-Луга — Балтийск (мешки и навалый цемент), а также морскими сухогрузами (биг-бэги и мешки).

Тем не менее, в связи с ограничениями на перевозку цемента через территорию Литвы существует риск образования дефицита цемента в Калининградской области, что послужило поводом для проведения настоящих испытаний в рамках вышеуказанного поручения секретариата Губернатора Калининградской области А. А. Алиханова. Намеченные испытания были призваны доказать несостоятельность подхода СПЦ «Союзцемент» и АО «Цемрос», который заключается в нецелесообразности и отрицании смысла создания в Калининградской области проекта по помолу цементного клинкера (по причине отсталых представлений российских цементников), которым обосновывается необходимость субсидирования используемой сегодня

<sup>1</sup> *Евроцемент прогнозирует удорожание железнодорожной доставки цемента в Калининградскую область на 20 % [Электронный ресурс] // ЦЕМРОС. — М., 2023. — URL: [https://cemros.ru/cntnt/rus/press/rus\\_news/n18262.html](https://cemros.ru/cntnt/rus/press/rus_news/n18262.html).*

схемы транспортной логистики портландцемента бюджетом в размере 1,2 млрд рублей на один год и предлагается продолжать закупки у крупных предприятий значительных объемов цемента, высокая стоимость которого обусловлена его перевалкой в портах, перевозкой морским транспортом с дальнейшей выгрузкой в портах Калининградской области. В итоге реальная стоимость одной тонны портландцемента, перевозимого на сухогрузах в биг-бэгах и мешках, для потребителей составляет около 12 тыс. рублей...

### Путь экономического решения проблемы

В основе мотивации предложенных нами практических испытаний лежит отработанная за много лет и неоднократно проверенная промышленным путем технология модификации портландцемента в нанопроduct (рис. 1) с высокими эксплуатационными характеристиками, разработанный Международным институтом материаловедения и эффективных технологий (ООО «Международный ИМЭТ») и стойко игнорируемый крупнейшими отечественными производителями строительных материалов.

С целью оказания помощи в обеспечении индустрии строительства Калининградской области цементом Международный ИМЭТ в письме от 5 октября 2022 года № КО-4/21 на имя Губернатора области А. А. Алиханова изложил свои инициативы: «Институт предлагает вариант решения проблемы со значительной экономией финансовых средств региона за счет организации на его территории производства малоклинкерных наноцементов на первоначальном этапе мощностью 350 тыс. т в год, что позволит уменьшить ввоз в Калининградскую область портландцемента (или клинкера) более чем в два

раза — до 240–270 тыс. т портландцемента, т. е. не более 20–23 тыс. т ежемесячно. При этом Институт берется оказать инженерные услуги и провести комплексные работы по выбору производственной площадки, проектированию, поставке оборудования, созданию и освоению производства энергосберегающих экологических малоклинкерных наноцементов мощностью 350 тыс. т в год на площадях в Калининградской области с целью переработки ввозимого портландцемента в качественный наноцемент классов 42,5 и 52,5 с добавлением при производстве на одну тонну цемента минеральной добавки в виде одной или двух тонн местного кварцевого (строительного) песка.»

Включение значительного объема дешевого местного строительного песка в малоклинкерные

наноцементы обеспечивает низкую себестоимость получаемых материалов. Месторождения строительного песка в Калининградской области весьма распространены, и стоимость его составляет всего от 200 до 300 рублей за тонну.

Внедрение технологии на Белгородском цементном заводе и Здолбуновском цементно-шиферном комбинате не требовало капиталовложений и еще при советской власти позволило решить важнейшие проблемы производства высокопрочных долговечных бетонов в военном, специальном и гражданском строительстве (табл. 1).

Однако несмотря на накопленный за три с лишним десятка лет богатейший опыт развития и внедрения новой технологии, производство более трех миллионов тонн наноцементов и миллионов кубометров высокопрочных и долговечных бетонов на их основе, не принимая во внимание результаты многолетних успешных испытаний наноцементов в КНР, ОАЭ, Саудовской Аравии, США и других странах, невзирая на разработанные стандарты и нормативы, а также десятки публикаций о наноцементах и бетонах на их основе, практическое освоение в России выдающейся мировой инновации в технологии цементов и бетонов идет крайне медленно. На сегодняшний день работает только два завода, производящих наноцементы — один в Российской Федерации (на территории ОЭЗ «Алабуга» в Республике Татарстан) и еще один в Республике Казахстан (в г. Астане)...

### Экспериментально-производственная часть

Завод по производству газобетонных блоков «Техносервис» в пос. Луговое Калининградской области имеет помольный участок, в котором установлены три



Рис. 1. Диплом о соответствии наноцементов<sup>1</sup> продукции наноиндустрии

<sup>1</sup> Название нового продукта «наноцемент» дано автором настоящей статьи М. Я. Бикбау на основании результатов трехкратной государственной экспертизы, подтвердившей наноразмерность оболочек, покрывающих зерна клинкера, утверждения наномодифицированного портландцемента как продукции наноиндустрии категории «Б» и выдачи сертификатов АНО «Наносертифика» в соответствии с распоряжением Правительства РФ от 7 июля 2011 года № 1192-р.

Таблица 1. Применение наноцементов промышленного выпуска (под первым названием ВНВ) для производства высокопрочных бетонов особого назначения в 1989–1992 годах (Н. Ф. Башлыков, Ш. Т. Бабаев, В. М. Несветайло, М. Я. Бикбау и др.)

Вид наноцемента, завод-производитель	Объем производства, т (год выпуска)	Наименование бетона, ведомство — потребитель цемента	Марка (класс) бетона	Сооружения, годы строительства
ВНВ100 (наноцемент 90), Здолбуновский цементно-шиферный комбинат	450 000 (1990)	Монолитный высокоармированный железобетон Спецстрой Центрального и Уральского военных округов	800–1000 (В60–В75) 800–900 (В60–В65)	Пусковые шахты для межконтинентальных баллистических ракет, 1989 (опытные шахты) 1990–1992 (массовое строительство)
	550 000 (1991)			
	150 000 (1992)			
ВНВ100 (наноцемент 90), Белгородский цементный завод	300 000 (1991)	Монолит, высокоармированный железобетон, расход стали более 100 кг/м <sup>3</sup> Спецстрой Минобороны	800–1000 (В60–В75) 800–900 (В60–В65)	Пусковые шахты для межконтинентальных баллистических ракет, 1991–1992 (массовое строительство)
	120 000 (1992)			

мельницы марки СМ 1456 (рис. 2) однокамерной конструкции, при помощи которых осуществляется мокрый помол песка, необходимый для дальнейшего производства газобетонных блоков. Нами была определена минералогия песка Ушаковского карьера, используемого заводом «Техносервис». Количественный рентгеновский анализ, выполненный на установке ДРОН-2, показал содержание в нем, % масс.: кварца — 80–85; кальцита — около 10; полевого шпата — около 10 (рис. 3).

В качестве мелющего материала применяли используемые на заводе стальные шары диаметром 30 мм 4-го класса твердости. Конструкцией мельниц предусмотрена футеровка барабанов специальными резиновыми плитами.

По предложению Международного ИМЭТ рабочими ООО «Техносервис» в течение одной смены была модернизирована одна из мельниц с выбранной шаровой нагрузкой 9 т — установлен винтовой шнек для подачи смеси расходных материалов производительностью 3 т/ч. Затем с помощью этой мельницы в соответствии со стандартом Российской Федерации ПНСТ 19–2014 «Портландцемент

наномодифицированный. Технические условия» был произведен сухой помол привезенного портландцемента с местным строительным песком Ушаковского карьера и модификатором с получением наноцементов двух видов со следующим соотношением компонентов:

- *наноцемент 45 (рис. 4):* портландцемент — 1,5 т/ч, строительный карьерный песок — 1,5 т/ч, модификатор — 15 кг/т продукта (измеренная прибором ПСХ-10 А средняя удельная поверхность полученного материала составила 670 м<sup>2</sup>/кг);

- *наноцемент 30 (рис. 5):* портландцемент — 1 т/ч, строительный карьерный песок — 2 т/ч, модификатор — 12 кг/т продукта (средняя удельная поверхность полученного материала 810 м<sup>2</sup>/кг, прибор ПСХ-10 А).

