

## РОЛЬ ТОНКОМОЛОТОГО НАПОЛНИТЕЛЯ ТЕХНОГЕННОЙ ПРИРОДЫ В РЕЦЕПТУРЕ НАПОЛНЕННЫХ ВЯЖУЩИХ ДЛЯ ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННЫХ БЕТОНОВ

Муртазаев С-А.Ю.<sup>1,2</sup>,  
Саламанова М.Ш.<sup>1,2</sup>,  
Сайдумов М.С.<sup>1</sup>,  
Хубаев М.С-М.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова, г. Грозный  
<sup>2</sup>КНИИ им. Х.И. Ибрагимова РАН, г. Грозный

*В работе рассмотрено техногенное сырье различной природы на предмет получения из него тонкомолотого наполнителя для бетонных смесей, исследовано влияние минерального наполнителя техногенной природы на седиментационные показатели наполненных вяжущих и бетонных смесей на их основе.*

**Ключевые слова:** техногенное сырье, бетонный лом, кирпичный бой, наполнитель, наполненное вяжущее, бетонная смесь, положительный эффект

В настоящее время в условиях внедрения массового высотного строительства на фоне возрастающих требований к материалам для их возведения современные бетоны стали многокомпонентными [1]. Так, современные высококачественные бетоны для высотного монолитного строительства состоят из 6-8 сырьевых компонентов, основными из которых являются вяжущее (как правило, наполненное или композиционные), мелкий и крупный заполнители, минеральные и химические добавки и вода. В ряде случаев могут применяться различные фибры, пигменты и другие добавки [2, 3].

Уже сегодня, как показывает строительная практика в нашей стране, все чаще применяют монолитные бетонные смеси, полученные с использованием так называемых наполненных вяжущих, которые по сути являются высокоактивными многокомпонентными вяжущими низкой водопотребности с нормальной плотностью ниже 20 %.

Разработаны множество видов вяжущих с самыми разнообразными свойствами – от высокоактивных и быстротвердеющих до безусадочных и расширяющих. Наиболее распространенными среди них являются: вяжущие низкой водопотребности (ВНВ), тонкомолотый многокомпонентный цемент (ТМЦ), впервые исследованные и разработанные профессором Ю.М. Баженовым и его учениками [4, 5]. Однако, требования к строительным материалам, отражающие действительность динамично развивающегося современного строительства, диктуют постоянные корректировки имеющих составов вяжущих, для чего требуется всесторонне исследовать роль тонкомолотых наполнителей таких вяжущих в процессе структурообразования.

Так, в работе нами поставлена задача изучить влияние тонкомолотого наполнителя техногенной природы в рецептуре наполненных вяжущих для получения высококачественных бетонов с высокими показателями.

Из различных источников известно, что применение минеральных наполнителей (МН) различной природы совместно с пластифицирующими добавками в бетонных смесях приумножает эффективность использования последних. Так, в публикациях авторов [6, 7] отражены наполненные составы самоуплотняющихся смесей с применением микронаполнителя различной природы. Авторами работ [8, 9, 12, 13] констатировано положительное влияние тонкодисперсных частиц МН из утилизируемого строительного раствора на водоудерживающую способность, прочность, плотность и адгезию бетонных смесей.

Таким образом, предполагается, что минеральный наполнитель техногенного происхождения (МНТП) из бетонного лома и кирпичного боя, обладающих хорошей водоудерживающей способностью, будет больше всего подходить по своей структуре и природе происхождения для высокоподвижных бетонных смесей, способствующий в них своеобразному предотвращению седиментационных явлений.