На оптимизированной линии было произведено несколько десятков тонн наноцементов 30 и 45, достаточных для проведения дальнейших испытаний в бетонах различных составов на нескольких предприятиях Калининградской области. Испытания проводились в лабораториях ООО «Техносервис», завода

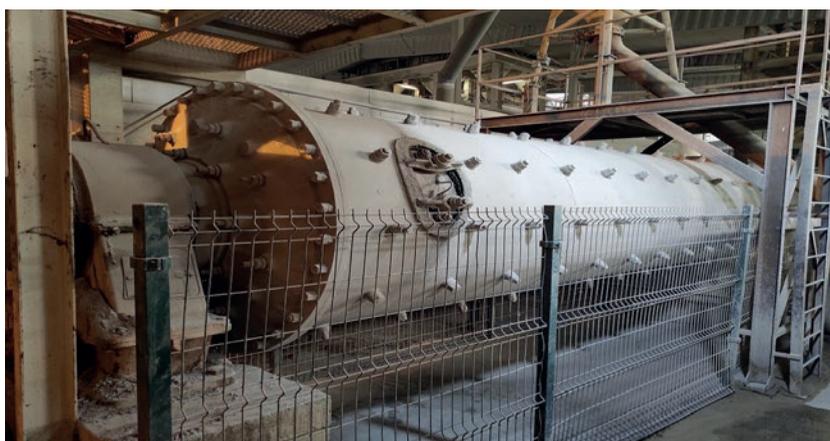


Рис. 2. Оперативно модернизированная для производства наноцементов сухим помолом мельница СМ 1456 (ООО «Техносервис», пос. Луговое Калининградской области)

ЖБИ-2 (г. Калининград), Института морских технологий, энергетики и строительства Калининградского государственного технического университета, а также в Испытательном центре ООО «ИСО Технологии» (г. Калининград).

Непосредственно на промышленном смесителе БСУ ООО «Техносервис» были произведены бетонные смеси нескольких составов (1–4):

- смесь 1 на основе: наноцемента 30 — 500 кг; гравия В20 — 1000 кг; строительного песка — 600 кг; воды — 80 л. Водоцементное отношение бетонной смеси (В/Ц) — 0,16. Плотность бетонной смеси — 2370 кг/м<sup>3</sup>. Подвижность П1 — осадка конуса 45 мм. Проектируемый класс бетона — В25;

- смесь 2 на основе: наноцемента 45 — 574 кг; гравия В20 — 1000 кг; строительного песка — 600 кг; воды — 134 л. В/Ц смеси — 0,23. Плотность бетонной смеси — 2280 кг/м<sup>3</sup>. Подвижность — была получена самоуплотняющаяся смесь SF1 (расплыв конуса 550 мм): F4 по ГОСТ Р 57345–2016/EN 206–1:2013.

В качестве контрольных были приготовлены и параллельно испытаны в различные сроки нормального твердения бетонные смеси (3К и 4К) на основе портландцемента ЦЕМ I 52,5 Н Старооскольского цементного завода составов:

- смесь 3К на основе: портландцемента — 340 кг; гравия В20 — 1014 кг; строительного песка — 841 кг; воды — 125 л. В/Ц смеси — 0,16. Плотность бетонной смеси — 2370 кг/м<sup>3</sup>. Подвижность — П5. Проектируемый класс бетона — В25;

- смесь 4К на основе: портландцемента — 490 кг; гравия В20 — 1050 кг; строительного песка — 720 кг; воды — 135 л. В/Ц смеси — 0,16. Плотность бетонной смеси — 2370 кг/м<sup>3</sup>. Подвижность — П3. Проектируемый класс бетона — В40.

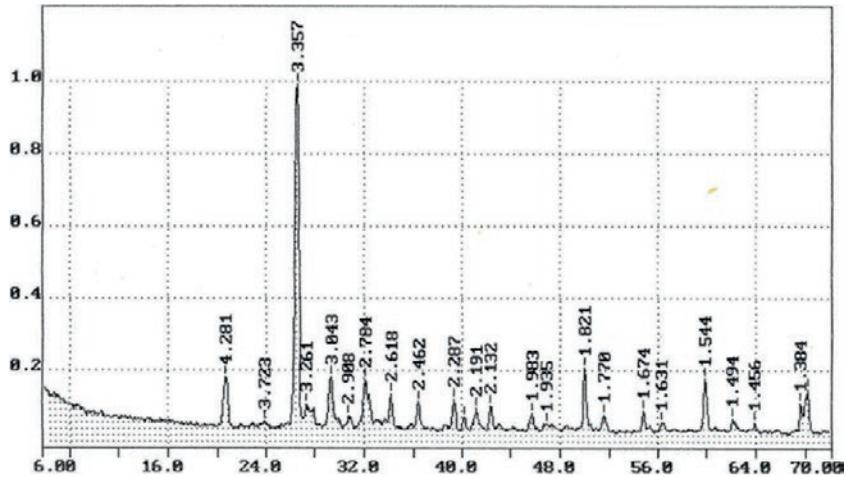


Рис. 3. Дифрактограмма использованного для производства наноцементов песка Ушаковского карьера

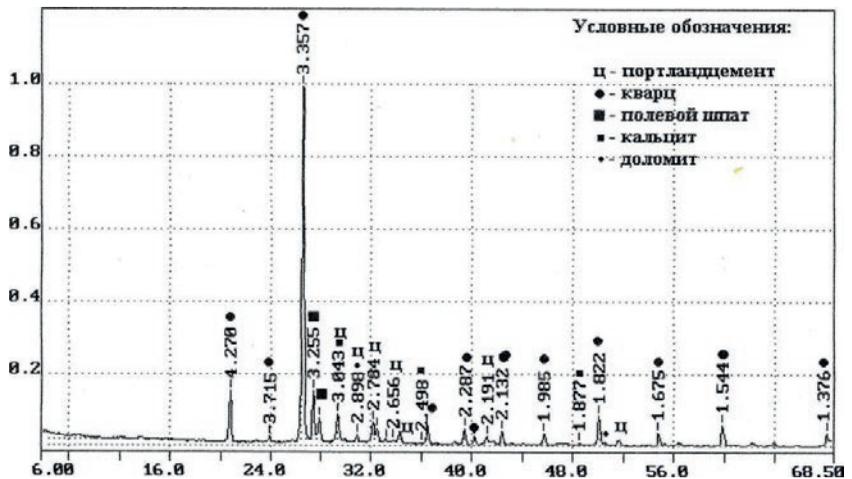


Рис. 4. Дифрактограмма наноцемента 45, произведенного в ООО «Техносервис» и содержащего, % масс.: портландцементный клинкер ~ 40–45; кварц (β-SiO<sub>2</sub>) ~ 40–45; кальцит (CaCO<sub>3</sub>) ~ 10–15; полевой шпат (алюмосиликат кальция и щелочей) ~ 5; доломит (Ca, Mg(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>) ~ 1–2

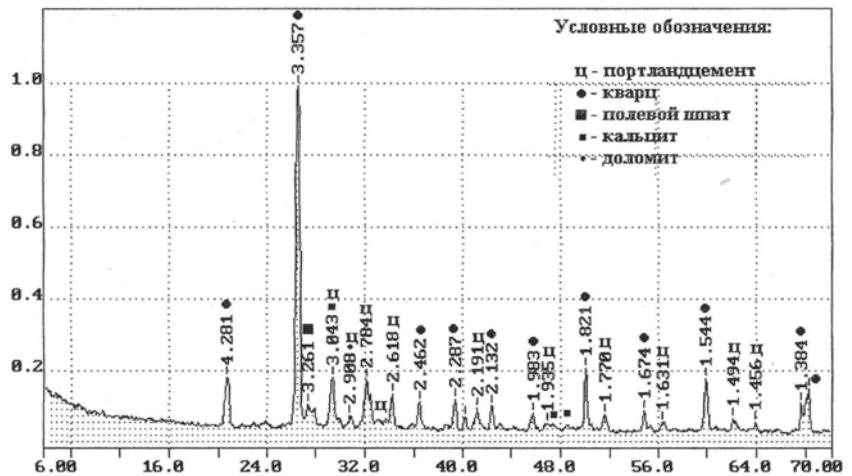


Рис. 5. Дифрактограмма наноцемента 30, произведенного в ООО «Техносервис» и содержащего, % масс.: портландцементный клинкер ~ 30–35; кварц (β-SiO<sub>2</sub>) ~ 70–75; кальцит (CaCO<sub>3</sub>) ~ 5–10; полевой шпат (алюмосиликат кальция и щелочей) ~ 3; доломит (Ca, Mg(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>) ~ 1–2

На основе наноцемента 45, произведенного в ООО «Техносервис», также были приготовлены на заводском лабораторном бетоносмесителе с лопастным валом и испытаны бетонные смеси 5–7 различных степеней подвижности с проектируемыми классами бетона от В25 до В40:

- смесь 5 на основе: наноцемента 45 — 340 кг; гравия В20 — 1000 кг; строительного песка — 600 кг; воды — 100 л. В/Ц смеси — 0,29. Подвижность смеси — жесткая бетонная смесь;

- смесь 6 на основе: наноцемента 45 — 500 кг; гравия В20 — 1000 кг; строительного песка — 600 кг; воды — 135 л. В/Ц смеси — 0,27. Подвижность — ПЗ;

- смесь 7 на основе: наноцемента 45 — 500 кг; гравия В20 — 1000 кг; строительного песка — 600 кг; воды — 125 л. В/Ц смеси — 0,25. Подвижность смеси — жесткая бетонная смесь.

В табл. 2 представлены полученные на заводе ООО «Техносервис» характеристики подвижности смесей и прочности бетонов на сжатие, а на рис. 6 — сравнительные

данные набора прочности испытанных бетонных смесей. В табл. 3 приведена оценка экономичности производства малоклинкерных наноцементов в Калининградской области с введением в них местных карьерных строительных песков (на примере песка Егорьевского карьера), выполненная персоналом ООО «Техносервис» и цементного завода АО «НЦЗ «Горный» (г. Новороссийск), успешно освоившего производство наноцементов.

### Предпосылки внедрения технологии наноцементов

Отсталость и консерватизм российской и мировой материаловедческой цементной науки привели к тому, что цементные заводы во всем мире выпускают *изобретенный 200 лет назад портландцемент классов прочности 32,5; 42,5 и 52,5*, поэтому предприятия-производители бетона и сухих строительных смесей пытаются находить различные пути совершенствования технологии бетонов на устаревшей научной базе портландцемента, например,

введением различных полимерных добавок.

При этом давно известен метод наномодификации портландцемента, защищенный в Российской Федерации открытием «Явление нанокапсуляции дисперсных веществ», патентами Российской Федерации, Европы, Японии, Евразии и США, национальными предварительными стандартами Российской Федерации ПНСТ 19–2014 и Республики Казахстан ПСТ 83–2018 «Портландцемент наномодифицированный. Технические условия». Данный метод предоставляет цементникам и строителям новые возможности для дальнейшего развития технологий производства и строительно-технических свойств важнейших строительных материалов.

В России освоение технологии наноцементов, а также бетонов на основе наноцементов, не требующей дополнительных капиталовложений для ее внедрения на цементных заводах, рекомендовано для радикального снижения удельных топливных затрат и выбросов углекислого газа, повышения качества бетонов и снижения

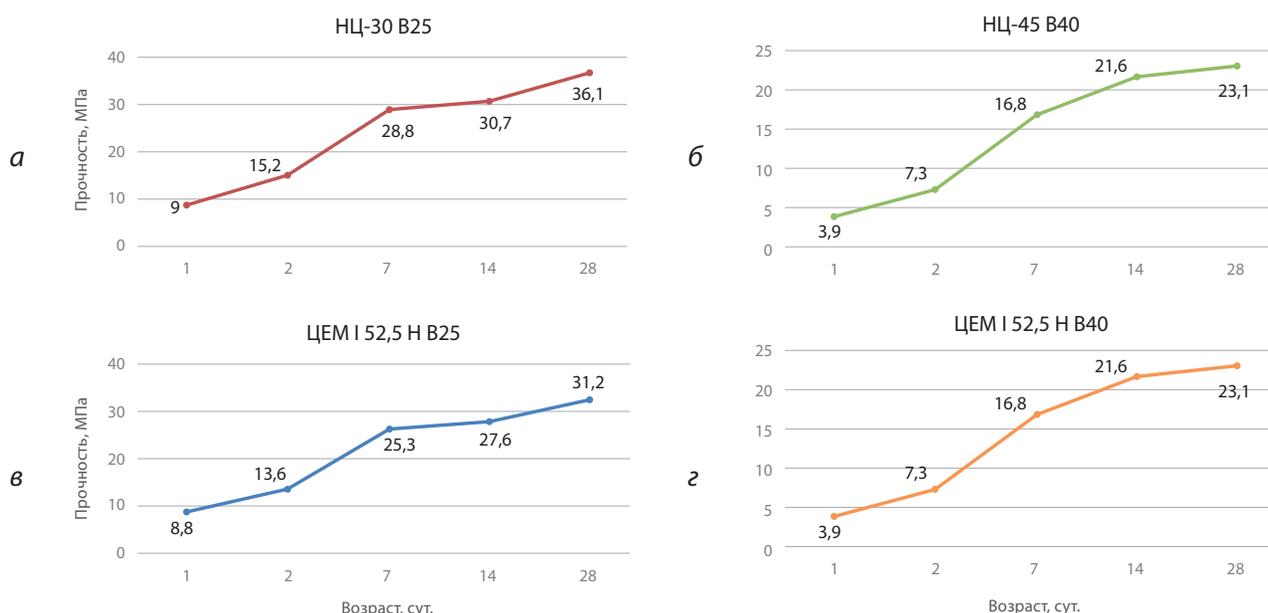


Рис. 6. Кинетика набора прочности на сжатие образцов бетонных смесей до 28 суток твердения в нормальных условиях (по данным лаборатории ООО «Техносервис»): а — состав 1 с наноцементом 30; б — состав 2 с наноцементом 45; в, г — составы соответственно 3К и 4К на портландцементе ЦЕМ I 52,5 Н

Таблица 2. Основные характеристики бетонных смесей и тяжелых бетонов на их основе до 90 суток твердения в нормальных условиях

Номер смеси	Дата изготовления, время	Наименование цемента	Подвижность смеси	Возраст твердения, сут.	Фактическая прочность бетона на сжатие, МПа	Класс полученного бетона
1	23.11.2022	Наноцемент 30	П1	1	9,0	В30
				2	15,9	
				7	24,7	
				14	29,0	
				28	37,7	
				56	39,4	
				90	42,4	
2	22.11.2022	Наноцемент 45	Самоуплотняющаяся смесь SF1	1	6,4	В22,5
				2	11,7	
				7	19,7	
				14	24,1	
				28	29,1	
				56	34,4	
				90	35,4	
3	24.11.2022	Портландцемент	П3	1	3,8	В20
				2	7,1	
				7	16,7	
				14	19,4	
				28	23,7	
				56	27,0	
				90	27,3	
4	29.11.2022	Портландцемент	П5	1	8,8	В25
				2	13,9	
				7	24,5	
				14	25,7	
				28	31,6	
				56	37,0	
				90	36,4	
5	13.01.2023, 10:45	Наноцемент 45	Жесткая смесь	1	15,1	В40
				2	26,8	
				7	41,8	
				14	46,7	
				28	52,3	
6	13.01.2023, 11:00	Наноцемент 45	П3	1	7,5	В35–В40
				2	22,8	
				7	38,9	
				14	46,5	
				28	48,3	
7	13.01.2023, 11:36	Наноцемент 45	Жесткая смесь	1	10,1	В40–В45
				2	—	
				7	39,8	
				14	—	
				28	54,4	

Таблица 3. Калькуляция стоимости одной тонны наноцемента 30 и наноцемента 45 (для предприятия по производству наноцемента мощностью 350 тыс. т/г в Калининградской области)

Материалы и ресурсы, статьи затрат	Стоимость расходных материалов и ресурсов	Стоимость затрат, руб., для производства	
		наноцемента 30	наноцемента 45
<i>Материалы</i>			
Портландцемент привозной ЦЕМ I 52,5Н	<b>6016,67 руб./т</b>	1805,00	3008,34
Песок карьерный Егорьевский	280 руб./т	186,67	133,34
Модификатор «Полипласт СП-1»	91 667,0 руб./т	916,67	1191,67
<i>Ресурсы</i>			
Электроэнергия	30,1 руб./кВт·ч	158,03	158,03
Природный газ	66,27 руб./м <sup>3</sup>	66,27	66,27
Вода и канализация	54,74 руб./м <sup>3</sup>	54,74	54,74
Зарботная плата (средняя)	60 000,0 руб./чел.	32,91	32,91
Отчисления в фонды	9,87 руб.	9,87	9,87
Итого		<b>3230,16</b>	<b>4655,17</b>
НДС 20 %		637,48	922,48
Итого, с учетом НДС		<b>3867,64</b>	<b>5577,65</b>

себестоимости строительства «Стратегией развития промышленности строительных материалов на период до 2020 года и дальнейшую перспективу до 2030 года», утвержденной распоряжением Правительства РФ от 10 мая 2016 года № 868-р.