В связи с этим нами изучена влияние тонкомолотого наполнителя техногенной природы на возможность стабилизации цементно-водных суспензий с его использованием, а именно:

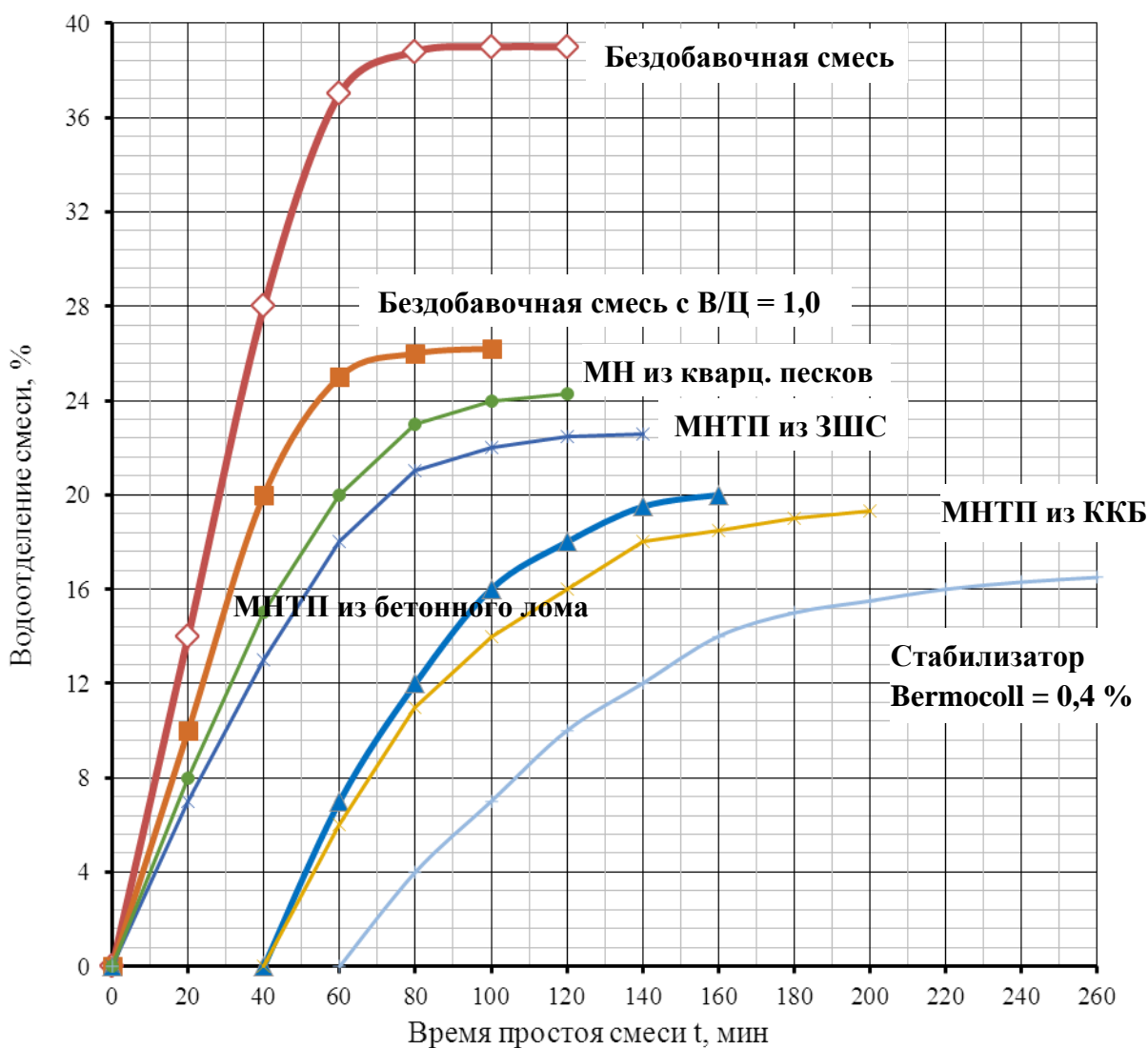
- МНТП из бетонного лома;
- МНТП из керамического кирпичного боя (ККБ);
- МНТП из золошлаковых смесей (ЗШС);
- МН из мелких некондиционных кварцевых песков.

Удельная поверхность используемых нами МНТП находилась в диапазоне 450-600 м<sup>2</sup>/кг, что почти в 2 раза больше удельной поверхности цемента.