Однако масштабная реализация этой выдающейся технологии, как уже было сказано выше, в России не продвигается: цементные заводы не хотят снижать свои прибыли, несмотря на объективные возможности радикального уменьшения затрат топлива и выбросов CO<sub>2</sub> в условиях фактической загруженности цементной промышленности на 60–70 % производственного потенциала.

Появилась надежда на исполнение Указа Президента Российской Федерации В. В. Путина от 8 февраля 2021 года № 76 «О мерах по реализации государственной научно-технической политики в области экологического развития Российской Федерации и климатических изменений», предписывающего разработку Федеральной научно-технической программы, которая предполагает создание

наукоемких технологических решений, направленных на обеспечение экологической безопасности, устойчивого и сбалансированного социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов. Проведение мероприятий, предусмотренных этим давно назревшим Указом *позволило бы отечественной цементной промышленности (к сожалению, не национализированной) освоить без капиталовложений в течение короткого времени технологию производства наноцементов, обеспечивающую высокое качество цементов и бетонов на их основе при двух-трехкратном сокращении удельных затрат топлива и радикальном (также двух-трехкратном) снижении выбросов CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> и SO<sub>2</sub>*. Но пока на протяжении тридцати лет с момента разработки технологии у специалистов-цементников зреет готовность к применению рассматриваемой инновации, в нашей стране нерационально тратятся миллионы тонн топлива и в атмосферу выбрасывается значительный объем вредных веществ.

Совершенствование технологии бетонов — главного строительного материала современности — в значительной степени продвинулось в последние десятилетия в связи с развитием материаловедения, углублением наших знаний в области микроструктуры цементов и бетонов [1–5].

Как отмечал Ю. М. Баженов, одним из технологических условий получения высокопрочных бетонов является создание такой его структуры, которая бы отличалась особой плотностью, прочностью и монолитностью. Этого можно добиться, по мнению выдающегося ученого, при соблюдении нескольких условий:

- применении высокопрочных цементов и заполнителей;
- предельно низком водоцементном отношении;
- высоком предельно допустимом расходе цемента;
- применении суперпластификаторов и комплексных добавок, которые способствуют получению плотной структуры этого материала;
- особо тщательном перемешивании и уплотнении бетонной смеси;

*Есть возможность существенного ускорения реализации технологии наноцементов в цементной отрасли России при поддержке российского правительства не на словах, а на деле...*

*С целью широкого освоения отечественными заводами технологии наноцементов и практического внедрения принципов энергосбережения и обеспечения ежегодной экономии цементной промышленностью не менее 3 млн т условного топлива, а также радикального снижения выбросов CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> и SO<sub>2</sub> необходимо разработать постановление правительства, которое сделало бы экономически невыгодным для предприятий продолжение использования старой технологии, установив цементным заводам на территории России новые нормативные показатели по удельному расходу топлива на тонну выпускаемого наноцемента, например:*

- для линий мокрого способа — до уровня 130 кг на тонну цемента;
- для линий сухого способа — до уровня 70 кг на тонну цемента.

*Цементным заводам, не освоившим технологию малоклинкерного наноцемента за два года и не вышедшим на указанные показатели, установить с 1 января 2025 года двойную цену за каждую тонну топлива, израсходованную выше указанных показателей.*

• созданию для твердения бетона наиболее благоприятных условий.

Многолетний опыт нашей работы с наноцементными показываает перспективные возможности создания условий для производства бетонных смесей с широким диапазоном подвижности (см. табл. 2) и бетонов нового поколения более низкой себестоимости с выдающимися свойствами на упрощенных составах без использования суперпластифицирующих добавок, что полностью соответствует современным требованиям импортозамещения в России.

### Компоненты бетонных смесей

Применяемые в настоящее время бетонные смеси являются весьма гетерогенными структурами, которые включают три основных компонента, радикально различающихся по дисперсности:

1) **воду** — жидкость молекулярного строения с истинной плотностью 1,0 г/см<sup>3</sup> с полярными молекулами размером около 0,4 нм, состоящими из двух атомов водорода и одного атома кислорода, связанных водородными связями в виде трехмерных пространственных структур;

2) **портландцемент** — химически взаимодействующий с водой путем гидратации дисперсный порошок в виде пористых полиминеральных зерен клинкера с истинной плотностью 3,1 г/см<sup>3</sup>, насыпной плотностью около 1,2 г/см<sup>3</sup>, удельной поверхностью 300–400 м<sup>2</sup>/кг и средним размером частиц около 10 мкм (в 25 000 раз больше размера молекулы воды);

или **наноцемент** — высокодисперсная смесь нанокапсулированного портландцемента и тонкомолотых минеральных кремнеземистых добавок с насыпной плотностью около 1,0 г/см<sup>3</sup>, удельной поверхностью от 400 до 900 м<sup>2</sup>/кг и средним размером частиц около 2 мкм (в 5000 раз больше молекул воды);

3) **строительный (кварцевый) песок** — инертный компонент раствора со средним размером частиц около 500 мкм в виде окатанных мономинеральных зерен кварца с истинной плотностью 2,65 г/см<sup>3</sup> и насыпной плотностью около 1,60 г/см<sup>3</sup> (в 50 раз крупнее средних зерен портландцемента и в 1 250 000 раз больше размера молекулы воды).

Если принять размер молекулы воды за единицу, то тогда отношение средних размеров частиц компонентов раствора бетонной смеси (без щебня) можно представить в следующем виде:

$$\begin{aligned} \text{вода} : \text{портландцемент} : \text{обычный песок (кварц)} = \\ = 1 : 25\,000 : 1\,250\,000 \text{ (А)}. \end{aligned}$$

### Технологические свойства бетонных смесей

Вода является жидким компонентом бетонных смесей и выполняет несколько функций:

- обеспечивает лучшую гомогенность бетонных смесей при перемешивании;
- диспергирует частички цемента и песка за счет расклинивающего эффекта Ребиндера;
- придает подвижность бетонным смесям для их укладки при бетонировании в межпалубное пространство конструкций;
- осуществляет гидратацию цемента, схватывание и структурообразование раствора, твердение камня за счет массообмена молекул и ионов в растворе;
- участвует в формировании основной метамиктной минеральной составляющей цементного камня в виде гидросиликатов кальция.

С точки зрения формирования гидросиликатов, характеризующихся формулой CaO·SiO<sub>2</sub>·H<sub>2</sub>O и определяющих прочность цементного камня, содержание воды в минералах составляет всего около 13% масс. Однако для реализации в технологии бетонов вышеизложенных функций воды в практике строительства применяется многократно большее ее количество, значительно снижающее прочность цементного камня, фиксируемое водоцементным соотношением (В/Ц), выбираемым обычно в пределах 0,35–0,45.

Согласно современным представлениям, вода в жидком агрегатном состоянии являет собой непрерывную трехмерную сетку

из молекул, соединенных водородными связями. Молекулы воды находятся в постоянном движении и непрерывно меняют свое окружение. Водородные связи рвутся и возникают вновь. Локальные структуры воды все время меняются в пикосекундной шкале времени. Особенность молекул воды заключается в том, что в отличие от молекул других жидкостей, они обладают сильным электрическим моментом, обусловленным дипольной пространственной структурой, при этом «рыхлость» молекулярного строения позволяет воде обладать значительной способностью к гидратации и удержанию в растворе не только катионов, анионов и их комплексов, но и твердых нерастворимых частиц высокой дисперсности, близких к воде по плотности.

Плотность (удельный вес) воды составляет  $1,0 \text{ г/см}^3$ , и ее транспортирующие способности в обычных бетонных смесях весьма ограничены, так как при приготовлении и укладке бетонных смесей воде необходимо перемещать более плотные и тяжелые частички песка с размером основных частиц от  $300\text{--}600 \text{ мкм}$  и выше. Как было отмечено выше, частицы кварца в строительном песке имеют истинную плотность (удельный вес)  $2,65 \text{ г/см}^3$ .

Перемещение в водных растворах зерен портландцемента с истинной плотностью  $3,1 \text{ г/см}^3$  осложняется с первых же минут затворения водой образованием флокул на их поверхности — как результат адсорбции воды и поверхностной гидратации зерен цемента.

В ординарных бетонных смесях с соотношением дисперсий компонентов по (А), со столь различающейся плотностью твердых частиц, как правило, наблюдается оседание более тяжелых частиц кварцевого песка и флокуляция уже в первые минуты затворения зерен портландцемента,

вызывающие расслаивание растворов, особенно с характерным для сегодняшней технологии бетонов высоким содержанием воды, обеспечивающим подвижность бетонных смесей.