Полученные нами результаты сравнивались со специальными стабилизаторами из зарубежных продуктов – высоководоудерживающими добавками эфиров целлюлозы Vermocol фирмы Akzonobel (Швеция), исследованными в работе [10, 11]. Vermocol - этил (оксиэтил) целлюлоза представляет собой неионогенный эфир целлюлозы.

Кинетика седиментации исследовалась на цементно-водных суспензиях, полученных на портландцементе М500 Д0 производства АО «Чеченцемент».

При значениях В/Ц = 1,6 оседание частиц дисперсной фазы в жидкости оканчивается в течение 0,4-1,0 часа, а сам процесс седиментации носит линейный характер. Повторное испытание с заменой «Чеченцемента» на «Новоросцемент» показало, что время седиментации и законы протекания данного процесса не зависят от вида цемента (рисунок 1). В полученных суспензиях МНТП дозировался от массы цемента в количестве 15 %.



**Рис. 1** – Кинетика седиментации цементных суспензий (В/Ц=1,6) с выделением осветленной воды над осадком смеси на цементе марки М500 Д0

Как видно из рисунка 1, количество осветленной воды над осадком бездобавочного цементного геля с В/Ц = 1,6 находится в диапазоне от 36 до 39 %, а объем осадка при этом составляет 61-64 %.

Седиментация суспензий с В/Ц = 1,0 протекает медленнее и заканчивается в течение 1,1-1,3 часов. Введение в состав цементно-водной суспензии МНП заметно меняет ее седиментационные показатели в лучшую сторону. Так, результаты при использовании МНП из бетонного лома и керамического кирпичного боя (ККБ) сопоставимы между собой и наиболее близки к значениям, полученным при использовании стабилизатора Vermocoll. Количество осветлённой воды над осадком в них не превышает 18-20 %. При этом начало водоотделения наблюдается после 40 минут. МНП из золошлаковых смесей (ЗШС) и кварцевых песков заметно уступают по водоудерживающей способности МНП из бетонного лома и ККБ. Это объясняется разной природой используемых МНП (таблица 1).

Таблица 1 – Водоудерживающая способность тонкомолотых наполнителей техногенного происхождения

№ п.п.	Вид наполнителя	Сырье, из которого получен наполнитель	Количество связанной воды (после центрифугирования, г/г)	Удельная поверхность $S_{уд}$ , м <sup>2</sup> /кг
1	МНТП из бетонного лома	Бетонный лом	0,1803	560-580
2	То же, из ККБ	Керамический кирпичный бой	0,2112	580-600
3	То же, из ЗШС	Золошлаковые смеси ТЭЦ	0,7020	550-570
4	МН из кварц. песков	Некондиционные кварцевые пески	0,1688	460-480

В работе при проведении исследований использовался метод центрифугирования, при котором образцы тонкодисперсных частиц МНТП выдерживались в стеклянных колбах диаметром 15 мм, плотно закрытых с одной стороны фильтровальной бумагой.

Следовательно, из всех исследуемых добавок (за исключением дорогостоящего специального стабилизатора Vermocoll) наиболее существенно стабилизирует цементные суспензии МНТП из бетонного лома и ККБ. Эти добавки снижают эффект седиментации частиц даже при сильном разбавлении суспензий жидкой фазой (с В/Ц = 1,6). А применение МНТП совместно с пластифицирующими добавками, в разы, снижающие В/Ц, в комплексе даст еще больший эффект по предотвращению седиментации бетонных смесей.

Стабилизирующая функция МНТП оценивалась нами на бетонных смесях с использованием тяжелых плотных природных гранитно-диабазовых заполнителей плотностью более 2,6 г/см<sup>3</sup>. Расход составляющих компонентов бетонной смеси для контрольного состава был принят следующим: цемент местный – 520 кг, песок Червленский – 600 кг, щебень – 1200 кг, при В/Ц = 0,39. Экспериментальные составы с применением МНТП и химических добавок проектировались относительно контрольного.