Несколько десятилетий технология бетонов совершенствовалась путем введения в бетонные смеси различных присадок. Изобретение полимерных суперпластифицирующих добавок [6–8] позволило получить новые выдающиеся технологические свойства бетонных смесей. *Основная задача, решаемая сегодня в технологии бетонов — обеспечение высокой подвижности бетонной смеси и ее сохранение в течение 1–2 часов при минимальном водосодержании, реализуемое во всем мире за счет ввода в смеси различных суперпластифицирующих добавок.*

По сложившимся представлениям механизм действия новых суперпластификаторов в растворах заключается в том, что частицы полимеров адсорбируются в начальный период затворения на поверхности цементных зерен в виде оболочкового заряда или цепочки молекул полимера. В настоящее время в технологии бетона повсеместно применяется два основных вида суперпластификаторов бетонных смесей для повышения подвижности растворов с минимальным водосодержанием: сульфированные нафталин- или меламинформальдегиды и поликарбоксилаты [9].

#### **Наноцементы — будущее технологии бетонов**

Открытие явления нанокапсуляции дисперсных веществ [10] показало, что наномодифицированный портландцемент при измельчении вместе с кремнеземистым компонентом характеризуется тем, что в процессе измельчения каждое зерно портландцемента покрывается сплошной нанооболочкой-капсулой, придающей новые,

*Изобретение наноцементов позволяет производить на их основе растворы и бетонные смеси с высокой подвижностью при значительно более низком водосодержании, по сравнению с портландцементом, без применения суперпластификаторов.*

ранее недостижимые, выдающиеся свойства тонкоизмельченным (до  $400\text{--}600 \text{ м}^2/\text{кг}$ ) композициям цемента и бетонов (рис. 7–8).

В малоклинкерных наноцементных, согласно результатам электронно-микроскопических исследований их структуры и морфологии, среди частиц размером менее  $1 \text{ мкм}$  наблюдаются как зерна портландцемента с нанокапсулами модификатора, так и частички кварцевого песка размером около  $100 \text{ нм}$  и менее без нанооболочек (рис. 8).

Наши исследования выявили возможность укладывать бетонные смеси на основе наноцементов при значительно более низком водосодержании (на  $25\text{--}30\%$  меньше, чем для портландцемента) с обеспечением высоких строительно-технических свойств бетонов как жестких, так и подвижных, вплоть до самоуплотняющихся (см. табл. 2) [11–16]. В значительной степени эти факты связаны с меньшей водопотребностью наноцементов по сравнению с портландцементом —  $18\text{--}21\%$  масс. против  $28\text{--}30\%$  масс. соответственно, а также более высокой удельной поверхностью реакций цементно-песчаных композиций с водой, что радикально ускоряет структурообразование в камне на основе наноцементов.

Для лучшего понимания различий в механизме подвижности бетонных смесей на основе портланд- и наноцементов представляло особый интерес определение фактической плотности их цементно-песчаных растворов. С этой

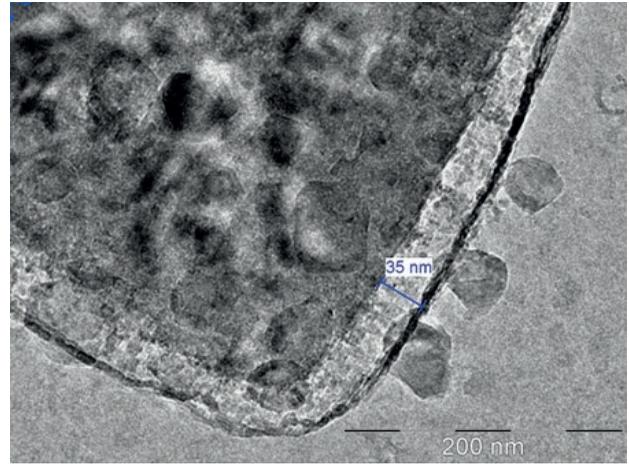
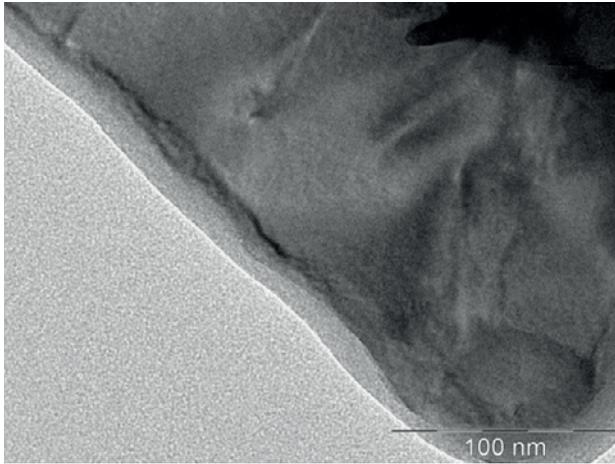


Рис. 7. Снимки на просвет частичек наноцемента 90 (крупных зерен портландцемента, капсулированных структурированной наноболочкой модификатора), сделанные с помощью электронного микроскопа. На изображении показаны границы зерен. Толщина сплошной наноболочки и масштаб указаны на фото

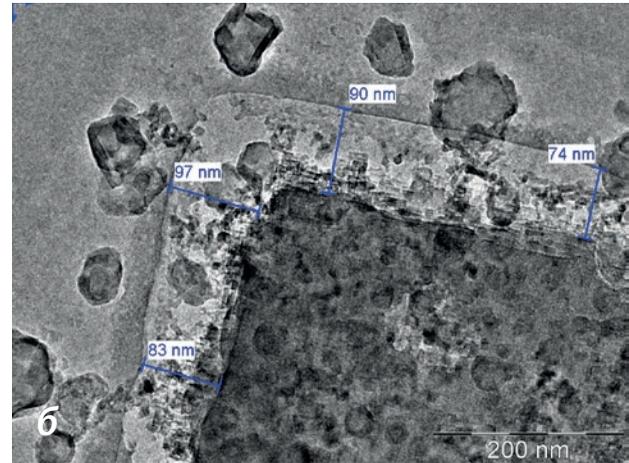
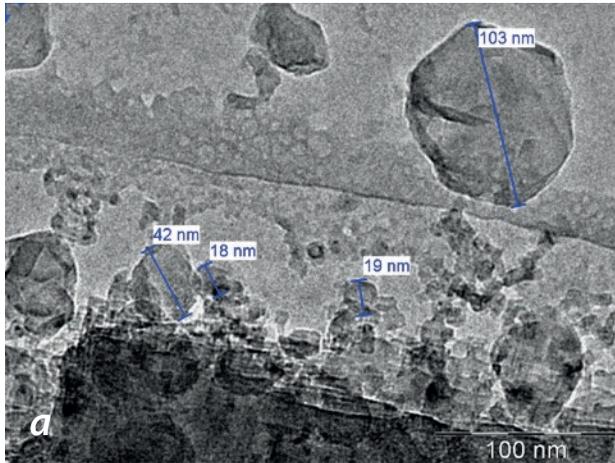


Рис. 8. Наноболочки (светлая кайма) на зернах портландцемента в наноцементе 55 и зерна кварцевого песка (по результатам дифракции): а — мелкие частички без оболочек вне зерен портландцемента — зерна кварцевого песка, измельченные до наноуровня (18, 19, 42 и 103 нм); б — толщина наноболочки на зерне портландцемента (74, 83, 90 и 97 нм). Снимки на просвет, полученные методом электронной микроскопии. Масштаб указан на фото

целью использовали портланд-цемент М500 Д0 Новороссийского цементного завода и наноцементы 45 и 55.

Цементы смешивали с кварцевым песком Раменского месторождения с модулем крупности  $M_{кр} = 2,1$  в растворосмесителе БС-4 в соотношении 1,0:1,5 в течение одной минуты, после этого в сухую растворную смесь подавали необходимый объем воды при В/Ц равном от 0,7 до 1,5, и смесь перемешивали в течение 5 мин. Далее готовый раствор сливали в цилиндрическую емкость и отстаивали 5 мин, после чего из верхней части емкости отбирали один литр

раствора, который взвешивали для определения его плотности.

Результаты наших экспериментов приведены в табл. 4, где показаны значения удельной поверхности, среднего размера частиц, насыпной плотности портланд-цемента и наноцементов, позволяющие оценить фактическую плотность взвесей и суспензий цементно-песчаных растворов, а также относительные подвижности растворов.

Как видно из приведенных данных, способность к образованию суспензий и взвесей с минимальным оседанием частиц в воде, повышению плотности растворов

и соответственно подвижности цементно-песчаных смесей наблюдается для более высокодисперсных наноцементов, характеризующихся меньшим размером частиц, близких по насыпной плотности к плотности воды и предотвращающих расслаивание смесей.

В цементно-песчаных растворах на основе наноцементов транспортирующая способность воды возрастает вместе с увеличением фактической плотности раствора (см. табл. 4), обусловленной наличием в нем взвесей из мельчайших (на нано- и микроуровне, то есть не более 3–5 мкм) частиц минеральных материалов,

Таблица 4. Основные характеристики портландцементов и нанощементов, а также водных цементно-песчаных растворов (Ц:П = 1:2) на их основе через 5 минут после отстоя

Материал	Удельные поверхности, м <sup>2</sup> /кг	Средний размер частиц, мкм	Насыпная плотность сухого цемента, г/см <sup>3</sup>	Плотность* цементно-песчаных растворов, г/см <sup>3</sup>	Подвижность отобранных цементно-песчаных растворов
Портландцемент К52,5 Д0	300–400	7–9	1,10–1,30	1,22–1,27	Низкая
Наноцемент ординарный 55	400–600	4–5	0,90–1,00	1,33–1,38	Высокая
Наноцемент** высокодисперсный	600–900	1–3	0,95–1,05	1,44–1,47	Высшая

\* Плотность раствора, отобранного в верхней части емкости.

\*\* Наноцемент 45 производства завода «КазНаноЦемент» (г. Астана, Республика Казахстан), 2020 г.

оптимально — зерен кремнезема (кварца). Образующаяся высокодисперсная реологическая матрица из супертонких частиц клинкера и песка, содержащихся в наноцементе (рис. 8), дает возможность получения значительной подвижности водных растворов таких цементов за счет существенно более высокой дисперсности твердых частиц, структурирующих воду и повышающих ее плотность взвесьями зерен нанокапсулированных портландцементов и сверхтонкоизмельченных частиц кварцевых песков. Таким образом, применение наноцементов позволяет обеспечить высокую подвижность и свободное перемещение бетонных смесей при минимальном водосодержании даже без суперпластифицирующих добавок.

Эти особенности разработанных подвижных бетонных смесей на основе наноцементов способствуют совершенствованию технологических свойств бетонных смесей и созданию бетонов нового поколения с регулируемыми свойствами. В наномодифицированных портландцементе зерна гидравлического вяжущего покрыты облегчающими их в водном растворе сплошными оболочками толщиной 10–100 нм, состоящими из модификатора — структурированного атомами кальция нафталинсульфоната натрия плотностью около 1,0 г/см<sup>3</sup> (рис. 7–8). Такие нанооболочки обеспечивают в цементно-песчано-водных

смесях скольжение молекул воды по полимерной поверхности нанокапсул и позволяют укладывать такие смеси с наиболее низким водосодержанием без суперпластификаторов, несмотря на весьма высокую удельную поверхность наноцементов (табл. 4). В нормативных документах значения удельной поверхности наноцементов варьируется в пределах от 400 до 900 м<sup>2</sup>/кг [17].

Нанооболочки в наноцементе обеспечивают высокую способность как жестких, так и подвижных бетонных смесей и растворов реагировать на механические воздействия на смеси, то есть тиксотропность, превышающую аналогичную у смесей на основе портландцементов. Малое содержание воды и повышенная плотность цементно-песчаных растворов на основе наноцементов обеспечивают

высокую подвижность и возрастающую скорость реакций с водой, длительную сохраняемость бетонных смесей, минимальную склонность к усадке цементного камня при его твердении и высокую трещиностойкость бетонов.

В развитие изложенных представлений нами были изучены мелкозернистые бесщебеночные бетоны. Были разработаны составы бетонных смесей на основе наноцементов, произведенных по ПНСТ 19–2014 на экспериментальной базе Международного ИМЭТ в пос. Рассудово Московской области [12]. Оптимизированные составы мелкозернистых бетонов были испытаны в лаборатории Abu Dhabi National Cement Factory (ОАЭ) на промышленных образцах наноцементов, поставленных из России и произведенных нами на цементном заводе Binani

### Преимущества наноцементов в бетонах

Изобретение технологии наноцементов, которая предполагает более тонкое измельчение портландцемента совместно с минеральными добавками (оптимально с кварцевым песком) и его нанокапсулирование, позволяет получить материалы с размером частиц значительно большей степени дисперсности и высокой удельной поверхностью, что дает возможность существенно изменить приведенное выше (А) соотношение компонентов в растворах до нового уровня (Б) — по результатам гранулометрических и электронно-микроскопических исследований данное соотношение размеров средних частиц можно записать в следующем виде:

**вода : наноцемент : тонкоизмельченный кварц : обычный песок (кварц) = 1 : 200–6000 : 100–6000 : 1 250 000 (Б).**

Таблица 5. Результаты испытаний\* мелкозернистых песчаных бетонов нормального твердения на основе наноцементов в лаборатории цементного завода в Абу-Даби (ОАЭ)

Наименование цемента	Составляющие бетонной смеси на замес, кг/м <sup>3</sup>			Сроки твердения, сут.	Прочность, МПа	
	цемент	песок пустыни	вода		на изгиб	на сжатие
Наноцемент 55 (45 % песка)	450	1350	120	2	6,3	21,9
				7	12,1	49,2
				28	13,7	59,9
Наноцемент 90 (10 % песка)	450	1350	123	2	9,1	33,2
				7	14,0	65,7
				28	17,9	76,8

\* Испытания составов проводились трехкратно. Приведены средние значения результатов испытаний прочности бетонов.

(г. Дубай, ОАЭ) (табл. 5). В качестве основной составляющей смеси мелкозернистого бетона применяли высокодисперсный песок пустыни (карьера) Аль-Мадам.

Полученные данные позволили отметить весьма высокие показатели прочности мелкозернистых бетонов в начальные сроки твердения. Средняя плотность разработанных бетонов высокой прочности (особенно на изгиб) колебалась от 2200 до 2260 кг/м<sup>3</sup>, а истираемость бетонов составила от 0,7 до 0,9 г/см<sup>2</sup>.

По поручению бетонного завода Gulf Ready Mix в Абу-Даби в лаборатории Al Hoty-Stanger были также проведены испытания составов бетонов, полученных на заводе Binani с применением наноцемента 55 (табл. 6). Состав бетонной смеси подбирался исходя из составов бетонных смесей завода Gulf Ready Mix с исключением пластифицирующих полимерных добавок

ADM-1 и ADM-2 при использовании поставленного из России наноцемента 55, включающего 45% масс. кварцевого песка.

При этом были достигнуты превосходные показатели пластичности бетонной смеси без введения полимерных добавок и хорошая сохраняемость смеси, а также высокая прочность бетонов на основе наноцемента 55 (табл. 5, 6).

Результаты независимых испытаний наноцемента 45, проведенных в одной из ведущих лабораторий бетона в ОАЭ, не нуждаются в комментариях в части свойств бетонной смеси и высокой прочности полученного бетона.

В разработанных нами малоклинкерных наноцементных по СТО Международный ИМЭТ 06965796–006-2021 «Малоклинкерный портландцемент наномодифицированный (МК-Наноцемент)» тонко- и сверхтонкоизмельченные частички кварцевого

песка активно участвуют в формировании структуры цементного камня с обеспечением более интенсивного структурообразования в камне, получением высоких строительно-технических свойств бетонов (особенно в начальные сроки), опровергая устаревшие представления об инертности частиц кварцевого песка в структурообразовании и формировании цементного камня на основе гидросиликатов кальция, а также о невозможности успешного применения в строительстве мелкозернистых пустынных и карьерных песков.

Действительно, не используя до настоящего времени свои неисчерпаемые запасы мелкозернистых пустынных песков, арабские страны вынужденно ввозят крупнозернистые пески из Австралии и Европы.

На основании полученных результатов нами предлагается

Таблица 6. Характеристики бетонной смеси на основе наноцемента 55 и показатели плотности и прочности бетона в различные сроки нормального твердения, полученные в лаборатории Al Hoty-Stanger бетонного завода Gulf Ready Mix (г. Абу-Даби, ОАЭ)

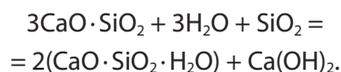
Подвижность и температура бетонной смеси			
Время испытаний	Минуты	Осадка конуса, мм	Температура, °С
10:00	0	215	23,0
10:30	30	215	23,0
11:00	60	215	23,0
11:30	90	200	22,5
12:00	120	200	22,5

Характеристики бетона в различные сроки твердения		
Возраст, сут.	Плотность бетона, кг/м <sup>3</sup>	Прочность на сжатие, МПа
1	2550	39,0
3	2600	58,5
7	2570	68,0
28	2580	76,0

новая концепция совершенствования технологических свойств бетонных смесей: обеспечение **без применения суперпластификаторов** низкого водосодержания, высокой подвижности, хорошей удобоукладываемости, нерасслаиваемости и длительной сохранности подвижности смесей за счет замены портландцемента на малоклинкерный наноцемент (табл. 3) с сохранением его высокой активности (табл. 2, рис. 6) со значительно более высокой дисперсностью твердых частиц уже в цементе. Перечисленные свойства необходимы для производства наиболее перспективных самоуплотняющихся и литых бетонов с упрощенным составом **и более низкой себестоимостью**.