Пластификация бетонных смесей производилась химической добавкой «Динамикс ПК», расход которой составлял около 1,1 % от массы цемента. МНТП дозировались от массы цемента в количестве 15 % каждый. Из полученных смесей формировались цилиндры диаметром 100 мм и высотой 1000 мм в вертикальном положении в специально изготовленных металлических формах, состоящих из двух частей – полуформ. Для усиления расслаиваемости смеси были запроектированы с маркой по осадке конуса П5 (ОК более 20 см) и уплотнялись на виброплощадке в течении 0,5 мин. Следы седиментации твердых частиц в структуре бетона исследовали по разнице в верхних и нижних слоях изготовленных образцов. Для этого на вспомогательном оборудовании по резке бетонных образцов были выпилены цилиндры диаметром и высотой 100 мм, на которых определялась плотность и прочность бетона в верхних и нижних слоях образца (таблица 2).

Анализ таблицы 2 показывает, что разница в плотности контрольного бездобавочного бетона по высоте достигает до  $200 \text{ кг/м}^3$ , что составляет 8-12 %. Использование в бетонных смесях МНТП позволяет уменьшить разницу в плотности до  $72 \text{ кг/м}^3$  (т.е. около 3 % от плотности бетона), и в прочности – до 4 МПа. При этом поверхность в верхней части образца в сравнении с контрольным составом бетона не имела рыхлого и слабого поверхностного слоя. Химическая добавка «Динамикс ПК» в количестве 1,1 % также оказалась достаточно эффективной. При ее введении в бетонную смесь совместно с МНТП разница в плотности уменьшилась до  $43 \text{ кг/м}^3$  (это менее 2 % от плотности бетона), а в прочности – до 1,5-2,0 МПа.

Таблица 2 – Градиенты плотности бетона при расслоении тяжелых бетонных смесей

№ п/п	Добавка		Плотность, $\text{кг/м}^3$		Разница в плотности, $\text{кг/м}^3$	Прочность $R_{сж}^{28}$ , МПа		Разница в прочности, МПа
	минеральная	химическая	нижний слой	верхний слой		нижний слой	верхний слой	
1	-	-	2558	2360	198	47,8	40,3	7,5
2	МНТП из бетонного лома	-	2470	2398	72	46,9	42,8	4,1
3	То же	Динамикс ПК	2468	2425	43	49,9	48,0	1,9
4	МНТП из ККБ	-	2466	2390	76	44,9	41,0	3,9
5	То же	Динамикс ПК	2450	2407	43	48,8	47,3	1,5
6	МНТП из ЗШС	-	2491	2399	92	48,7	44,5	4,2
7	То же	Динамикс ПК	2485	2423	62	50,2	47,9	2,3
8	МН из кварцевых песков	-	2498	2390	108	48,9	45,0	3,9
9	То же	Динамикс ПК	2489	2435	54	51,3	46,8	4,5

На основании сравнительных результатов исследования эффективности тонкомолотых минеральных наполнителей техногенной природы (МНТП) в качестве наполнителя для получения наполненных вяжущих нами использован два вида наполнителя: МНТП из бетонного лома и ККБ в соотношении 70:30 % (таблица 3).

Таблица 3 – Рецептúra наполненных вяжущих (НВ) с тонкомолотым минеральным наполнителем техногенной природы (МНТП)

Вид вяжущего	Состав НВ, % по массе			
	ПЦ М500 Д0 «Чеченцемент»	МНТП		Добавка Д-5
		из бетонного лома	из ККБ	
Наполненное вяжущее марки НВ-75:25	75	16	7	2
То же, НВ-60:40	60	27	11	2

Объем и характер пор цементного камня, образованного из портландцемента и полученных составов НВ, во многом определяющие физико-механические показатели цементных композиций, включая его прочность, морозо- и коррозионная стойкость, проницаемость и др., исследовались нами методом ртутной порометрии. Анализ данных показал, что пористость цементного камня, образованного из обычного портландцемента, резко отличается от цементного камня на основе НВ. Так, в 2 раза снижается количество пор с диаметром более 2,0 мкм, в 4 раза уменьшается содержание капиллярных пор диаметром 2,0-0,2 мкм, происходит сдвиг эффективного диаметра пор в сторону тонких капилляров. Это хорошо видно на кривых распределения пор по размерам в цементном камне в зависимости от вида используемого вяжущего (рисунок 2).