Для малоклинкерных наноцементов наблюдается интенсивный рост прочности цементного камня в бетонах (рис. 9) даже при рекордно низком количестве цемента в бетонной смеси с радикальным улучшением основных показателей цементного камня и бетонов (быстрым твердением в нормальных условиях, высокой прочностью, водонепроницаемостью, морозостойкостью), отвечающих качествам бетонов нового поколения High Performance Concrete, но со значительно более низким расходом портландцемента [1–5].

Упрощенный вариант химической реакции, необходимой для формирования портландцементного камня, с указанием начального и конечного составов реагентов выглядит следующим образом:



В сформированном цементном камне присутствует два вида гидратных минералов — гидросиликаты кальция и гидроксид кальция в процентном соотношении 85:15 соответственно. Казалось бы, содержание гидроксида кальция

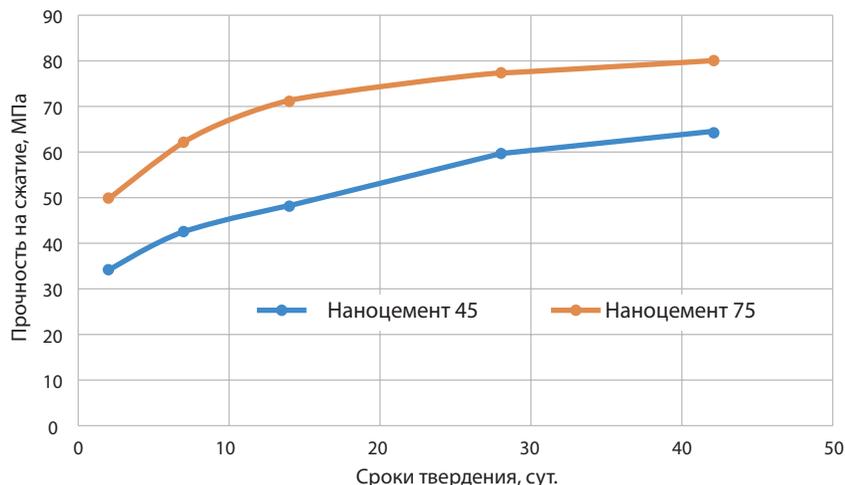
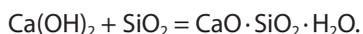


Рис. 9. Изменение во времени прочности на сжатие бетона на основе наноцементов типов 45 (60% масс. кварцевого песка) и 75 (20% масс. кварцевого песка) при твердении в нормальных условиях (по результатам испытаний, проведенных в Канаде [18])

невелико, но именно его присутствие значительно ослабляет строительно-технические свойства цементного камня (и прежде всего — прочность) в связи с пластинчатой, слоевой морфологией кристаллов гидроксида кальция, по которым обычно проходит разлом материалов, и их склонностью к деструктивной перекристаллизации при изменении влажности окружающей среды.

В этой связи для повышения прочностных свойств цементного камня было бы желательно отсутствие в нем гидроксида кальция, но еще более эффективный вариант — связывание гидроксида кальция в более прочный и долговечный гидросиликат кальция, что может происходить по прямой реакции высокодисперсных реагентов в растворе:



Такая реакция протекает в растворах разработанных нами малоклинкерных наноцементов, где она обеспечивается уровнем дисперсий тонкоизмельченного (от нескольких десятков до сотен нанометров) вместе с цементом кремнезема, сопоставимым с размерами частиц цемента. Многолетний опыт применения наноцементов

в технологии бетонов показал, что наноцементы превосходят портландцемент по всем показателям [19]. Бетонные смеси на основе наноцементов легко транспортируются и имеют продолжительную сохранность, без вибрации заполняют армокаркасы в межпалубном пространстве, бетонная масса обладает высокой подвижностью и густотой при малом водосодержании, характеризуется пониженным тепловыделением и высокой трещиностойкостью.

Новый Межгосударственный стандарт ГОСТ 31108–2020 «Цементы общестроительные. Технические условия» предусматривает производство 24 видов портландцемента с различными минеральными добавками типов ЦЕМ II–ЦЕМ V при обеспечении стандартной прочности цементов классов 32,5; 42,5 и 52,5.

При этом всего шесть типов созданных нами наноцементов классов от 32,5 до практически 102,5 (табл. 7) позволяют эффективно решить все проблемы современной технологии производства не только портландцементов, но и бетонов, а также снижения стоимости строительства, пока не достижимого никем в России. Так, при возведении массивных

Таблица 7. Физико-механические характеристики наноцементов по ПНСТ 19–2014 Российской Федерации и ПСТ 83–2018 Республики Казахстан «Портландцемент наномодифицированный. Технические условия»

Класс прочности	Прочность на сжатие, МПа, в возрасте твердения в нормальных условиях				Начало схватывания, мин., не ранее	Равномерность изменения объема (расширение), мм, не более
	2 сут., не менее	7 сут., не менее	28 сут.			
			не менее	не более		
К 32,5	10	20	32,5	52,5	75	10
К 42,5	25	40	42,5	62,5	60	
К 52,5	30	50	52,5	72,5	45	
К 62,5	35	55	62,5	82,5		
К 72,5	40	60	72,5	92,5		
К 82,5	45	65	82,5	102,5		

гидротехнических сооружений, фундаментов высотных зданий, опор мостов и других подобных объектов бетоны в первую неделю твердения в естественных условиях выделяют значительное количество тепла, которое не успевает отводиться из тела массивной конструкции. Портландцементы в бетонах выделяют после затворения бетонных смесей в первые сутки от 400 до 550 ккал/кг (от 1674,7 до 2302,7 кДж/кг), а в течение трех суток твердения выделяется от 650 до 850 ккал/кг (от 2721,4 до 3558,8 кДж/кг).

Избыточное тепло в массивных изделиях ввиду их малой поверхности теплообмена с окружающей средой вызывает интенсивное парообразование, гетерогенность теплового поля, локальные деформации в теле формирующегося, неравномерно остывающего бетона, обуславливает появление многочисленных

трещин, значительно ухудшающих прочность и качество бетонных конструкций.

Стандарты разных стран предусматривают для массивных конструкций дополнительный ввод в традиционные бетонные смеси на основе портландцементов с минеральными добавками различных теплопоглощающих тонкоизмельченных минеральных присадок в виде шлаков, зол, пуццолана, микрокремнезема, измельченных горных пород и т.п. К сожалению, в таких случаях при некотором снижении тепловыделения бетонных массивов бетоны значительно теряют в гидравлической активности и прочности, зачастую не обеспечивая требуемые строительно-технические характеристики.

В этой связи на стройках объектов гидротехники, атомных станций, при возведении массивных фундаментов высотных зданий и опор инженерных сооружений

применяются различные вариации съема тепла с внутренней части бетонных массивов за счет их структурирования, например стальными трубами, через которые прогоняется охлаждающий реагент. Стоимость систем охлаждения массивных конструкций на 1000–1200 рублей повышает стоимость кубометра бетона в деле. К тому же, такие системы ухудшают характеристики массивных изделий из бетона, повышают затраты металла, охлаждающего реагента и труда, значительно удорожая производство материалоемких конструкций.

Разработанные нами малоклинкерные наноцементы типов 30, 35, 45 и 55 по СТО Международного ИМЭТ 06965796–006–2021, содержащие в 2–3 раза меньше портландцемента с кремнеземистыми добавками, позволяют существенно снизить тепловыделение в массиве бетона, обеспечив поглощение тепла значительной (до 70 % масс.) долей кварцевых песков с теплоемкостью около 185 ккал/кг (774,6 кДж/кг). Использование низкоэкзотермичных бетонных смесей на основе малоклинкерных наноцементов исключает или упрощает системы теплосъема (табл. 8) и снижает стоимость массивных объектов с сохранением необходимых

*Всего шесть типов наноцементов (по национальным стандартам Российской Федерации ПНСТ 19–2014 и Республики Казахстан ПСТ 83–2018 «Портландцемент наномодифицированный. Технические условия») позволяют решить все проблемы применения цементов в бетонах с исключением или значительным смягчением требований к производителям портландцемента по снижению содержания алюминатов кальция в клинкерах, содержанию свободного оксида кальция, оксида серы, оксида магния, хлорид-иона и нерастворимого остатка.*

Таблица 8. Динамика тепловыделения малоклинкерных наноцементов по СТО Международный ИМЭТ 06965796–006-2021 «Малоклинкерный портландцемент наномодифицированный (МК-наноцемент)» с В/Ц = 0,4 при температуре нормального твердения 20 °С в изотермическом калориметре «ЦЕМЕНТ ТГЦ I М» по ГОСТ 310.5–88 в течение 7 суток

Цемент	Удельная поверхность, м <sup>2</sup> /кг	Тепловыделение, кДж/кг			
		1 сут.	2 сут.	3 сут.	7 сут.
Портландцемент М52,5 Д0 Новороссийского завода	410	127	196	257	335
МК-Наноцемент 55	525	92	125	169	264
МК-Наноцемент 45	547	86	108	134	221
МК-Наноцемент 35	560	74	99	122	190
МК-Наноцемент 30	538	64	89	109	172

строительно-технических и эксплуатационных свойств бетонов, что чрезвычайно актуально для фундаментов высотных зданий, конструкций АЭС, гидротехнических, инженерных и других массивных конструкций и сооружений.

Нами показана практическая возможность производства на промышленном оборудовании в Калининградской области малоклинкерных наноцементов с применением в качестве эффективной минеральной добавки в значительном объеме (до 70 % масс.) местных карьерных песков с низкой стоимостью и получения высококачественных бетонов классов от В25 до В40 на основе произведенных наноцементов без применения дорогих зарубежных суперпластификаторов.

Приведены расчеты экономической эффективности предлагаемой технологии наноцементов, реализация которой позволит обеспечить качественным цементом

строительную отрасль стратегического региона Российской Федерации и снизить в 2–3 раза объемы ввоза портландцемента в Калининградскую область, экономя тем самым значительные бюджетные средства.

Показано, что шесть типов наноцементов по национальным стандартам Российской Федерации ПНСТ 19–2014 и Республики Казахстан ПСТ 83–2018 «Портландцемент наномодифицированный. Технические условия» позволяют решить проблемы применения цемента в бетонах с использованием неисчерпаемых запасов мелкозернистых карьерных и пустынных песков, что является актуальным, в частности, для стран Ближнего Востока.

Подводя итог всему вышесказанному, отметим, что внедрение технологии наноцементов способствует созданию высокопрочных и долговечных бетонов нового поколения с регулируемыми

свойствами, многократно снижает удельные затраты топлива и выбросы CO<sub>2</sub> в окружающую среду и в целом открывает новые горизонты развития мировой цементной промышленности.

### Список литературы

1. Батраков В. Г. Модифицированные бетоны. Теория и практика. — М.: Технопроект, 1998. — 768 с.
2. Бикбау М. Я. Нанотехнологии в производстве цемента. — М.: Московский ИМЭТ, 2008. — 768 с.
3. Баженов Ю. М. Бетонovedение. — М.: АСВ, 2015. — 144 с.
4. Дворкин Л. И., Дворкин О. Л. Основы бетонovedения. — СПб.: ООО «СтройБетон», 2006. — 692 с.
5. Бикбау М. Я. Наноцементы и новые перспективы технологии бетонов // Цемент и его применение. — 2022. — № 5. — С. 36–40.
6. Okamura H. et al. Mix-Design for Self-Compacting Concrete / H. Okamura, et al. // Concrete Library of JSCE. — June 1995. — No. 25. — P. 107–120.
7. Ozawa K. Development of High Performance Concrete Based on the Durability Design of Concrete Structures / K. Ozawa, et al. // Proceedings of the Second East-Asia and Pacific Conference on Structural Engineering and Construction. — 1999. — Vol. 1. — P. 445–450.
8. Оучи М. Самоуплотняющиеся бетоны: разработка, применение и ключевые технологии // Бетон на рубеже третьего тысячелетия:

**ООО «Международный ИМЭТ» (Россия) совместно с компанией Hengan Hongji Mine Machinery Co., Ltd. (Китай) предлагает** строительным организациям и заводам стройиндустрии новые технологии и современное комплектное оборудование заводов и помольных линий (в том числе для замены изношенного оборудования) для экономичного производства портландцемента, наноцемента со значительным снижением удельных затрат топлива и выбросов углекислого газа.

Подробную информацию можно получить по адресу: [moscowimet@mail.ru](mailto:moscowimet@mail.ru), Марсель Янович Бикбау.

труды 1-й Всерос. конф. по бетону и железобетону. — М., 2001. — С. 209–215.

9. Gay M. *Admixtures for High Performance Concrete. Proc. of Intern. Cong. "Durability of High Performance Concrete"*. — Freiburg, 2004. — P. 53–61.

10. Бикбау М. Я. Открытие явления нанокапсуляции дисперсных систем // *Вестник Российской академии естественных наук*. — 2012. — № 3. — С. 27–35.

11. Патент № 2544355 Российская Федерация, МПК C04B 7/12 (2006.01), B82B 1/00 (2006.01). Способ производства наноцемента и наноцемент: № 2013111651/03: заявл. 18.03.2013; опубл. 20.03.2015 / Бикбау М. Я., Бикбау У. М.

12. Бикбау М. Я. От вяжущих низкой водопотребности к наноцементам: путь развития // *Технологии бетонов*. — 2014. — № 5. — С. 26–31.

13. Бикбау М. Я., Хуснутдинов А. М. Литые и самоуплотняющиеся бетонные смеси и бетоны нового поколения на основе наноцементов // *Технологии бетонов*. — 2019. — № 9–10. — С. 23–32.

14. Афанасьева В. Ф. Результаты испытаний бетонов с применением наноцементов // *Технологии бетонов*. — 2012. — № 9–10. — С. 16–17.

15. Бикбау М. Я., Панафидин В. Н. Бетоны на наноцементных и некондиционном нерудном сырье // *Технологии бетонов*. — 2016. — № 9–10. — С. 42–49.

16. Бикбау М. Я., Высоцкий Д. В., Тихомиров И. В. Бетоны на наноцементных: свойства и перспективы // *Технологии бетонов*. — 2011. — № 11–12. — С. 20–24.

17. ПНСТ 19–2014. Портландцемент наномодифицированный. Технические условия. — М.: Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии, 2015. — 9 с.

18. Бикбау М. Я. Испытания наноцементов в Канаде // *Сухие строительные смеси*. — 2018. — № 2. — с. 18–20.

19. Несветайло В. М. Многофункциональные бетоны нового поколения // *Технологии бетонов*. — 2018. — № 11–12. — С. 12–15. 

## ИНФОРМАЦИЯ О ПЕРЕНОСЕ СРОКОВ ПРОВЕДЕНИЯ XII ПЕТЕРБУРГСКОГО МЕЖДУНАРОДНОГО ГАЗОВОГО ФОРУМА И XXVI МЕЖДУНАРОДНОЙ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОЙ ВЫСТАВКИ «РОС-ГАЗ-ЭКСПО 2023»

Организаторы крупнейших отраслевых конгрессно-выставочных мероприятий информируют, что XII Петербургский международный газовый форум и XXVI Международная специализированная выставка «Рос-Газ-Экспо 2023» пройдут **с 31 октября по 3 ноября 2023 года** в КВЦ «Экспофорум».

Деловой календарь российских и зарубежных мероприятий сферы ТЭК крайне насыщен этой осенью: помимо традиционно запланированного в первую неделю октября ПМГФ-2023, в Абу-Даби пройдет 27-я Международная нефтегазовая выставка и конференция ADIPEC 2023 (2–5 октября), в Москве состоится Российская энергетическая неделя (11–13 октября).

Учитывая близкие сроки проведения важных для международного сообщества отраслевых событий, а также пересечение аудиторий проектов, Организационным комитетом ПМГФ было принято решение о переносе Форума на более поздний срок — мероприятие пройдет с 31 октября по 3 ноября 2023 года.

Временной разрыв между проектами даст возможность представителям сферы ТЭК спланировать свой график таким образом, чтобы иметь возможность принять участие во всех осенних мероприятиях.

Источники:

[www.gas-forum.ru](http://www.gas-forum.ru),  
[www.rosgasexpo.ru](http://www.rosgasexpo.ru).



ПЕТЕРБУРГСКИЙ  
МЕЖДУНАРОДНЫЙ  
ГАЗОВЫЙ ФОРУМ