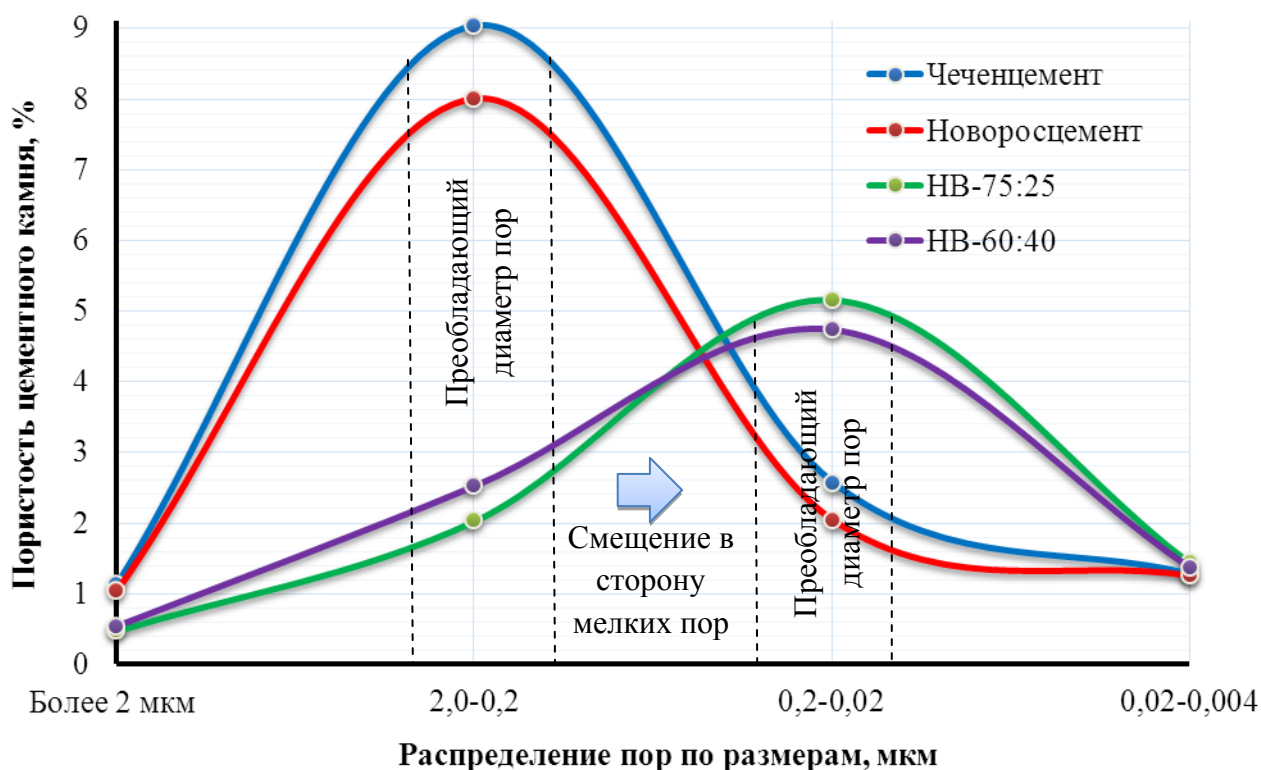


Рис. 2 – Кривые распределения пор по размерам в цементном камне в зависимости от вида вяжущего



Также установлено, суммарная пористость бетона на НВ практически в 1,4-1,6 раза меньше микропористости цементного камня на обычном портландцементе, что свидетельствует о положительном влиянии тонкомолотых наполнителей в составе наполненных вяжущих на основные их свойства.

Таким образом, на основании исследований влияния тонкомолотых наполнителей техногенной природы на реологию, в целом, и на седиментационные показатели, в частности, установлено, что для обеспечения требуемой стабилизации структурных характеристик от расслоения рекомендуется введение тонких наполнителей в бетонные смеси, а для получения более плотной структуры цементного камня – использовать их совместно с химическими добавками-водопонизителями, что обеспечивает более весомый комплексный и технологический и экономический эффект.

**Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-48-200001.**

### Список литературы

1. Баженов, Ю.М. Обзор современных высокоэффективных бетонов / Ю.М. Баженов, Р.С. Федюк, В.С. Лесовик // Научоемкие технологии и инновации. Электронный сборник докладов Международной научно-практической конференции, посвященной 65-летию БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. - С. 45-49.

2. Alekseev, V.A. Modified binder for sprayed concrete / V.A. Alekseev, Yu.M. Bazhenov, S.I. Bazhenova, O.Yu. Bazhenova, N.A. Golovashchenko, N.S. Mironchuk // БСТ: Бюллетень строительной техники. 2018. -№ 5 (1005). -С. 18-19.

3. Murtazaev, S.-A. High-quality concretes for foundations of the multifunctional high-rise complex(MHC) "Akhmat Tower" / Murtazaev S.-A., Saydumov M., Alaskhanov A., Nakhaev M. // В сборнике: 14th International Congress for Applied Mineralogy (ICAM2019) Сер. "Springer Proceedings in Earthand Environmental Sciences" 2019. -С. 365-368.

4. Каприелов, С.С. Цементы и добавки для производства высокопрочных бетонов / С.С. Каприелов, А.В. Шейнфельд, В.Г. Дондуков // Строительные материалы. 2017. -№ 11. -С. 4-10.

5. Аласханов, А.Х. Разработка составов наполненных вяжущих на основе вторичного сырья для монолитных высокопрочных бетонов / А.Х. Аласханов, Т.С.А. Муртазаева, Омаров А.О. [и др.] // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2019. -Т. 46. -№ 3. -С. 129-138.

6. Несветаев, Г.В. Самоуплотняющиеся бетоны: прочность и проектирование состава [Текст] / Г.В. Несветаев, А.Н. Давидюк // Строительные материалы. -2009. -№ 5. -С.54-57.

7. Кудяков, А.М. Влияние зернового состава и вида наполнителей на свойства строительных растворов [Текст] /А.М. Кудяков, Л.А. Аниканова, Н.О. Копаница // Строительные материалы. - 2001. - № 11. - С.28-29.

8. Усов, Б.А. Сухие строительные смеси на основе молотого портландцемента к кварцосодержащими микронаполнителями [Текст] / Б.А. Усов, Л.Н. Попов // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. - 2003. - №7. - С.14-15.

9. Шангина, Н.Н. Адсорбционно-каталитические процессы на поверхности твердой фазы и их влияние на свойства бетонов [Текст] /Н.Н. Шангина, А.П. Лейкин // Молодые ученые, аспиранты и докторанты. Петербургский гос. ун-та путей сообщения. - СПб. - 1997. - С.28-34.

10. Баженов, Ю.М. Модифицированные высококачественные бетоны [Текст]: научное издание / Ю.М. Баженов, В.С. Демьянова, В.И. Калашников. - М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2006. - 368 с.

11. Ахвердов, И.Н. Теоретические основы бетоноведения [Текст] / И.Н. Ахвердов. - Минск: Высшая школа, 1991. -188 с.

12. Murtazaev, S.-A.Yu. Building demolition products as a secondary raw material for high-strength concrete / S.-A.Yu. Murtazaev, M.S. Saidumov, A.Kh. Alaskhanov [и др.] // В сборнике: Atlantis Highlights in Material Sciences and Technology Proceedings of the International Symposium "Engineering and Earth Sciences: Applied and Fundamental Research" dedicated to the 85th anniversary of H.I. Ibragimov (ISEES 2019). 2019. -С. 476-480.

13. Lesovik, V. Geonics (geomimetics) as a theoretical basis for new generation compositing / V. Lesovik, A. Volodchenko, E. Glagolev, I. Lashina, H.B. Fischer // В сборнике: 14th International Congress for Applied Mineralogy (ICAM2019) Сер. "Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences" 2019. -С. 344-347.